

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 652 601**

51 Int. Cl.:

**C25B 1/13** (2006.01)

**C25B 9/08** (2006.01)

**C25B 11/12** (2006.01)

**C02F 1/467** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.12.2011 PCT/US2011/063128**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.06.2012 WO12075425**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2011 E 11810712 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.11.2017 EP 2646601**

54 Título: **Celda electrolítica para la producción de ozono**

30 Prioridad:

**03.12.2010 US 419574 P**

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

**05.02.2018**

73 Titular/es:

**ELECTROLYTIC OZONE INC. (100.0%)  
66 Concord Street  
Wilmington MA 01887, US**

72 Inventor/es:

**YOST, WILLIAM, J.;  
LUTZ, CARL, DAVID;  
BOOTH, JEFFREY, D.;  
BOUDREAU, DONALD, J. y  
LAUDER, NICHOLAS, R.**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 652 601 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**

Celda electrolítica para la producción de ozono

**Solicitudes relacionadas**

- 5 Esta solicitud de patente reivindica la prioridad de la solicitud provisional de patente de Estados Unidos n.º 61/419.574, presentada el 3 de diciembre de 2010, titulada «Celda electrolítica para la producción de ozono», y nombrando a William J. Yost III, Carl David Lutz, Jeff Booth, Don Boudreau y Nick Lauder como inventores [archivo del profesional 3503/103], cuya divulgación se incorpora en el presente documento, en su totalidad, por referencia.

**Campo técnico**

- 10 La presente invención se refiere a celdas electrolíticas, y más particularmente, a celdas electrolíticas productoras de ozono que tienen membranas de electrolito sólido.

**Técnica anterior**

- 15 Las celdas electrolíticas pueden usarse para la producción de diversas sustancias químicas (por ejemplo, compuestos y elementos). Una aplicación de celdas electrolíticas es la producción de ozono. El documento EP 1754804 divulga una celda generadora de ozono que comprende como ánodo una placa de diamante conductora independiente.

- 20 El ozono es un destructor eficaz de patógenos y bacterias y se sabe que es un desinfectante eficaz. La Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) aprobó el uso del ozono como desinfectante para superficies en contacto con alimentos y para su aplicación directa a productos alimenticios. En consecuencia, las celdas electrolíticas se han utilizado para generar ozono y disolver el ozono directamente en el agua de manantial, eliminando así los patógenos y las bacterias del agua. Como resultado, las celdas electrolíticas han encontrado aplicaciones en la purificación de productos de agua embotellada y suministros de agua industrial.

**Resumen de los modos de modo de realización**

- En un primer modo de realización, se proporciona una celda electrolítica para producir ozono de acuerdo con la reivindicación 1.

- 25 La celda incluye un ánodo que incluye un material de diamante independiente, y un cátodo separado del primer electrodo, y una membrana de intercambio de protones. La membrana de intercambio de protones está entre el ánodo y el cátodo y separa el ánodo y el cátodo.

- 30 En algunos modos de realización, el segundo electrodo también incluye un material de diamante independiente, y la celda se configura para invertir la polaridad entre el ánodo y el cátodo. En algunos modos de realización, el material de diamante independiente incluye material de diamante dopado con boro.

- 35 En algunos modos de realización, el ánodo y el cátodo están en comunicación fluida para recibir agua de una fuente común, y en algunos modos de realización la celda se configura para dividir el flujo de agua de una fuente en un primer flujo de agua y un segundo flujo de agua, en el que el primer flujo de agua se suministra al ánodo y el segundo flujo de agua se suministra al segundo electrodo. En algunos modos de realización, la celda se configura de manera que el primer flujo de agua y el segundo flujo de agua se unen después de al menos uno del primer flujo de agua y el segundo flujo de agua está provisto de ozono. En otros modos de realización más, el flujo de agua unido se suministra a una cámara que contiene agua, en el que el agua dentro de la cámara se purifica mediante el ozono.

En algunos modos de realización, la celda se configura para instalarse dentro de una tubería.

