

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 883 924**

51 Int. Cl.:

C01B 11/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.03.2018 PCT/US2018/023784**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.09.2018 WO18175732**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.03.2018 E 18718019 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.05.2021 EP 3601157**

54 Título: **Sistema de generación in situ de dióxido de cloro de bajo riesgo**

30 Prioridad:

24.03.2017 US 201762476463 P
13.11.2017 US 201762585316 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.12.2021

73 Titular/es:

ECOLAB USA, INC. (100.0%)
1 Ecolab Place
St. Paul, Minnesota 55102, US

72 Inventor/es:

XIONG, KUN;
DIMASCIO, FELICE;
DENNY, NICHOLAS RYAN y
DALKE, SHAWN

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 883 924 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 de generación in situ de dióxido de cloro de bajo riesgo

5 Antecedentes

1. Campo de la invención

10 La presente descripción se refiere generalmente a la producción de dióxido de cloro. Más particularmente, la descripción se refiere a un reactor de dióxido de cloro y los métodos para producir dióxido de cloro y tratar sistemas acuosos.

2. Descripción de la técnica relacionada

15 Con la disminución del cloro gaseoso como microbicida, se han explorado varias alternativas; que incluyen lejía, lejía con bromuro, bromo cloro dimetilhidantoína, ozono y dióxido de cloro (ClO₂). De estos, el dióxido de cloro ha generado un gran interés para el control del crecimiento microbiológico en una serie de industrias diferentes, que incluyen la industria láctea, la industria de bebidas, la industria de pulpa y papel, las industrias de procesamiento de frutas y verduras, varias plantas de enlatado, la industria avícola, la industria de procesamiento de carne de res y otras aplicaciones de procesamiento de alimentos. El dióxido de cloro también está aumentando su uso en las instalaciones municipales de tratamiento de agua potable y en las instalaciones de tratamiento de residuos industriales, debido a su selectividad hacia los materiales de desecho específicos ambientalmente objetables, que incluyen fenoles, sulfuros, cianuros, tiosulfatos y mercaptanos. Además, el dióxido de cloro se usa en la industria del petróleo y el gas para las aplicaciones de fondo de pozo como aditivo para mejorar la estimulación de pozos.

25 A diferencia del cloro, el dióxido de cloro sigue siendo un gas cuando se disuelve en soluciones acuosas y no se ioniza para formar ácidos débiles. Esta propiedad es, al menos en parte, responsable de la eficacia biocida del dióxido de cloro en un amplio intervalo de pH. Además, el dióxido de cloro es un microbicida muy eficaz en concentraciones tan bajas como 0,1 partes por millón (ppm) en un amplio intervalo de pH.

30 Se cree que la actividad biocida del dióxido de cloro se debe a su capacidad para penetrar las paredes de las células bacterianas y reaccionar con los aminoácidos esenciales dentro del citoplasma celular para interrumpir el metabolismo celular. Este mecanismo es más eficaz que otros oxidantes que "arden" al contacto y es muy eficaz contra *legionella*, quistes de algas y amebas, quistes de giardia, coliformes, *salmonella*, *shigella* y *cryptosporidium*.

35 Desafortunadamente, el dióxido de cloro en solución es inestable con una vida útil extremadamente corta y, por lo tanto, no está disponible comercialmente. Las soluciones de dióxido de cloro deben generarse típicamente en su punto de uso como, por ejemplo, mediante una reacción entre un clorato de metal o clorito de metal en una solución acuosa y un ácido fuerte en fase líquida. Los documentos núms. US 2005/244328 A1 y US 2010/155341 A1 describen dichos procesos para la producción de dióxido de cloro. Sin embargo, el uso de ácidos fuertes en fase líquida plantea problemas de manipulación y seguridad.

40 La producción de dióxido de cloro mediante el uso de clorato, peróxido de hidrógeno y ácido genera calor y puede resultar en una descomposición explosiva inadvertida del dióxido de cloro si la temperatura no se controla adecuadamente.

Breve resumen

50 Se describe un método para producir dióxido de cloro. El método puede incluir alimentar una primera solución que comprende un ácido a través de una primera línea de alimentación en un dispositivo de mezcla; alimentar una segunda solución que comprende clorito a través de una segunda línea de alimentación en el dispositivo de mezcla; mezclar la primera solución y la segunda solución en el dispositivo de mezcla para formar una mezcla de reacción; alimentar la mezcla de reacción al reactor; hacer reaccionar el ácido y el clorito en el reactor, en donde el reactor comprende una parte proximal en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla y una parte distal en comunicación fluida con una línea de agua motriz; y mezclar el dióxido de cloro con el agua motriz en la línea de agua motriz en la parte distal del reactor. El dispositivo de mezcla está en comunicación fluida con un reactor, y el dispositivo de mezcla, el reactor, una parte de la primera línea de alimentación y una parte de la segunda línea de alimentación se colocan dentro de la línea de agua motriz. El reactor comprende una configuración en espiral que tiene un ángulo del plano de la espiral de 1 grado a 60 grados.

60 En algunas modalidades, el ácido es ácido clorhídrico, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido hipocloroso o cualquier combinación de estos.

65 También se describe otro método para producir dióxido de cloro. El método puede incluir alimentar una primera solución que comprende un ácido a través de una primera línea de alimentación en un dispositivo de mezcla; alimentar una segunda solución que comprende clorato y peróxido de hidrógeno a través de una segunda línea de

- 5 alimentación en el dispositivo de mezcla; mezclar la primera solución y la segunda solución en el dispositivo de mezcla para formar una mezcla de reacción, en donde el dispositivo de mezcla está en comunicación fluida con un reactor; alimentar la mezcla de reacción al reactor; hacer reaccionar el ácido, el clorato y el peróxido de hidrógeno en el reactor, en donde el reactor comprende una parte proximal en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla y una parte distal en comunicación fluida con una línea de agua motriz, en donde el dispositivo de mezcla, el reactor, una parte de la primera línea de alimentación y una parte de la segunda línea de alimentación se colocan dentro de la línea de agua motriz; y mezclar el dióxido de cloro con agua motriz en la línea de agua motriz en la parte distal del reactor. El reactor comprende una configuración en espiral que tiene un ángulo del plano de la espiral de 1 grado a 60 grados.
- 10 En algunas modalidades, el ácido es ácido sulfúrico.
- 15 En otras modalidades, se describe un método para tratar el agua del proceso. El método puede incluir producir dióxido de cloro como se describe en la presente descripción e inyectar el dióxido de cloro y el agua motriz en el agua del proceso.
- 20 En algunas modalidades, la línea de agua motriz incluye al menos dos canales longitudinales a través de los cuales puede fluir el agua motriz.
- 25 En algunas modalidades, la mezcla de reacción tiene un tiempo de residencia en el reactor de al menos aproximadamente 0,1 minutos, y la velocidad del precursor es de al menos aproximadamente 25 cm/min, en donde la velocidad del precursor es una velocidad de la primera y la segunda solución.
- 30 En algunas modalidades, los métodos descritos en la presente descripción pueden incluir enfriar el dispositivo de mezcla y el reactor con el agua motriz.
- 35 En algunas modalidades, los métodos descritos en la presente descripción pueden incluir producir el dióxido de cloro a una tasa que varía de 0,0005 kg.h⁻¹ (0,001 lb/hora) a 9 kg.h⁻¹ (20 lb/hora).
- 40 En algunas modalidades, los métodos descritos en la presente descripción pueden incluir operar el reactor a una temperatura que varía de 2 °C a 80 °C.
- 45 En algunas modalidades, el método puede incluir determinar una demanda de dióxido de cloro en el agua del proceso mediante el uso de mediciones que se seleccionan de un sensor de dióxido de cloro, un potencial de oxidación y reducción, un medidor de flujo, una medición microbiológica y cualquier combinación de estos.
- 50 En algunas modalidades, una torre de enfriamiento comprende el agua del proceso.
- 55 En otras modalidades, se describe un reactor para producir dióxido de cloro. El reactor puede incluir un dispositivo de mezcla; una primera línea de alimentación en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla; una segunda línea de alimentación en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla; un reactor que comprende una parte proximal en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla y una parte distal en comunicación fluida con una línea de agua motriz; en donde el dispositivo de mezcla, el reactor, una parte de la primera línea de alimentación y una parte de la segunda línea de alimentación se colocan dentro de la línea de agua motriz.
- 60 El reactor incluye una configuración en espiral que tiene un ángulo del plano de la espiral de 1 grado a 60 grados.
- 65 En algunas modalidades, la primera línea de alimentación y la segunda línea de alimentación son opuestas y están dirigidas entre sí.
- 70 En algunas modalidades, el reactor se hace funcionar a una presión aproximadamente igual o mayor que la presión atmosférica. La presión atmosférica incluye presiones que varían de aproximadamente 101,3 kPa a aproximadamente 33,7 kPa. En algunas modalidades, el reactor funciona a una presión de aproximadamente 101,3 kPa.
- 75 Lo anterior ha descrito bastante ampliamente las características y las ventajas técnicas de la presente descripción para que la descripción detallada que sigue pueda entenderse mejor. A continuación se describirán las características y las ventajas adicionales de la descripción que forman el objeto de las reivindicaciones de esta solicitud.
- 80 Breve descripción de las varias vistas de los dibujos
- 85 A continuación se describe una descripción detallada de la invención con referencia específica a los dibujos en los que:
- 90 La Figura 1 muestra un diagrama conceptual de una modalidad de un método para tratar el agua de una torre de enfriamiento mediante la generación de dióxido de cloro in situ;

La Figura 2 muestra una modalidad de un reactor y mezclador de dióxido de cloro;
La Figura 3 muestra una modalidad de un reactor y mezclador de dióxido de cloro;
La Figura 4 muestra una vista en sección transversal de una modalidad de un reactor y mezclador de dióxido de cloro;
5 La Figura 5 muestra una modalidad de un reactor en espiral;
La Figura 6 muestra una vista en sección transversal de una modalidad de la línea de agua motriz y el reactor; y
La Figura 7 muestra un diagrama conceptual de una modalidad de un método para tratar el agua de la torre de enfriamiento y otros objetivos mediante la generación de dióxido de cloro in situ.

10 Descripción detallada

A continuación, se describen varias modalidades con referencia a los dibujos en los que los elementos similares se denominan generalmente con números similares. La relación y el funcionamiento de los diversos elementos de las modalidades pueden entenderse mejor con referencia a la siguiente descripción detallada. Sin embargo, las modalidades no se limitan a las ilustradas en los dibujos. Debe entenderse que los dibujos no están necesariamente a escala y, en determinados casos, pueden haberse omitido detalles que no son necesarios para comprender las modalidades descritas en la presente descripción, tales como, por ejemplo, la fabricación y el ensamblaje convencional.

20 Tradicionalmente, un eductor extrae la solución de dióxido de cloro del reactor mediante el uso de presión reducida. La presión reducida se produce mediante la alimentación del agua motriz a través del eductor; sin embargo, la calidad y la cantidad del agua motriz deben controlarse cuidadosamente para evitar producir presiones variables. Las presiones variables pueden conducir a ineficiencias en la producción de dióxido de cloro.

25 Se describe un método para tratar el agua del proceso. El método puede incluir alimentar una primera solución que comprende un ácido a través de una primera línea de alimentación a un dispositivo de mezcla y alimentar una segunda solución que comprende el clorato y el peróxido de hidrógeno a través de una segunda línea de alimentación al dispositivo de mezcla. A continuación, se mezclan la primera y la segunda solución en el dispositivo de mezcla para formar una mezcla de reacción. Un reactor está en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla.
30 Después de mezclar, la mezcla de reacción se alimenta al reactor. El ácido, el clorato y el peróxido de hidrógeno reaccionan en el reactor, lo que produce de este modo dióxido de cloro. El reactor incluye una parte proximal en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla y una parte distal en comunicación fluida con una línea de agua motriz. El dispositivo de mezcla, el reactor, una parte de la primera línea de alimentación y una parte de la segunda línea de alimentación se colocan dentro de la línea de agua motriz. Cuando la mezcla de reacción sale del reactor, la
35 mezcla de reacción se mezcla con el agua motriz en la línea de agua motriz en la parte distal del reactor. La mezcla de dióxido de cloro y agua motriz puede inyectarse en el agua del proceso.

En algunas modalidades, la primera solución puede consistir en o comprender ácido sulfúrico y agua, donde la concentración de ácido sulfúrico varía de aproximadamente el 50 % en peso a aproximadamente el 98 % en peso.
40 La concentración de ácido sulfúrico en la primera solución puede ser aproximadamente del 78 %. En algunas modalidades, la segunda solución puede comprender o consistir en clorato, peróxido de hidrógeno y agua. La segunda solución puede comprender una concentración de clorato que se encuentra en un intervalo de aproximadamente el 25 % en peso a aproximadamente el 60 % en peso. La concentración de clorato en la segunda solución puede ser aproximadamente del 40 % en peso. La concentración de peróxido de hidrógeno en la segunda
45 solución puede estar en el intervalo de aproximadamente el 2 % en peso a aproximadamente el 30 % en peso. La concentración de peróxido de hidrógeno en la segunda solución puede ser de aproximadamente el 8 % en peso. En algunas modalidades, el ácido puede ser ácido sulfúrico y el clorato puede ser clorato de sodio.

En algunas modalidades, la primera solución puede consistir en o comprender ácido clorhídrico y agua, donde la concentración de ácido clorhídrico varía de aproximadamente el 5 % en peso a aproximadamente el 38 % en peso.
50 La concentración de ácido clorhídrico en la primera solución puede ser de aproximadamente el 37 %. En algunas modalidades, la segunda solución puede consistir en o comprender un clorito y agua. La segunda solución puede tener una concentración de clorito que varía de aproximadamente el 5 % en peso a aproximadamente el 60 % en peso. La concentración de clorito en la segunda solución puede ser de aproximadamente el 25 % en peso. En
55 algunas modalidades, el clorito puede ser clorito de sodio.

En determinadas modalidades, al menos dos líneas de alimentación llevan productos químicos precursores al dispositivo de mezcla. Los precursores pueden incluir la primera y la segunda solución. En otras modalidades, una tercera línea de alimentación puede alimentar el agua u otros productos químicos al dispositivo de mezcla. En
60 algunas modalidades, las líneas de alimentación al dispositivo de mezcla pueden consistir en una primera línea de alimentación y una segunda línea de alimentación.

En otras modalidades, el método puede incluir además la etapa de enfriar el dispositivo de mezcla y el reactor con el agua motriz. El agua motriz que pasa a través de la línea de agua motriz puede servir para controlar la temperatura de las soluciones en las líneas de alimentación y la temperatura de la mezcla de reacción.
65

- 5 El reactor comprende una configuración en espiral, que puede aumentar aún más la mezcla y mejorar la mezcla. El reactor que tiene una configuración en espiral incluye un ángulo del plano de la espiral en un intervalo de 1 a 60 grados. En algunas modalidades, el ángulo del plano de la espiral puede ser de aproximadamente 5 a aproximadamente 30 grados. El reactor que tiene una configuración en espiral puede incluir un diámetro de la espiral. El diámetro de la espiral puede estar en un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 16,0 pulgadas, de aproximadamente 1 pulgada a aproximadamente 16 pulgadas, de aproximadamente 2 pulgadas a aproximadamente 16 pulgadas, de aproximadamente 2 pulgadas a aproximadamente 10 pulgadas, o de aproximadamente 2 pulgadas a aproximadamente 4 pulgadas.
- 10 En algunas modalidades, la línea de agua motriz puede comprender al menos dos canales. Los canales pueden ser longitudinales. En algunas modalidades, la línea de agua motriz puede ser una tubería de contención doble. La línea de agua motriz puede tener un canal interior y un canal exterior a través del cual puede fluir el agua motriz, y el reactor puede colocarse dentro del canal interior. La tasa de flujo del agua motriz en el canal exterior puede ser diferente a la tasa de flujo del agua motriz en el canal interior. La tasa de flujo del agua motriz en el canal interior puede ser tal que la temperatura de la mezcla de reacción se controle dentro de un determinado intervalo. La temperatura de la mezcla de reacción puede ser de 2 °C a 80 °C, de 2 °C a 70 °C, de 35 °C a 70 °C, de 40 °C a 70 °C o de 50 °C a 70 °C. La temperatura de la mezcla de reacción puede ser de 60 °C. La temperatura del agua motriz en el canal exterior puede ser diferente de la temperatura del agua motriz en el canal interior. El canal exterior puede contener el agua motriz con una tasa de flujo suficiente para diluir el dióxido de cloro a una concentración segura tal como menos de aproximadamente 3000 ppm, menos de aproximadamente 2000 ppm, menos de aproximadamente 1500 ppm, menos de aproximadamente 1000, menos de aproximadamente 750 ppm, menos de aproximadamente 500 ppm, menos de aproximadamente 250 ppm, menos de aproximadamente 100 ppm o menos de aproximadamente 50 ppm.
- 25 En algunas modalidades, la primera línea de alimentación y la segunda línea de alimentación pueden estar opuestas y dirigidas entre sí. En esta configuración, las soluciones alimentadas a través de la primera y la segunda línea de alimentación pueden colisionar y mezclarse.
- 30 En algunas modalidades, el reactor puede incluir al menos una zona de contacto. En algunas modalidades, el reactor puede incluir al menos dos, tres, cuatro o más zonas de contacto. En otras modalidades, la zona de contacto puede comprender un diámetro interior al menos aproximadamente dos veces mayor que el diámetro interior del reactor. En algunas modalidades, la zona de contacto puede comprender un diámetro interior al menos aproximadamente tres, cuatro o cinco veces mayor que el diámetro interior del reactor.
- 35 En algunas modalidades, el ácido, el clorato y el peróxido de hidrógeno pueden formar una mezcla de reacción en el dispositivo de mezcla. La primera y la segunda solución se combinan para formar la mezcla de reacción. Al menos una ventaja de usar una solución de clorato y peróxido de hidrógeno para reaccionar con una solución ácida es que no se produce cloro gaseoso. La ausencia de cloro gaseoso proporciona un proceso más seguro y económico.
- 40 En determinadas modalidades, la mezcla de reacción puede tener un tiempo de residencia en el reactor de al menos 0,1 minutos. En algunas modalidades, la mezcla de reacción puede tener un tiempo de residencia en el reactor de al menos aproximadamente 1 minuto. En otras modalidades, la mezcla de reacción puede residir en el reactor durante al menos aproximadamente 3 minutos, al menos aproximadamente 4 minutos, al menos aproximadamente 5 minutos, al menos aproximadamente 6 minutos, al menos aproximadamente 7 minutos, al menos aproximadamente 8 minutos, al menos aproximadamente 9 minutos, o al menos aproximadamente 10 minutos. En algunas modalidades, la mezcla de reacción puede tener un tiempo de residencia en el reactor de aproximadamente 3,8 minutos. El tiempo de residencia puede calcularse al dividir el volumen total del reactor por la tasa de flujo total del precursor.
- 50 En algunas modalidades, los precursores (ácido y clorato/peróxido de hidrógeno o clorito) pueden alimentarse al dispositivo de mezcla a una velocidad de flujo de 25 cm/minuto. En algunas modalidades, los precursores pueden alimentarse al dispositivo de mezcla a una velocidad de flujo en un intervalo de aproximadamente 20 cm/minuto a aproximadamente 200 cm/minuto, de aproximadamente 20 cm/minuto a aproximadamente 65 cm/minuto, o de aproximadamente 20 cm/minuto a aproximadamente 50 cm/minuto. En algunas modalidades, la velocidad del precursor puede ser de 25 cm/minuto, 50 cm/minuto o 65 cm/min. La velocidad del precursor puede calcularse al dividir la tasa de flujo total del precursor por el área de la sección transversal del reactor.
- 55 En otras modalidades, el reactor puede funcionar a una presión igual o mayor que la presión atmosférica.
- 60 En algunas modalidades, el método puede incluir retirar el dióxido de cloro mediante el uso de un eductor. En algunas modalidades, los métodos descritos no usan un eductor para retirar el dióxido de cloro del reactor. En algunas modalidades, el reactor no comprende un eductor.
- 65 En algunas modalidades, el método puede incluir operar el reactor a una temperatura en un intervalo de 2 °C a 80 °C. En algunas modalidades, el método puede incluir operar el reactor a una temperatura de 60 °C.