- 40 En otros modos de realización más, la celda está libre de una solución de catolito y un depósito de catolito.

En algunos modos de realización, el material de diamante independiente incluye material de diamante dopado con boro con un grosor de entre aproximadamente 100 micrómetros y aproximadamente 700 micrómetros.

- 45 La celda electrolítica también incluye una carcasa cilíndrica, un primer miembro de marco semicircular y un segundo miembro de marco semicircular, en el que el ánodo, el cátodo y la membrana están intercalados entre el primer miembro de marco semicircular y el segundo miembro de marco semicircular, y el ánodo, el cátodo, la membrana, el primer miembro de marco semicircular y el segundo miembro de marco semicircular están dentro de la carcasa cilíndrica. En otros modos de realización, al menos uno del primer miembro de marco semicircular y el segundo miembro de marco semicircular es extensible para producir una fuerza de compresión sobre el ánodo, el cátodo y la membrana.

- 50 En otro modo de realización de acuerdo con la reivindicación 10, un procedimiento para hacer funcionar una celda electrolítica incluye proporcionar una celda electrolítica que tiene un primer electrodo de material de diamante, un

segundo electrodo de material de diamante y una membrana entre el primer electrodo y el segundo electrodo y que los separa. El modo de realización incluye además proporcionar, en un primer momento, un diferencial de tensión a través del primer electrodo y el segundo electrodo, en el que el diferencial de tensión tiene una primera polaridad, y luego invertir, en un segundo momento después del primer momento, la polaridad de la tensión diferencial a través del primer electrodo y el segundo electrodo. El diferencial de tensión tiene una segunda polaridad en el segundo momento. El procedimiento invierte a continuación, en un tercer momento después del segundo momento, la polaridad del diferencial de tensión a través del primer electrodo y el segundo electrodo, de manera que el diferencial de tensión tiene la primera polaridad en el tercer momento.

Algunos modos de realización incluyen invertir periódicamente la polaridad del diferencial de tensión, de modo que el diferencial de tensión alterna periódicamente entre la primera polaridad y la segunda polaridad.

En algunos modos de realización, el diferencial de tensión produce un flujo de corriente a través del primer material de diamante, en el que el flujo de corriente a través del primer material de diamante tiene una densidad de corriente de al menos aproximadamente 1 amperio por centímetro cuadrado durante todo el intervalo entre el primer momento y el segundo momento.

Algunos modos de realización también suministran agua a la celda electrolítica, en los que toda el agua se suministra desde una sola fuente, y separa el agua en dos corrientes, en la que una primera corriente entra en contacto con el primer electrodo y la segunda corriente entra en contacto con el segundo electrodo. La primera corriente y la segunda corriente se separan por la membrana. El procedimiento introduce a continuación ozono en la primera corriente en el primer electrodo, y luego combina la primera corriente y la segunda corriente para producir una corriente combinada, después de introducir el ozono. Algunos modos de realización dirigen la corriente combinada a una cámara de retención. Otros modos de realización también proporcionan agua adicional a la cámara de retención, en la que el agua adicional se purifica mediante el ozono.

#### Breve descripción de los dibujos

Las características anteriores de los modos de realización se entenderán más fácilmente por referencia a la siguiente descripción detallada, tomada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

Las figuras 1A y 1B ilustran esquemáticamente una celda electrolítica de acuerdo con un primer modo de realización;

La figura 2 ilustra esquemáticamente un electrodo con un diamante independiente.

La figura 3 ilustra esquemáticamente un electrodo laminado de la técnica anterior.

Las figuras 4A-4D ilustran esquemáticamente vistas variadas de un distribuidor de corriente;

La figura 5 ilustra una celda electroquímica de acuerdo con otro modo de realización.

La figura 6 ilustra una celda electroquímica de acuerdo con otro modo de realización.

La figura 7 ilustra esquemáticamente un modo de realización de una celda electrolítica dentro de una carcasa;

La figura 8 ilustra esquemáticamente un modo de realización alternativo de una celda electrolítica dentro de una carcasa;

La figura 9 ilustra esquemáticamente un modo de realización de una celda electrolítica dentro de un tubo;

La figura 10 ilustra esquemáticamente un modo de realización de una celda electrolítica dentro de un sistema; y

La figura 11 ilustra un procedimiento de funcionamiento de una celda electrolítica.