En algunas modalidades, la temperatura del agua motriz puede estar en un intervalo de 2 °C a 80 °C. La temperatura del agua motriz puede estar en el intervalo de aproximadamente 15 °C a aproximadamente 70 °C, de aproximadamente 30 °C a aproximadamente 70 °C, de aproximadamente 40 °C a aproximadamente 70 °C, de aproximadamente 40 °C a aproximadamente 60 °C, o de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 70 °C.

En algunas modalidades, el método puede incluir determinar una demanda de dióxido de cloro en el agua del proceso mediante el uso de mediciones de un sensor, como un sensor de dióxido de cloro, un potencial de oxidación y reducción, un medidor de flujo, una medición microbiológica o cualquier combinación de estos. En algunas modalidades, el dióxido de cloro puede añadirse al agua del proceso en una torre de enfriamiento.

En algunas modalidades, el dióxido de cloro puede añadirse a un sistema acuoso. La presente descripción no se limita a añadir el dióxido de cloro al agua del proceso en las torres de enfriamiento.

En algunas modalidades, el método puede incluir un sistema de control de proceso que incluye un controlador lógico programable (PLC), un analizador de dióxido de cloro, un transmisor de presión (PT) y un transmisor de flujo (FT), controla las bombas de alimentación de los productos químicos al reactor y para el agua motriz.

En algunas modalidades, el método puede incluir un sistema de distribución. El sistema de distribución puede incluir al menos dos puntos de dosificación controlados independientemente. El sistema de distribución puede incluir, por ejemplo, 3, 4, 5, 6, 7 u 8 puntos de dosificación controlados independientemente. Cuando los diferentes puntos de ajuste de producción de ClO₂ se ingresan en el controlador, el PLC calcula y ajusta automáticamente la producción requerida del reactor de dióxido de cloro. Un sistema de distribución puede permitir que la solución de dióxido de cloro se distribuya a múltiples puntos directamente desde el reactor de dióxido de cloro de descarga, lo que evita de este modo un sistema de tanque de almacenamiento. El sistema de distribución puede incorporar una bomba de solución de ClO₂ y medidores de flujo y válvulas de control para gestionar la distribución entre varios puntos de dosificación.

Los medidores de flujo que pueden usarse con los métodos descritos pueden ser cualquier medidor de flujo adecuado, tal como, pero sin limitarse a, medidores de flujo de pinza o pulsos. Los medidores de flujo basados en pulsos detectan la energía cinética del fluido que fluye mediante el uso de sensores ópticos o magnéticos y la convierten en energía eléctrica en forma de pulsos digitales. La tasa de flujo puede determinarse al medir los períodos de los pulsos.

Las bombas usadas para alimentar la primera y la segunda solución pueden estar en comunicación con el PLC. El PLC también puede estar en comunicación con cualquier bomba colocada en una línea de alimentación de productos.

En algunas modalidades, el reactor puede estar en comunicación fluida con al menos una línea de alimentación de productos. Las bombas pueden colocarse en cada una de las líneas de alimentación de productos o, en algunas modalidades, múltiples líneas de alimentación de productos pueden compartir una sola bomba.

En algunas modalidades, cualquiera de los métodos descritos en la presente descripción puede incluir determinar una tasa de flujo de la primera solución en la primera línea de alimentación, una tasa de flujo de la segunda solución en la segunda línea de alimentación, una tasa de flujo de una solución de dióxido de cloro en una línea de alimentación de productos, o una tasa de flujo del agua motriz en la línea de agua motriz.

En algunas modalidades, la tasa de flujo de cualquier solución que se alimenta al reactor puede determinarse mediante el uso de al menos dos medidores de flujo que determinan la tasa de flujo en función de diferentes principios para garantizar que se alimenta al reactor una cantidad precisa de precursor químico.

En algunas modalidades, cualquiera de los métodos descritos en la presente descripción puede incluir la detección de la presión de un reactor. En algunas modalidades, las líneas de alimentación de productos pueden estar equipadas con una válvula de retención, un medidor de flujo y una bomba de alimentación.

En determinadas modalidades, cualquiera de los métodos descritos en la presente descripción puede incluir calcular una dosis de dióxido de cloro. La dosis de dióxido de cloro puede calcularse mediante el uso de las tasas de flujo de la primera solución, la segunda solución, el agua motriz, la solución de dióxido de cloro en las líneas de alimentación de productos y la concentración de dióxido de cloro. Por ejemplo, la concentración de dióxido de cloro en la línea principal puede calcularse mediante el uso de la fórmula: Tasa de producto de la línea principal = $(F_p + F_a + F_w - F_{\text{línea de producto}}) \cdot C_{\text{ClO}_2}$ donde F_p es la tasa de flujo del peróxido de hidrógeno y el clorato, F_a es la tasa de flujo del ácido, F_w es la tasa de flujo del agua motriz, $F_{\text{línea de producto}}$ es la suma de las tasas de flujo en las líneas de alimentación de productos conectados a la línea principal, y C_{ClO_2} es la concentración de dióxido de cloro.

Se pueden configurar múltiples alarmas y configuraciones a prueba de fallas mediante el uso del PLC. Por ejemplo, los problemas de la bomba pueden detectarse al monitorear el diferencial entre las lecturas del medidor de flujo y los cálculos de la tasa de la bomba. Algunos dispositivos de seguridad pueden incluir válvulas de alivio de presión en el

reactor o en las líneas de alimentación de productos. Cualquiera de las líneas de alimentación puede tener un sensor de presión que comunica las lecturas al dispositivo de control principal. A modo de ejemplo, el dispositivo de control principal puede incluir un PLC y un módulo Adam AI/AO (entrada analógica/salida analógica). Si el reactor está alojado en un gabinete, entonces el gabinete puede tener sensores de detección de fugas y una cerradura en la puerta del gabinete.

En otras modalidades de la presente descripción, se proporciona un método para producir dióxido de cloro. El método incluye alimentar una primera solución que comprende un ácido a través de una primera línea de alimentación en un dispositivo de mezcla y alimentar una segunda solución que comprende el clorato y el peróxido de hidrógeno a través de una segunda línea de alimentación en el dispositivo de mezcla. El método incluye mezclar la primera solución y la segunda solución en el dispositivo de mezcla. El dispositivo de mezcla está conectado a un reactor. Después de mezclar, la primera solución y la segunda solución se introducen en el reactor donde el ácido, el clorato y el peróxido de hidrógeno reaccionan para formar el dióxido de cloro. El reactor incluye una parte proximal en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla y una parte distal en comunicación fluida con una línea de agua motriz. El dispositivo de mezcla, el reactor, una parte de la primera línea de alimentación y una parte de la segunda línea de alimentación se colocan dentro de la línea de agua motriz. El método incluye mezclar el dióxido de cloro con el agua motriz en la línea de agua motriz en la parte distal del reactor. El reactor comprende una configuración en espiral que tiene un ángulo del plano de la espiral de 1 grado a 60 grados.

En otras modalidades, se proporciona un método para producir dióxido de cloro. El método incluye alimentar una primera solución, como un ácido, a través de una primera línea de alimentación en un dispositivo de mezcla. Una segunda solución, como clorito, se alimenta a través de una segunda línea de alimentación al dispositivo de mezcla. El dispositivo de mezcla está en comunicación fluida con un reactor. El método incluye mezclar la primera solución y la segunda solución en el dispositivo de mezcla para formar una mezcla de reacción. La mezcla de reacción se alimenta al reactor donde reaccionan el ácido y el clorito. El reactor incluye una parte proximal en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla y una parte distal en comunicación fluida con una línea de agua motriz. El dispositivo de mezcla, el reactor, una parte de la primera línea de alimentación y una parte de la segunda línea de alimentación se colocan dentro de la línea de agua motriz. El método incluye mezclar el dióxido de cloro con el agua motriz en la línea de agua motriz en la parte distal del reactor. El reactor comprende una configuración en espiral que tiene un ángulo del plano de la espiral de 1 grado a 60 grados. En algunas modalidades, el ácido puede ser ácido clorhídrico, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido hipocloroso o cualquier combinación de estos. En algunas modalidades, el ácido puede ser ácido clorhídrico.

Se proporciona un reactor para producir dióxido de cloro. El reactor puede incluir un dispositivo de mezcla, una primera línea de alimentación en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla y una segunda línea de alimentación en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla. El reactor puede incluir una parte proximal en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla y una parte distal en comunicación fluida con una línea de agua motriz. El dispositivo de mezcla, el reactor, una parte de la primera línea de alimentación y una parte de la segunda línea de alimentación pueden colocarse dentro de la línea de agua motriz. El reactor comprende una configuración en espiral que tiene un ángulo del plano de la espiral de 1 grado a 60 grados.

En algunas modalidades, el diámetro de la línea de agua motriz puede ser mayor que el diámetro del reactor y la primera y la segunda línea de alimentación, de modo que el reactor y las líneas de alimentación pueden colocarse en el lumen de la línea de agua motriz.

En algunas modalidades, la primera línea de alimentación y la segunda línea de alimentación pueden estar opuestas y dirigidas entre sí como en una configuración en "T", ver, por ejemplo, la orientación de los componentes correspondientes a los números de referencia 11 y 12 en la Figura 4.

En determinadas modalidades, el reactor puede incluir al menos una zona de contacto. La zona de contacto puede incluir un diámetro interior al menos dos veces mayor que el diámetro interior del reactor. A medida que la mezcla de reacción fluye a través del reactor, puede llegar a una zona de contacto donde la mezcla de reacción puede mezclarse más. La salida de la zona de contacto puede estrecharse hasta el diámetro del reactor.

En algunas modalidades, el reactor puede tener una longitud en un intervalo de aproximadamente 25 pulgadas a aproximadamente 300 pulgadas. En algunas modalidades, el reactor puede tener una longitud en un intervalo de aproximadamente 30 pulgadas a aproximadamente 90 pulgadas, de aproximadamente 30 pulgadas a aproximadamente 80 pulgadas, de aproximadamente 30 pulgadas a aproximadamente 70 pulgadas, de aproximadamente 30 pulgadas a aproximadamente 60 pulgadas, de aproximadamente 30 pulgadas a aproximadamente 50 pulgadas, de aproximadamente 40 pulgadas a aproximadamente 90 pulgadas, de aproximadamente 40 pulgadas a aproximadamente 80 pulgadas, de aproximadamente 35 pulgadas a aproximadamente 45 pulgadas o de aproximadamente 35 pulgadas a aproximadamente 60 pulgadas. En otras modalidades, el reactor puede tener una longitud de aproximadamente 40 pulgadas.

El reactor puede colocarse horizontal, verticalmente o en cualquier ángulo intermedio. En algunas modalidades, el reactor puede colocarse verticalmente. En modalidades en las que el reactor es un reactor en espiral, el reactor puede ascender en espiral.

5 En algunas modalidades, el reactor puede tener un diámetro interior en un intervalo de aproximadamente 0,1 pulgadas a aproximadamente 4 pulgadas. En algunas modalidades, el reactor puede tener un diámetro interior en un intervalo de aproximadamente 1 pulgada a aproximadamente 1,25 pulgadas, o de aproximadamente 0,25 pulgadas a aproximadamente 1,25 pulgadas. En algunas modalidades, el reactor puede tener un diámetro interior de aproximadamente 0,25 pulgadas, aproximadamente 2 pulgadas, aproximadamente 3 pulgadas o aproximadamente 4 pulgadas. En otras modalidades, el reactor puede tener un diámetro interior de aproximadamente 1,25 pulgadas, aproximadamente 1 pulgada, aproximadamente 0,75 pulgadas, aproximadamente 0,375 pulgadas o aproximadamente 0,1875 pulgadas.

15 En algunas modalidades, el dióxido de cloro puede producirse a una tasa en un intervalo de 0,0005 kg.h⁻¹ (0,001 lb/hora) a 9 kg.h⁻¹ (20 lb/hora). En algunas modalidades, el dióxido de cloro puede producirse a una tasa en un intervalo de 0,0009 kg.h⁻¹ (0,002 libras/hora) a 6,8 kg.h⁻¹ (15 libras/hora). En algunas modalidades, el dióxido de cloro puede producirse a una tasa en un intervalo de 2,3 kg.h⁻¹ (5 libras/hora) a 6,8 kg.h⁻¹ (15 libras/hora). Como el dióxido de cloro se produce a una tasa mayor, puede usarse un reactor de mayor diámetro para asegurar que el tiempo de residencia en el reactor sea de al menos 3 minutos. En algunas modalidades, el tiempo de residencia en el reactor puede ser de al menos 2 minutos.

25 Con referencia a las figuras, la Figura 1 muestra un diagrama conceptual de determinadas modalidades de un método para tratar el agua de una torre de enfriamiento in situ. Los precursores químicos pueden almacenarse en un tanque **10** in situ desde el cual los productos químicos pueden alimentarse a través de la primera línea de alimentación **11** y la segunda línea de alimentación **12** a un mezclador de dióxido de cloro y un reactor **15**. El agua puede introducirse en el mezclador para diluir los precursores químicos que se introducen en el mezclador de dióxido de cloro y el reactor **15**. El agua puede introducirse en el mezclador y el reactor **15** a través de una línea de alimentación motriz **14**. Una línea de agua **13** puede suministrar el agua a la línea de agua motriz **14** y/o puede suministrar el agua para diluir el ácido antes o después de entrar en el mezclador. El dióxido de cloro puede inyectarse en el agua del proceso **16** que puede alimentarse a una torre de enfriamiento **19**. Una bomba **17** puede alimentar el agua del proceso **16** a través de un intercambiador de calor **18**.

35 La Figura 2 y la Figura 3 muestran una vista más cercana de algunas modalidades del reactor y el mezclador de dióxido de cloro **15**. La primera línea de alimentación **11** y la segunda línea de alimentación **12** pueden introducir los precursores químicos en el dispositivo de mezcla **20**. En algunas modalidades, una línea de agua **13** puede alimentar el agua al dispositivo de mezcla **20**. Una línea de alimentación motriz **14** puede suministrar el agua a la línea de agua motriz **24**. En algunas modalidades, el agua en la línea de agua motriz **24** puede enfriar el reactor **21**. En otras modalidades, el agua en la línea de agua motriz **24** se diluye y se mezcla con el dióxido de cloro en la parte distal del reactor **23**. La parte proximal del reactor **22** puede conectarse al dispositivo de mezcla **20**. El fluido en el dispositivo de mezcla **20** puede fluir fuera del dispositivo de mezcla **20** y dentro del reactor **21**. En algunas modalidades, el reactor **21** puede estar en una configuración en espiral. En algunas modalidades, una línea de alimentación de dióxido de cloro **25** lleva el dióxido de cloro mezclado con el agua motriz al agua del proceso. Algunas modalidades pueden incluir al menos una zona de contacto **30** (ver la Figura 3, por ejemplo). La zona de contacto **30** puede permitir una mayor mezcla de la mezcla de reacción o un mayor tiempo de residencia en el reactor para aumentar la eficiencia de la reacción.

45 La Figura 4 muestra una modalidad en la que la primera línea de alimentación **11** y la segunda línea de alimentación **12** son opuestas y están dirigidas entre sí. Las soluciones se mezclan en el dispositivo de mezcla **20** y luego entran en la parte proximal del reactor **22**. La mezcla de reacción puede continuar fluyendo a través del reactor **21**, salir de la parte distal del reactor **23** y mezclarse con el agua motriz en la línea de agua motriz **24**. El agua puede introducirse en la línea de agua motriz **24** desde la línea de alimentación motriz **14**. En algunas modalidades, el dispositivo de mezcla **20**, el reactor **21**, una parte de la primera línea de alimentación **40** y una parte de la segunda línea de alimentación **41** se colocan dentro de la línea de agua motriz **24**.

55 La Figura 5 muestra una modalidad en la que el reactor **21** puede comprender una configuración en espiral. El reactor que tiene una configuración en espiral puede incluir un ángulo del plano de la espiral **50** que varía de aproximadamente 5 a aproximadamente 30 grados. El reactor que tiene una configuración en espiral puede incluir un diámetro de la espiral **51**. El diámetro de la espiral puede variar de aproximadamente 0,1 pulgadas a aproximadamente 4,0 pulgadas. El diámetro interior del reactor en espiral puede ser como se describió anteriormente para el reactor.

60 La Figura 6 muestra una modalidad en la que la línea de agua motriz comprende un canal exterior **60** y un canal interior **61**. El reactor **21** puede estar dispuesto dentro del lumen del canal interior **61**. En esta configuración, el agua motriz puede alimentarse a la línea de agua motriz a través de dos canales separados. El canal exterior **60** y el canal interior **61** pueden transportar el agua motriz a diferentes tasas de flujo. El agua motriz en el canal exterior **60** puede tener una temperatura diferente a la del agua motriz en el canal interior **61**.

La Figura 7 muestra un diagrama conceptual de determinadas modalidades para un método para tratar el agua de la torre de enfriamiento y múltiples objetivos. Los precursores químicos pueden almacenarse en un tanque **10** in situ desde el cual los productos químicos pueden alimentarse a través de la primera línea de alimentación **11** y la segunda línea de alimentación **12** a un mezclador de dióxido de cloro y un reactor **15**. El agua puede introducirse en el mezclador a través de la línea **13** para diluir los precursores químicos que se alimentan al mezclador de dióxido de cloro y al reactor **15**. El agua puede introducirse en el mezclador y el reactor **15** a través de una línea de alimentación motriz **14**. El dióxido de cloro puede inyectarse en el agua del proceso **16** que puede alimentarse a una torre de enfriamiento **19**. Una bomba **17** puede alimentar el agua del proceso **16** a través de un intercambiador de calor **18**. El dióxido de cloro generado en el reactor **15** puede añadirse al agua del proceso **16** o desviarse a una línea de alimentación de productos **70** para tratar otros objetivos. La línea de alimentación de productos **70** puede incluir una válvula **71**, un medidor de flujo **72** y una bomba **73**. Todas las válvulas y las bombas pueden controlarse mediante el uso de un PLC (no se muestra en la imagen).

15 Ejemplos

Ejemplo 1

Una solución que contenía aproximadamente un 40 % de clorato de sodio y aproximadamente un 8 % de peróxido de hidrógeno y una solución acuosa de aproximadamente un 78 % de ácido sulfúrico se alimentaron cada una a una tasa de aproximadamente 63 ml/h a través de un tubo de 0,25 pulgadas en una unión en T de Kynar de 0,25 pulgadas que se insertó dentro de un tubo transversal de cloruro de polivinilo con un diámetro interior de aproximadamente 2 pulgadas.

Los precursores que fluían a través de una unión en T de Kynar luego fluyeron a través de aproximadamente 40 pulgadas de una tubería de 0,25 pulgadas (volumen de 8 ml) que se insertó dentro de la tubería de 0,5 pulgadas. El agua motriz fluyó dentro del tubo transversal de cloruro de polivinilo y fuera del tubo de 0,5 pulgadas (alrededor del tubo de 0,25 pulgadas) para proporcionar el enfriamiento y la dilución. La longitud del tubo de reacción y la velocidad del precursor de aproximadamente 26,5 cm/min proporcionaron un tiempo de residencia de aproximadamente 3,81 minutos.