#### Descripción detallada de modos de realización específicos

De acuerdo con un modo de realización, una celda electrolítica para producir ozono en agua corriente incluye al menos un electrodo de diamante independiente. El electrodo de diamante independiente es capaz de manejar una potencia apreciablemente más alta que los electrodos conocidos previamente, y entre otras cosas es capaz de producir más ozono.

Un modo de realización de una celda electrolítica 100 se ilustra esquemáticamente en la figura 1A, y una sección transversal de esa celda 100 se ilustra esquemáticamente en la figura 1B, dejando al descubierto los componentes internos de la celda 100.

Como se muestra en la figura 1B, la celda electrolítica 100 tiene dos electrodos: un ánodo 101 y un cátodo 102. En este modo de realización, el ánodo 101 es un ánodo de diamante independiente dopado con boro, mientras que el cátodo 102 está formado por titanio u otro material conductor. El ánodo 101 y el cátodo 102 pueden incluir características de orificio pasante 110 para aumentar su área superficial y permitir que el agua pase a través de

ellos.

5 Para formar ozono, se suministra una fuente de agua a la celda 100 y se aplica un potencial eléctrico positivo al ánodo mientras se aplica un potencial eléctrico diferente al cátodo 102, para crear una diferencia de tensión (o diferencia de potencial) a través del ánodo 101 y el cátodo 102. En el modo de realización mostrado en la figura 1, el potencial eléctrico se aplica a través de los contactos de ánodo y cátodo 103, 104. En el lado del ánodo de la celda 100, la diferencia en el potencial eléctrico divide las moléculas de agua en 1) oxígeno y 2) cationes de hidrógeno. El oxígeno se transforma en ozono, que se disuelve en el agua. Los cationes de hidrógeno se extraen del lado del ánodo de la celda al lado del cátodo por el potencial eléctrico negativo aplicado al cátodo 102. Una vez en el lado del cátodo de la celda, los cationes forman burbujas de hidrógeno.

10 Para facilitar el movimiento de protones (por ejemplo, cationes de hidrógeno) del ánodo 101 al cátodo 102, en algunos modos de realización, se usa una membrana sólida 105 como un electrolito sólido y se coloca entre el ánodo 101 y el cátodo 102 (por ejemplo, una membrana de intercambio de protones (PEM), tal como Nafion®). Adicionalmente, en algunos casos, la membrana 105 se usa como una barrera para separar el flujo de agua de la fuente en el lado del cátodo de la celda 100 del agua de la fuente en el lado del ánodo de la celda. Para proporcionar integridad estructural a la membrana 105, la membrana también puede incluir una matriz de soporte (no mostrada).

15 Como se ilustra, la membrana 105 está entre los electrodos 101 y 102 y los contactos 103 y 104. De hecho, una configuración de este tipo puede describir la membrana como «intercalada» entre los electrodos, y la disposición de los electrodos 101, 102 y la membrana 105, y/o la disposición de los electrodos 101, 102, la membrana 105 y los contactos 103 y 104, se puede describir como formando una intercalación de electrodos. La intercalación no se limita a estos componentes, sin embargo, y varios modos de realización pueden incluir otros componentes o capas en la pila intercalada.