Cada experimento duró aproximadamente 15 minutos y se midió la concentración de dióxido de cloro aproximadamente cada 5 minutos. El agua motriz tenía dos propósitos: dilución y enfriamiento. Se requirió una relación entre el agua y el precursor de aproximadamente 30 o menos para establecer el calor necesario para la reacción. Esto generó concentraciones de dióxido de cloro superiores a aproximadamente 5500 mg/l.

La velocidad de flujo de los precursores se estableció en aproximadamente 26,5 cm/min. Las velocidades de flujo pueden ser superiores a aproximadamente 25 cm/min para permitir que el oxígeno gaseoso permanezca como nano y microburbujas y para acelerar el movimiento de las nano y microburbujas fuera del tubo del reactor.

La concentración de dióxido de cloro se determinó mediante el uso de un espectrofotómetro. Se usaron lecturas del espectrofotómetro para calcular la concentración de dióxido de cloro mediante el uso de una curva de calibración. La curva se preparó de acuerdo con el método yodométrico 4500-ClO₂ en Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater, 20^a edición, 1998.

La cantidad de solución que consiste en aproximadamente un 40 % de clorato de sodio y aproximadamente un 7,99 % de peróxido de hidrógeno requerida para una eficiencia de la reacción del 100 % fue de aproximadamente 2,86 ml para producir aproximadamente 1 gramo de dióxido de cloro. La eficiencia de la reacción o la conversión se calculó a partir de la relación porcentual entre el dióxido de cloro total generado y la producción teórica de dióxido de cloro en función de la cantidad de Purate consumido: $\eta_{\text{corriente}} = (C_{\text{ClO}_2} \cdot Q_{\text{ClO}_2}) / (Q_{\text{Purate}} / 2,86)$ donde C_{ClO_2} es la concentración de dióxido de cloro (g/l), Q_{ClO_2} la tasa de flujo de dióxido de cloro (l/hora) y Q_{Purate} la tasa de flujo de Purate (mezcla de clorato aproximadamente 40 % y peróxido de hidrógeno aproximadamente 7,99 %) (ml/hora).

Tabla 1. Eficiencia de la reacción

5	Agua motriz (l/h)	7,50	7,50	7,50	3,76	3,76	3,76	3,14	3,14	3,14
	Tasa de flujo de Purate (ml/h)	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0
	Ácido sulfúrico 78 % Tasa de flujo (ml/h)	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0
10	Tiempo de residencia (min)	3,81	3,81	3,81	3,81	3,81	3,81	3,81	3,81	3,81
	Agua:Prec. Relación	60	60	60	30	30	30	25	25	25
	Flujo de precursores									
	Velocidad (cm/m)	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5
15	Dióxido de cloro Conc. (g/l)	2,49	2,36	2,35	5,51	5,53	6,62	6,69	6,73	6,70
	Dióxido de cloro Tasa de flujo (l/h)	7,63	7,63	7,63	3,89	3,89	3,89	3,27	3,27	3,27
20	Salida real (g/h)	18,7	17,7	17,6	21,4	21,5	21,8	21,8	22,0	21,9
	Teórico									
	Salida (g/h)	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
	Reacción Eficiencia (%)	84,9	80,3	79,9	97,2	97,6	99,1	99,1	99,8	99,3

25

Ejemplo 2

En este experimento, se usó una T de 3/8" de pulgada conectada a aproximadamente 91,4 cm de tubería de 3/8" de pulgada como dispositivo de mezcla y reactor, respectivamente. Se probaron diferentes tiempos de residencia (calculados al dividir el volumen del reactor por la tasa de flujo total del reactivo) y temperaturas del agua motriz. La tasa de conversión se calculó como se describió anteriormente. Purate era una mezcla de clorato y peróxido de hidrógeno como se describió anteriormente.

35

Tabla 2. Efectos del tiempo de residencia y la temperatura en la conversión.

	Tiempo de residencia	Temperatura del agua motriz	Purate	H ₂ SO ₄	ClO ₂	H ₂ SO ₄ /Purate	Tasa de conversión
	min	°C	mol/min	mol/min	lb/hora	mol/mol	%
40	15,6	34	0,0095	0,0250	0,085	2,64	88,4
	15,6	37	0,0095	0,0250	0,085	2,64	93,4
	8,6	36	0,0172	0,0455	0,154	2,64	87,1
	8,6	43	0,0172	0,0455	0,154	2,64	88,1
	8,6	53	0,0172	0,0455	0,154	2,64	99,7
45	8,6	51	0,0172	0,0366	0,154	2,13	86,2
	15,6	50	0,0095	0,0250	0,085	2,64	95,9
	7,8	51	0,0189	0,0500	0,169	2,64	99,9
	3,9	50	0,0379	0,1001	0,338	2,64	89,0
50	5,2	48	0,0284	0,0751	0,254	2,64	96,0

Ejemplo 3

En este experimento se usó una T de 1/4" de pulgada conectada a una cámara de 12 ml mediante aproximadamente 5,72 cm de tubería de 1/4" de pulgada. La cámara también se conectó a aproximadamente 26 cm de tubería de 1/4". La configuración era similar al reactor representado en la Figura 3 donde la cámara de 12 ml puede ser una zona de contacto.

La Tabla 3 muestra los efectos del agua motriz y la relación de H₂SO₄/Purate sobre la tasa de conversión. La Tabla 4 muestra los efectos de una cantidad reducida de ácido a una temperatura del agua motriz de aproximadamente 62 °C y un tiempo de residencia de aproximadamente 14 min. El tiempo de residencia para estos ensayos se fijó en aproximadamente 14 minutos.

Tabla 3. Efectos de la temperatura del agua motriz y H₂SO₄/Purate sobre la conversión

	Temp	Purate	H ₂ SO ₄	ClO ₂	H ₂ SO ₄ /Purate	Tasa de conversión
5	°C	mol/min	mol/min	lb/hora	mol/mol	%
	16	0,0095	0,0250	0,085	2,64	64,8
	30	0,0095	0,0250	0,085	2,64	92,6
	41	0,0095	0,0250	0,085	2,64	95,1
	53	0,0095	0,0250	0,085	2,64	94,4
10	62	0,0095	0,0250	0,085	2,64	97,7
	41	0,0095	0,0205	0,085	2,16	87,8
	47	0,0095	0,0208	0,085	2,20	95,4
	62	0,0095	0,0208	0,085	2,20	97,4

Tabla 4. Efecto del ácido reducido a 62 °C.

	Temp	Purate	H ₂ SO ₄	ClO ₂	H ₂ SO ₄ /Purate	Tasa de conversión
	°C	mol/min	mol/min	lb/hora	mol/mol	%
15	62	0,0095	0,0254	0,085	2,68	97,1
20		0,0095	0,0208	0,085	2,20	99,8
		0,0095	0,0162	0,085	1,71	92,7
		0,0095	0,0127	0,085	1,34	65,9

La Tabla 5 muestra los efectos del tiempo de residencia y la temperatura del agua motriz sobre la tasa de conversión.

Tabla 5. Efecto del tiempo de residencia y la temperatura sobre la tasa de conversión.

	Tiempo de residencia	Temp	Purate	H ₂ SO ₄	ClO ₂	H ₂ SO ₄ /Purate	Tasa de conversión
30	min	°C	mol/min	mol/min	lb/hora	mol/mol	%
	3	53	0,0095	0,0159	0,085	1,68	52,7
	14	47	0,0095	0,0162	0,085	1,71	78,9
	14	62	0,0095	0,0162	0,085	1,71	92,7
35	17	45	0,0095	0,0159	0,085	1,68	71,7
	17	46	0,0095	0,0162	0,085	1,71	83,7
	17	46	0,0189	0,0324	0,170	1,71	68,5
	17	62	0,0095	0,0162	0,085	1,71	92,1

Ejemplo 4

En este experimento, se usó una T de 1/4" de pulgada conectada a una cámara de 12 ml mediante un tubo de aproximadamente 2 pies de 1/4" de pulgada. La cámara también se conectó a aproximadamente 10 pies de tubería de 1/4". La configuración era similar al reactor representado en la Figura 3 donde la cámara de 12 ml puede ser una zona de contacto. El volumen del reactor fue de aproximadamente 78,2 ml.

Tabla 6. Efecto del tiempo de residencia, la temperatura del agua motriz y el ácido sobre la tasa de conversión.

	Tiempo de residencia	Temp	Purate	H ₂ SO ₄	ClO ₂	H ₂ SO ₄ /Purate	Tasa de conversión
50	min	°C	mol/min	mol/min	lb/hora	mol/mol	%
	21,1	31,2	0,0095	0,0250	0,085	2,64	95,0
	21,1	29,3	0,0095	0,0205	0,085	2,16	90,0
	21,1	35,6	0,0095	0,0205	0,085	2,16	88,5
55	21,1	37,5	0,0095	0,0205	0,085	2,16	93,0
	21,1	44,1	0,0095	0,0205	0,085	2,16	99,1
	10,6	43,9	0,0189	0,0409	0,169	2,16	87,6
	10,6	43,5	0,0189	0,0455	0,169	2,40	89,3
	11,6	43,3	0,0172	0,0455	0,154	2,64	97,1
60	11,6	33,8	0,0172	0,0455	0,154	2,64	85,7

Ejemplo 5

La producción de dióxido de cloro se probó mediante el uso del reactor descrito en la presente descripción y clorito como precursor en lugar de clorato. Se alimentó a un reactor una solución de aproximadamente el 25 % en peso de

clorito y una solución de aproximadamente el 29 % en peso de ácido clorhídrico. El reactor incluía una T de 1/4" de pulgada (dispositivo de mezcla) conectada a una cámara de 12 ml por aproximadamente 5,72 cm de tubería de 1/4" de pulgada. La cámara también se conectó a aproximadamente 26 cm de tubería de 1/4". La Tabla 7 muestra la eficiencia de la reacción en función del tiempo.

5

Tabla 7. Producción de dióxido de cloro mediante el uso de clorito y ácido clorhídrico.

	Tiempo (min)	ClO ₂ (mg/l)	Vol. de ClO ₂ (l/h)	Salida de ClO ₂ (g/h)	Tasa de NaClO ₂ (l/h)	de ml de ClO ₂	NaClO ₂ /g	Rxn. (%)	Ef.
10	0	162	7,59	1,23	0,013	10,25		54,5	
	2	178	7,59	1,35	0,013	9,33		59,9	
	4	202	7,59	1,53	0,013	8,22		68,0	
	6	214	7,59	1,62	0,013	7,76		72,1	
15	8	225	7,59	1,71	0,013	7,38		75,8	
	10	227	7,59	1,72	0,013	7,31		76,4	
	12	229	7,59	1,74	0,013	7,25		77,1	
	14	264	7,59	2,00	0,013	6,29		88,9	
20	16	280	7,59	2,12	0,013	5,93		94,3	
	18	282	7,59	2,14	0,013	5,89		94,9	
	20	289	7,59	2,19	0,013	5,75		97,3	
	22	291	7,59	2,21	0,013	5,71		98,0	
25	24	289	7,59	2,19	0,013	5,75		97,3	
	26	291	7,59	2,21	0,013	5,71		98,0	
	28	292	7,59	2,22	0,013	5,69		98,3	
	30	290	7,59	2,20	0,013	5,73		97,6	

La producción de dióxido de cloro mediante el uso de clorito y ácido clorhídrico se probó en un reactor a mayor escala. El reactor incluía una T de 3/8" de pulgada conectada a aproximadamente 91,4 cm de tubería de 3/8" de pulgada. La Tabla 8 compara la tasa de producción teórica con la tasa de producción real.

30

Tabla 8. Eficiencia de la conversión de dióxido de cloro en un reactor a gran escala.

	Tasa de producción teórica de ClO ₂ (lb/h)	Tasa de flujo promedio del agua motriz (gpm)	Concentración promedio de ClO ₂ en agua motriz (ppm)	Tasa de producción real de ClO ₂ (lb/h)	Eficiencia de conversión promedio (%)	Desviación estándar (%)
35	0,2	1,48	258,8	0,192	96,1	21,0
	2,0	4,87	807,8	1,970	98,4	12,0
	4,0	6,00	1336,8	4,019	100,4	5,1

40

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir dióxido de cloro, que comprende:
 - 5 alimentar una primera solución que comprende un ácido a través de una primera línea de alimentación (11) en un dispositivo de mezcla (20);
 alimentar una segunda solución que comprende clorito a través de una segunda línea de alimentación (12) al dispositivo de mezcla (20);
 10 mezclar la primera solución y la segunda solución en el dispositivo de mezcla (20) para formar una mezcla de reacción, en donde el dispositivo de mezcla está en comunicación fluida con un reactor (21);
 alimentar la mezcla de reacción al reactor (21);
 hacer reaccionar el ácido y el clorito en el reactor (21), en donde el reactor comprende una parte proximal (22) en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla (20) y una parte distal (23) en comunicación
 15 fluida con una línea de agua motriz (24), en donde el dispositivo de mezcla (20), el reactor (21), una parte de la primera línea de alimentación (11) y una parte de la segunda línea de alimentación (12) se colocan dentro de la línea de agua motriz (24); y
 mezclar el dióxido de cloro con el agua motriz en la línea de agua motriz (24) en la parte distal del reactor (21),
 20 en donde el reactor (21) comprende una configuración en espiral que tiene un ángulo del plano de la espiral de 1 grado a 60 grados.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el ácido es ácido clorhídrico, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido hipocloroso o cualquier combinación de estos.
- 25 3. Un método para producir dióxido de cloro, que comprende:
 - 30 alimentar una primera solución que comprende un ácido a través de una primera línea de alimentación (11) en un dispositivo de mezcla (20);
 alimentar una segunda solución que comprende clorato y peróxido de hidrógeno a través de una segunda línea de alimentación (12) al dispositivo de mezcla (20);
 35 mezclar la primera solución y la segunda solución en el dispositivo de mezcla (20) para formar una mezcla de reacción, en donde el dispositivo de mezcla está en comunicación fluida con un reactor (21);
 alimentar la mezcla de reacción al reactor (21);
 hacer reaccionar el ácido, el clorato y el peróxido de hidrógeno en el reactor (21),
 en donde el reactor comprende una parte proximal (22) en comunicación fluida con el dispositivo de
 40 mezcla y una parte distal (23) en comunicación fluida con una línea de agua motriz (24), en donde el dispositivo de mezcla (20), el reactor (21), una parte de la primera línea de alimentación (11) y una parte de la segunda línea de alimentación (12) se colocan dentro de la línea de agua motriz (24), y
 mezclar el dióxido de cloro con el agua motriz en la línea de agua motriz (24) en la parte distal (23) del reactor,
 en donde el reactor (21) comprende una configuración en espiral que tiene un ángulo del plano de la
 45 espiral de 1 grado a 60 grados.
4. El método de acuerdo con la reivindicación 3, en donde el ácido es ácido sulfúrico.
5. Un método para tratar el agua del proceso, que comprende: producir dióxido de cloro de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4; e inyectar el dióxido de cloro y el agua motriz en el agua del proceso.
- 50 6. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5, que comprende además enfriar el dispositivo de mezcla y el reactor con el agua motriz.
7. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde la primera línea de alimentación y la segunda línea de alimentación son opuestas y están dirigidas entre sí.
- 55 8. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en donde la línea de agua motriz comprende al menos dos canales longitudinales a través de los cuales puede fluir el agua motriz, y/o en donde el reactor funciona a una presión igual o mayor que la presión atmosférica.
- 60 9. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en donde la mezcla de reacción tiene un tiempo de residencia en el reactor de al menos 0,1 minutos, y la velocidad del precursor es de al menos 25 cm/min, en donde la velocidad del precursor es una velocidad de la primera y la segunda solución.
- 65 10. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-9, que comprende además operar el reactor a una temperatura que varía de 2 °C a 80 °C.

11. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5-10, en donde una torre de enfriamiento comprende el agua del proceso.
- 5 12. Un reactor para producir dióxido de cloro, que comprende:
un dispositivo de mezcla (20);
una línea de agua motriz (24);
una primera línea de alimentación (11) en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla;
una segunda línea de alimentación (12) en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla; y
10 un reactor (21) que comprende una parte proximal (22) en comunicación fluida con el dispositivo de mezcla y una parte distal (23) en comunicación fluida con una línea de agua motriz;
en donde el dispositivo de mezcla, el reactor, una parte de la primera línea de alimentación y una parte de la segunda línea de alimentación se colocan dentro de la línea de agua motriz y
15 en donde el reactor comprende una configuración en espiral que tiene un ángulo del plano de la espiral de 1 grado a 60 grados.
13. El reactor de acuerdo con la reivindicación 12, en donde la primera línea de alimentación y la segunda línea de alimentación son opuestas y están dirigidas entre sí.
- 20