20 En el modo de realización de las figuras 1A y 1B, la celda 100 incluye un marco de ánodo 106 y un marco de cátodo 107. Los marcos 106, 107 posicionan ambos el ánodo 101, el cátodo 102, el contacto de ánodo 103, el contacto de cátodo 104 y la membrana 105, y proporcionan integridad estructural al conjunto. Los marcos 106, 107 también incluyen una o más aberturas 108 a través de las cuales puede fluir el agua de la fuente. El tamaño y la forma de las aberturas 108 se pueden variar para conseguir diferentes caudales a través de las áreas del cátodo o del ánodo variando la resistencia al fluido de las aberturas, ya sea por tamaño, longitud o algún otro aspecto de la geometría. En algunos modos de realización ilustrativos, la celda electrolítica también incluye una junta tórica 109 alrededor de su periferia externa. Cuando la celda electrolítica 100 se inserta en una tubería (que puede ser un tubo u otra carcasa), la junta tórica 109 puede ayudar a asegurar y sellar la celda electrolítica 100 al perímetro interior de la tubería. De forma alternativa, o además, la junta tórica 109 también puede proporcionar una fuerza de compresión contra los marcos 106, 107, para ayudar a «sujetar» los marcos 106, 107 entre sí.

30 Un modo de realización de un electrodo de diamante independiente 200 se ilustra esquemáticamente en la figura 2, e incluye un distribuidor de corriente 201 y un diamante independiente 202.

35 El diamante independiente 202 tiene un primer lado 202A, y un segundo lado 202B opuesto al primer lado. El diamante también tiene un espesor 202C, definido como la distancia entre el primer lado 202A y el segundo lado 202B. En el modo de realización de la figura 2, el diamante independiente tiene un espesor sustancialmente uniforme, lo que quiere decir que su espesor es sustancialmente el mismo en todos los puntos.

40 Como se usa en el presente documento y en cualquier reivindicación adjunta al mismo, un «diamante independiente» es un material de diamante dopado no laminado con un espesor superior a aproximadamente 100 micrómetros. Por ejemplo, el diamante independiente puede tener un espesor de 100 micrómetros, 200 micrómetros, 300 micrómetros, 400 micrómetros o más. De hecho, algún modo de realización puede tener un espesor de 500 micrómetros, 600 micrómetros, 700 micrómetros o más.

45 Estos diamantes gruesos son beneficiosamente capaces de transportar corriente a altas densidades de corriente durante períodos de tiempo sostenidos sin un deterioro significativo del rendimiento y sin incurrir en daños sustanciales. Por ejemplo, en algunos modos de realización, el diamante independiente es capaz de conducir una densidad de corriente sostenida de al menos aproximadamente 1 amperio (o «amp») por centímetro cuadrado, mientras que otros modos de realización son capaces de conducir una densidad de corriente sostenida de al menos aproximadamente 2 amperios por centímetro cuadrado, por ejemplo. Durante los ensayos, los inventores han hecho funcionar un electrodo de diamante independiente con una densidad de corriente de aproximadamente 2 amperios por centímetro cuadrado durante períodos de al menos aproximadamente 500 horas continuas, sin dañar el electrodo ni degradar su capacidad de transporte de corriente o su producción de ozono. Dichos electrodos pueden producir más ozono por centímetro cuadrado de área superficial que los electrodos conocidos previamente, y por lo tanto pueden hacerse más compactos que un electrodo de la técnica anterior configurado para producir la misma cantidad de ozono por unidad de tiempo. Los electrodos de acuerdo con diversos modos de realización también pueden tener vidas útiles más largas y productivas que los electrodos conocidos previamente.

55 Por el contrario, los electrodos de la técnica anterior incluyen una capa de diamante laminada de película delgada, tal como un recubrimiento de diamante de película delgada sobre un sustrato. Véase, por ejemplo, un documento

titulado «Electrochemical Ozone Production Using Diamond Anodes And A Solid Polymer Electrolyte», de Alexander Kraft et al., *Electrochemistry Communications* 8 (2006), 883-886. Un electrodo ejemplar de la técnica anterior 300 se ilustra esquemáticamente en la figura 3, e incluye un sustrato 301 y una capa de diamante de película delgada 302. La capa de diamante de película delgada 302 puede hacerse aparecer sobre el sustrato 302; dicha capa de diamante no existe antes de hacerla aparecer, a diferencia de lo que sucede con un diamante independiente que puede existir independientemente de un distribuidor de corriente.