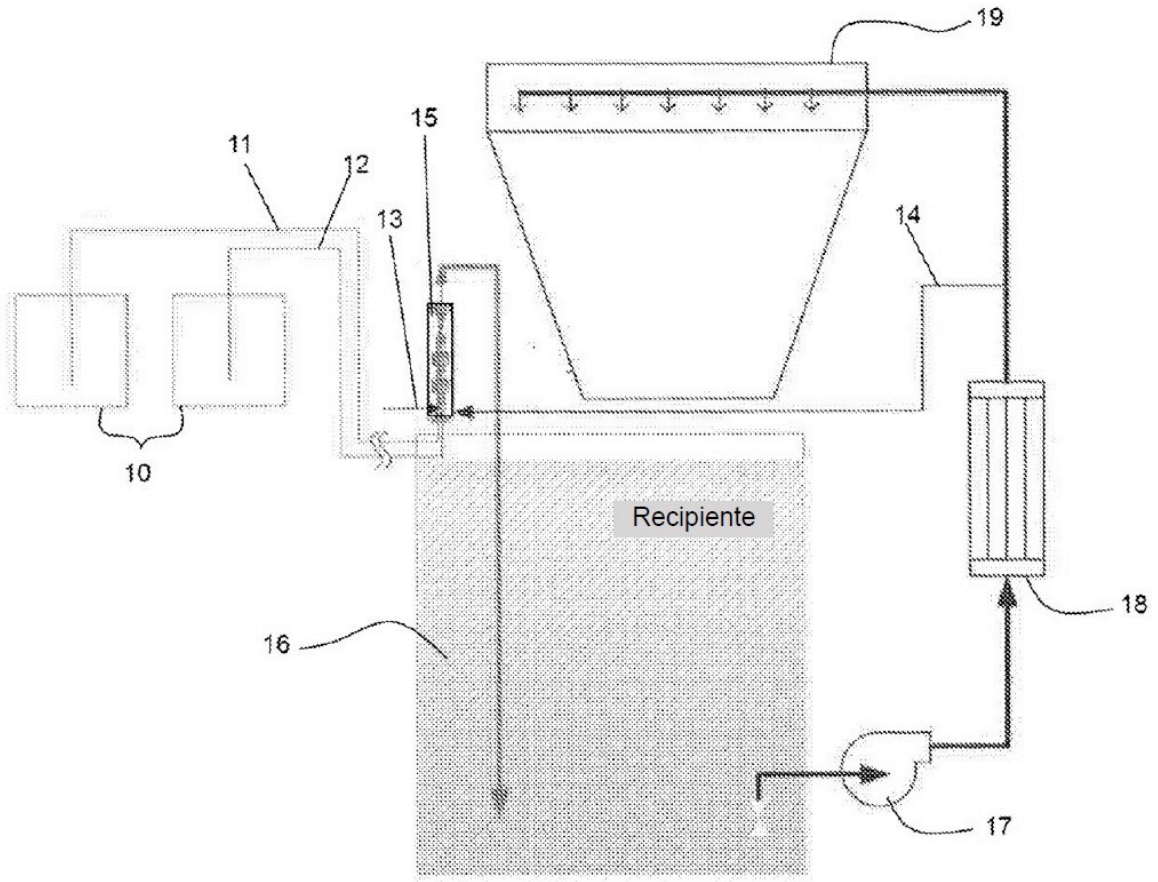


Figura 1

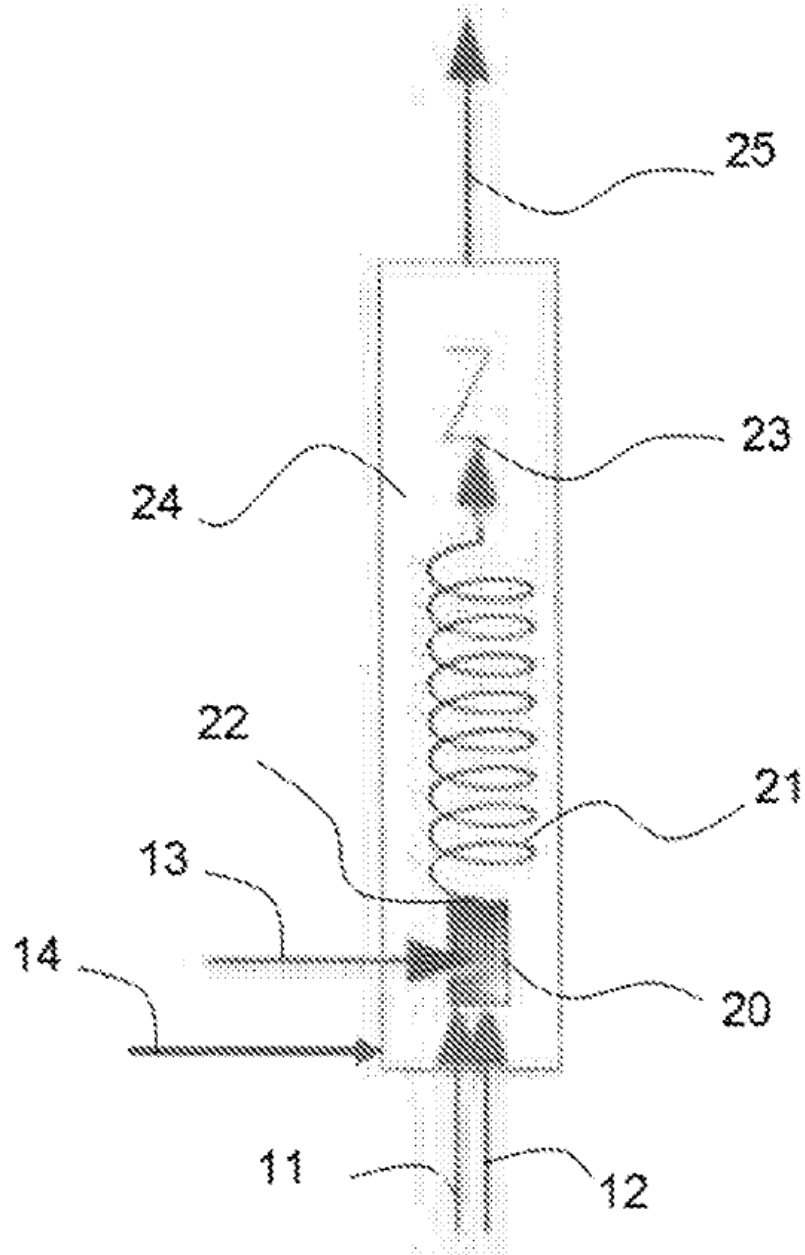


Figura 2

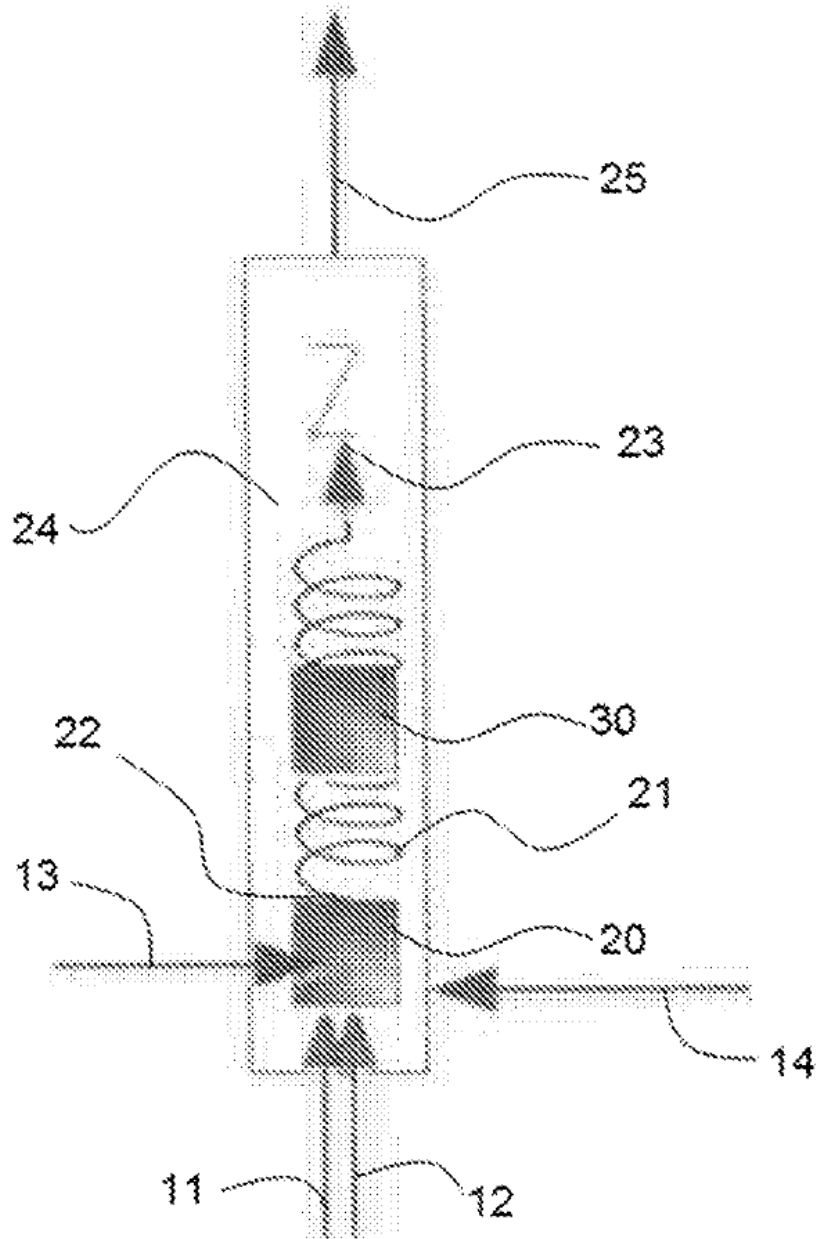


Figura 3

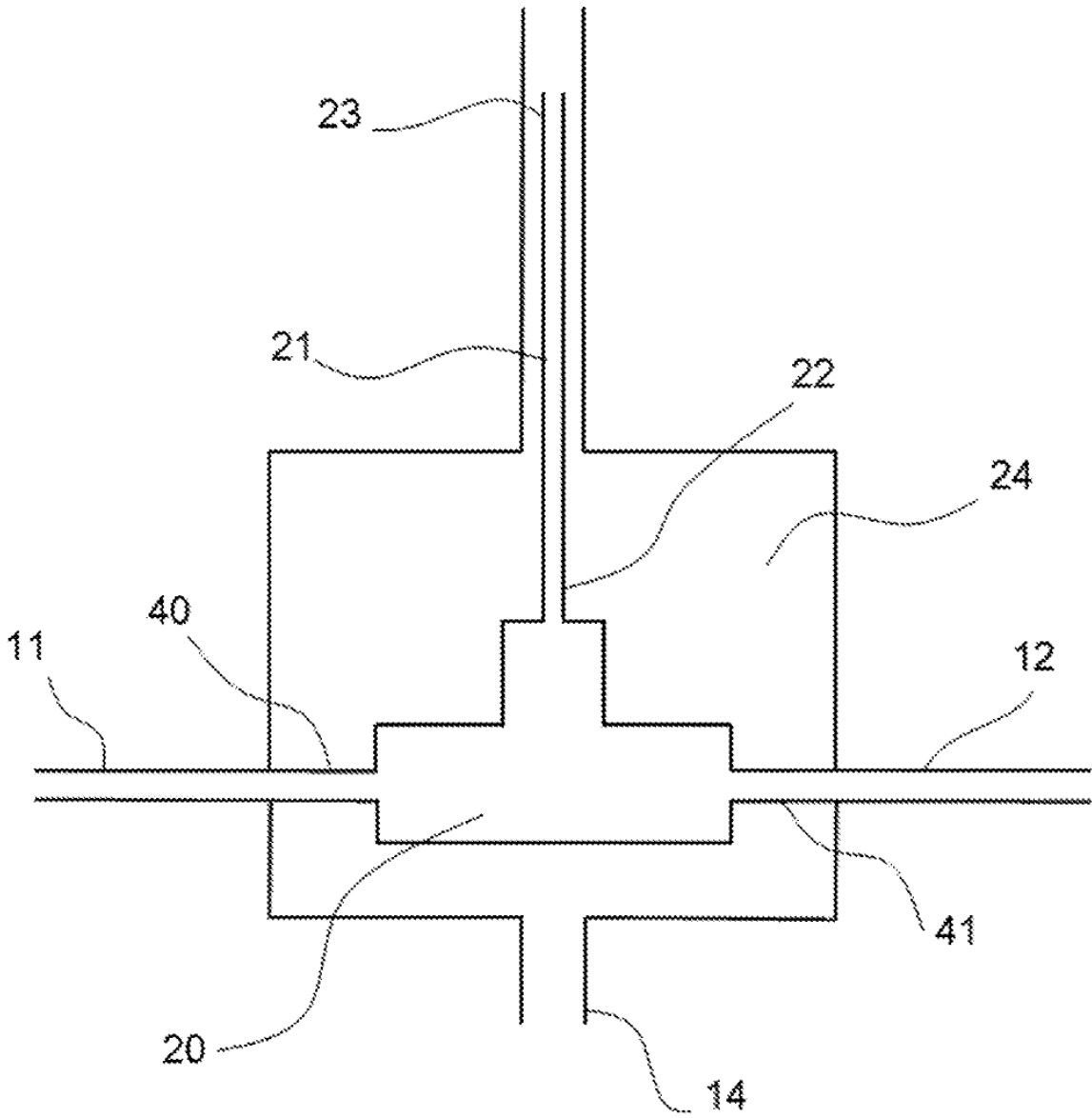