La integridad estructural y eléctrica del electrodo 300 depende del contacto físico entre la capa de diamante 302 y el sustrato 301. Ese contacto, y por lo tanto la integridad del electrodo 300, se ve comprometido si la capa de diamante 302 comienza a deslaminarse del sustrato 301. Dicha deslaminación puede estar causada, por ejemplo, por la tensión térmica dentro del electrodo 300, y particularmente cuando dicha tensión térmica se expresa en la interfaz de la capa de diamante 302 y el sustrato 301. La tensión térmica, a su vez, puede estar causada por diferencias en el coeficiente de expansión térmica de la capa de diamante 302 y el sustrato 301. Además, la tensión térmica aumenta al aumentar el espesor 303 de la capa de diamante.

Por esta razón, las capas de diamante usadas en electrodos previamente conocidos han sido de espesor limitado y clasificaciones de densidad de corriente limitadas. La limitación del espesor de la capa de diamante de un electrodo laminado limita la tensión térmica generada como resultado de la diferencia en los respectivos coeficientes térmicos de expansión del material de diamante y el sustrato. En general, el espesor de la capa de diamante se ha limitado a intervalos de aproximadamente 10 micrómetros o menos.

Sin embargo, proteger la integridad estructural de un electrodo limitando el espesor de una capa de diamante tiene un costo. Dichos electrodos tienen una capacidad de densidad de corriente limitada. Por ejemplo, se informó de densidades de corriente de menos de aproximadamente 400 miliamperios por centímetro cuadrado en el documento titulado «Electrochemical Ozone Production Using Diamond Anodes And A Solid Polymer Electrolyte» mencionado anteriormente. De hecho, algunos fabricantes de electrodos de diamante laminados recomiendan mantener la densidad de corriente por debajo de 0,5 amperios por centímetro cuadrado. Las mayores densidades de corriente, particularmente si se mantienen durante minutos u horas, pueden dañar dichos electrodos y/o causar una degradación del rendimiento, como haciendo que la capa de diamante y el sustrato comiencen a deslaminarse. Dicha capacidad de corriente limitada limita la capacidad de producción de ozono del electrodo.

Volviendo a la figura 2, el distribuidor de corriente 201 se fija y acopla eléctricamente al diamante independiente 202. En funcionamiento, se puede acoplar un suministro de tensión al distribuidor de corriente para conectar el diamante independiente 202 a un sistema principal. Por ejemplo, el distribuidor de corriente 202 incluye una parte extendida 203, pudiendo usarse dicha parte extendida como un contacto eléctrico, tal como un enlace al que se puede soldar un cable, por ejemplo. Como tal, el distribuidor de corriente 201 es conductor de electricidad. En algunos modos de realización, el distribuidor de corriente puede incluir metal, tal como titanio, por ejemplo.

Varios modos de realización de los distribuidores de corriente pueden adoptar una variedad de formas. Por ejemplo, un distribuidor de corriente puede ser una configuración en malla o celosía. Un modo de realización de un distribuidor de corriente en celosía 703 se ilustra esquemáticamente en la figura 7, por ejemplo.

Un modo de realización alternativo de un distribuidor de corriente tiene una forma de «marco», denominada así porque una parte del marco tiene una forma rectangular o cuadrada, y por lo tanto se asemeja a la forma de un marco de imagen. Un modo de realización de una configuración en marco de un distribuidor de corriente 400 se ilustra esquemáticamente en las figuras 4A-4D, por ejemplo. Específicamente, la figura 4A presenta una vista en perspectiva del distribuidor de corriente 400, mientras que la figura 4B presenta una vista lateral, la figura 4C presenta una vista superior y la figura 4D presenta una vista inferior. El distribuidor de corriente 400 es conductor, y puede incluir titanio, por ejemplo. Las dimensiones en la figura 4D son ilustrativas y no pretenden limitar varios modos de realización.

Una parte de marco 401 del distribuidor de corriente incluye una abertura 402. La abertura 402, cuando se acopla a un diamante independiente (no mostrado en la figura 4), presenta una gran área del diamante independiente al agua, facilitando de este modo la producción de ozono. Si el perímetro de la parte de marco 401 define un área, entonces la abertura 402 ocupa la mayor parte de esa área. Por ejemplo, la abertura 402 puede ocupar aproximadamente el 80 por ciento, aproximadamente el 90 por ciento o más de la parte de marco 401.