Figura 4

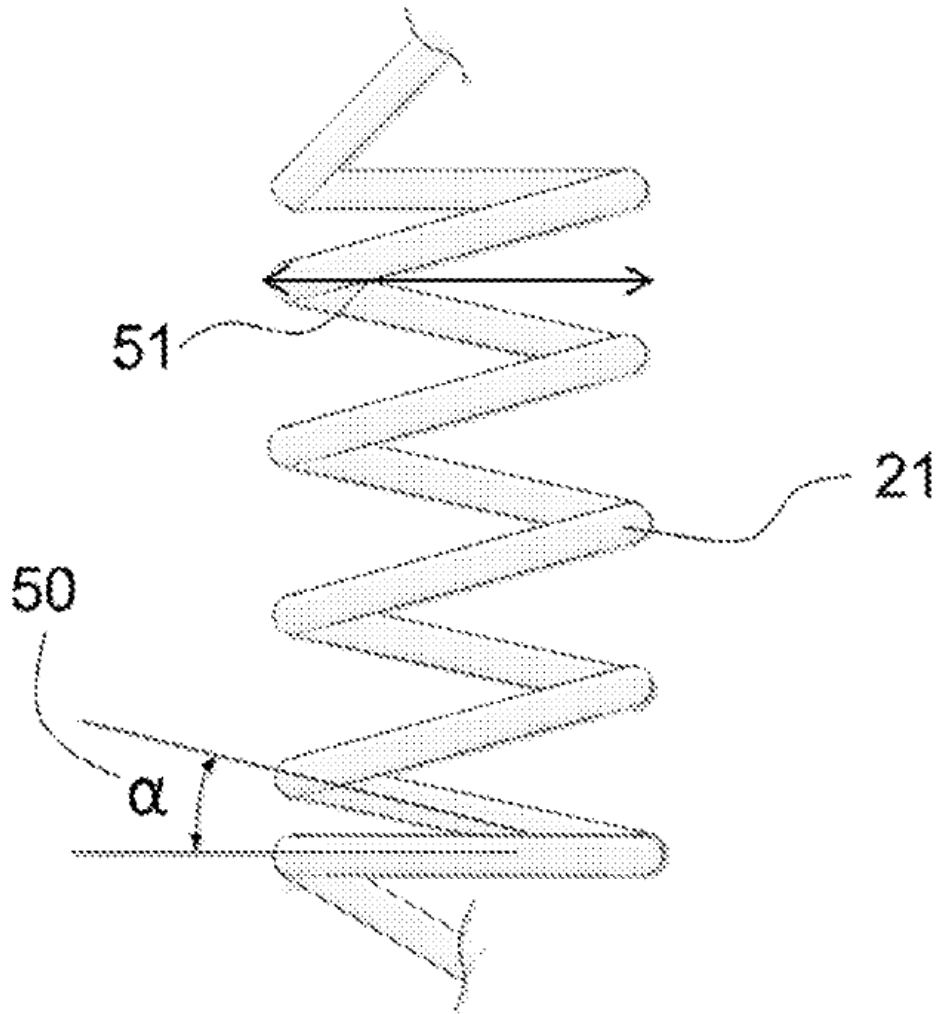


Figura 5

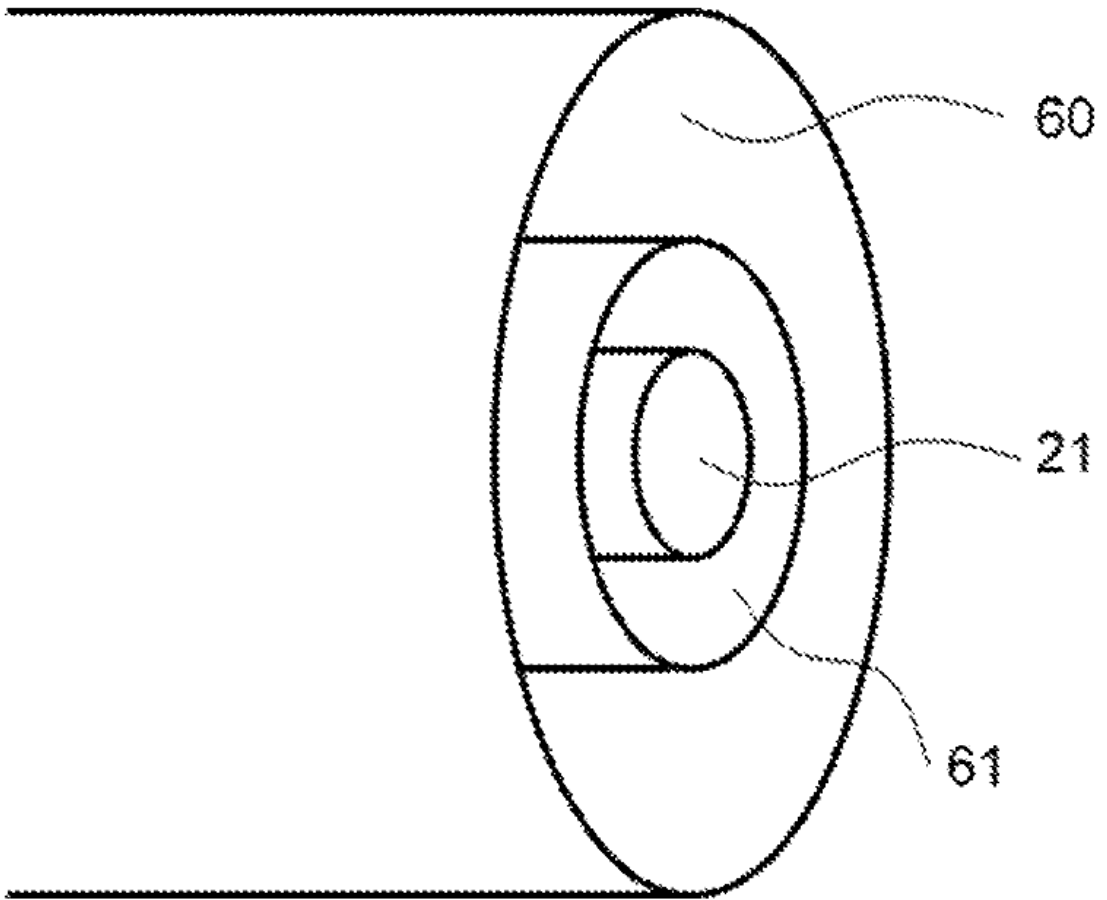


Figura 6

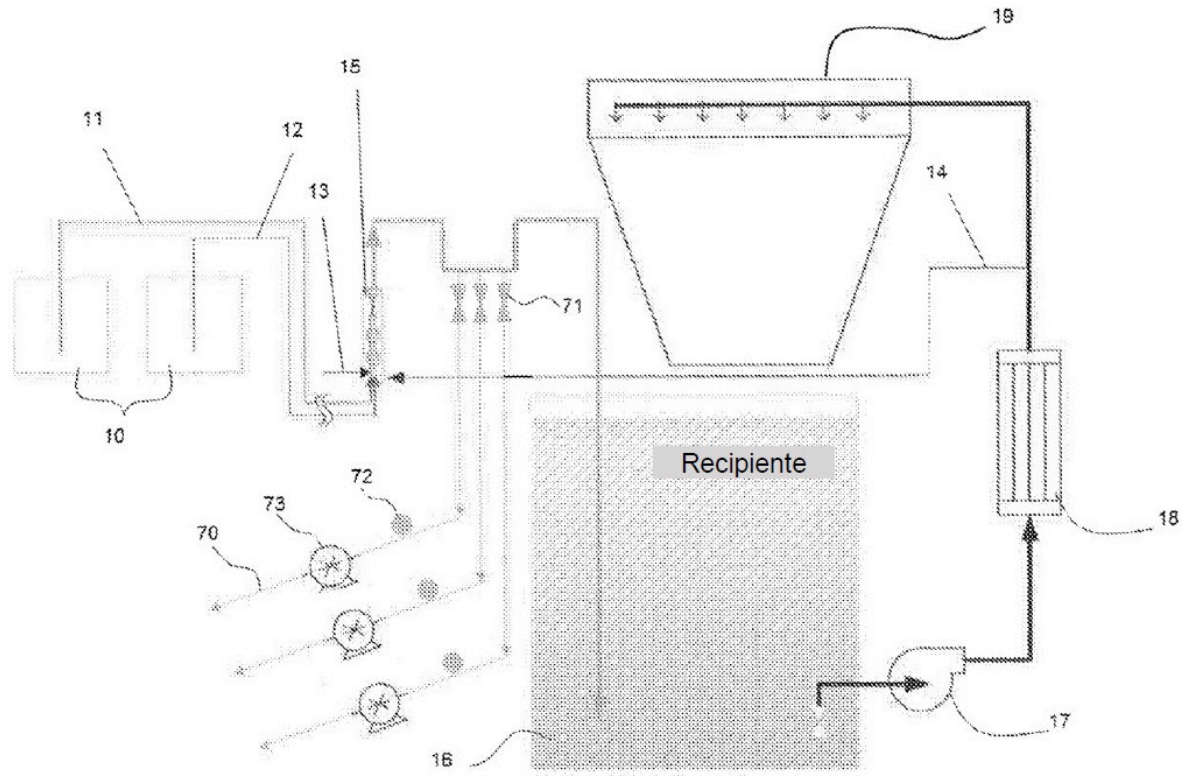


Figura 7