Un modo de realización alternativo de una celda electrolítica 500 se ilustra esquemáticamente en la figura 5, y tiene varias características similares a la celda electrolítica 100 analizadas anteriormente, tales como los contactos 503, 504, la membrana 505 y la junta tórica 509. Dichas características no se analizan nuevamente en el presente documento.

La celda electrolítica 500 difiere de la celda electrolítica 100, sin embargo, al menos porque la celda electrolítica 500 tiene dos electrodos de diamante independientes 501, 502. Como tal, no es necesario identificar un electrodo como el ánodo y otro electrodo como el cátodo. Cualquiera de los electrodos 501, 502 es capaz de actuar como el ánodo, como el cátodo, o incluso alternando entre las funciones de ánodo y cátodo. En algunos modos de realización, la celda 500, o un sistema que aloja la celda 500, puede incluir un circuito para invertir la polaridad de las tensiones

que entran en los electrodos. Dicho circuito puede incluir, por ejemplo, una red de conmutación que tiene un número de interruptores acoplados entre las tensiones de entrada y los electrodos 501 y 502 para dirigir selectivamente una primera tensión de entrada al primer electrodo 501 y una segunda tensión al segundo electrodo 502, e invertir de forma controlable la polaridad de las tensiones de entrada a fin de dirigir la primera tensión de entrada al segundo electrodo 502, y la segunda tensión de entrada al primer electrodo 501. Como tal, un electrodo 501 actúa como el ánodo y el otro electrodo 502 actúa como el cátodo cuando la tensión de entrada tiene una primera polaridad. Sin embargo, cuando la polaridad de la tensión de entrada se invierte (es decir, a una segunda polaridad), el primer electrodo 501 actúa entonces como el cátodo, y el segundo electrodo actúa como el ánodo.

La figura 6 ilustra esquemáticamente otro modo de realización 600 de una celda electrolítica de dos diamantes. En la figura 6, la celda 600 incluye una configuración en serie de electrodos de diamante dopados con boro 601, 602 ubicados en el mismo lado de la membrana 603 y conectados a los contactos de electrodo 604, 605, respectivamente. Como se muestra en la figura 6, la membrana 603 está en contacto con ambos electrodos de diamante 601 y 602. En esta configuración, los cationes se desplazan horizontalmente a través de la membrana 603 entre los electrodos 601 y 602.

Otro modo de realización de un conjunto de celda electrolítica 700 se ilustra esquemáticamente en la figura 7. En este modo de realización, el conjunto de celda 700 incluye una carcasa 700A con un volumen interior cilíndrico 700B (pudiendo denominarse dicha carcasa cilíndrica, independientemente de su forma exterior), y los electrodos de diamante 701, 702, distribuidores de corriente 703, 704, la membrana 705 y los marcos semicirculares 706 y 707 residen dentro del volumen interior cilíndrico 700B.

En este modo de realización, se suministra agua a los electrodos 701, 702 a través de un conducto de agua 710 que es parte de la carcasa 700A. A medida que el agua se aproxima a los electrodos 701, 702, se encuentra con un separador 711 dentro del conducto de agua 710. El separador forma de forma efectiva canales que dividen el agua en una primera corriente (que puede denominarse primer flujo de agua) y una segunda corriente (que puede denominarse segundo flujo de agua). Estos canales a su vez dirigen la primera corriente al primer electrodo 701, y la segunda corriente al segundo electrodo 702. La primera y la segunda corriente fluyen entonces por separado, y algunas de las moléculas de agua en la corriente que pasa el ánodo (que podría ser el electrodo 701 o 702, dependiendo de la polaridad de la tensión suministrada a los electrodos) tendrán sus átomos de hidrógeno y átomos de oxígeno disociados, y algunos de los átomos de oxígeno formarán ozono a continuación. Como tal, el ozono se introduce en una de las corrientes. En algunos modos de realización, las corrientes pueden recombinarse en un punto después de que las corrientes pasen los electrodos 701 y 702.

En algunos modos de realización, al menos uno de los marcos 706 y 707 puede ser extensible para producir una fuerza de compresión en la intercalación de electrodos. Por ejemplo, un marco 706 y/o 707 pueden incluir dos partes que están cargadas por resorte de manera que el resorte empuje contra las dos partes para empujarlas hacia afuera, expandiendo de este modo el marco. Como tal, una parte del marco empuja contra el interior cilíndrico de la carcasa, mientras que otra parte del marco empuja contra la intercalación de electrodos.

Otro modo de realización más de un conjunto de celda electrolítica 800 se ilustra esquemáticamente en la figura 8. Este modo de realización incluye una carcasa diferente 800A, pero también tiene un volumen interior cilíndrico 800B. Este modo de realización 800 incluye una celda electrolítica 801 dentro del volumen interior cilíndrico 800B. Específicamente, la celda electrolítica 801 incluye al menos un distribuidor de corriente 802 en forma de marco, que puede ser similar al distribuidor de corriente 400 analizado anteriormente.

La figura 9 ilustra esquemáticamente un modo de realización del sistema 900 que aloja una celda electrolítica 901. El sistema 900 incluye una celda electrolítica 901 que se instala dentro del perímetro interior de un tubo 902. En este modo de realización, la celda electrolítica puede ser la celda 100 que se analizó anteriormente, o puede ser otro modo de realización de una celda electrolítica descrita en el presente documento, por ejemplo. En el modo de realización de la figura 9, la junta tórica 109 impide que el agua fluya entre la celda 900 y el perímetro interior del tubo 901.

La figura 10 ilustra esquemáticamente otro modo de realización del sistema 1000 que aloja una celda electrolítica 1000. La figura 10 muestra una celda electrolítica 100 dentro de una carcasa 1001 de acuerdo con un modo de realización de la presente invención. La celda electrolítica 100 en este modo de realización es la celda 100 descrita anteriormente, pero podría seleccionarse de entre otros modos de realización descritos en el presente documento, tales como la celda electrolítica 500 por nombrar solo un ejemplo, o una celda completamente diferente.

La carcasa incluye una entrada 1002, una salida 1003 y un conducto de agua (o «tubería») 1004 que conecta la entrada 1002 a la salida 1003. En modos de realización ilustrativos, la entrada 1002 y/o la salida 1003 incluyen conexiones de tubo de empuje y bloqueo para una fácil conexión de la carcasa 1001 con un suministro de agua de la fuente. Los ejemplos de conexiones que podrían usarse se proporcionan en la solicitud de n.º de serie 12/769,133, que se incorpora en el presente documento, en su totalidad, como referencia.

De acuerdo con diversos modos de realización de la presente invención, el agua de la fuente fluye hacia la entrada 1002 y a través del conducto de agua 1004, la celda electrolítica 100 y la salida 1003 en la dirección mostrada por la

flecha 1005 en la figura 10. Una parte del agua de la fuente fluye a través del lado del ánodo de la celda 100 mientras que otra parte del agua de la fuente fluye a través del lado del cátodo de la celda 100.

A medida que el agua fluye a través de la celda electrolítica 100, se aplica un potencial eléctrico positivo al ánodo 101 mientras se aplica un potencial eléctrico negativo al cátodo 102. El potencial eléctrico se aplica a través de los contactos de ánodo y cátodo 103, 104, que a su vez se conectan a una fuente de alimentación a través de cables eléctricos 1006. En modos de realización ilustrativos, los contactos de ánodo y cátodo 103, 104 se forman por una malla de titanio o un distribuidor de corriente de marco de titanio que está soldado por puntos sobre los conductores eléctricos 1006. De esta manera, los contactos de ánodo y cátodo 103, 104 permiten que el agua de la fuente haga contacto con las superficies del ánodo 101 y el cátodo 102. Los cables eléctricos 1006 pasan a través de las paredes del conducto de agua 1004 y, en modos de realización ejemplares, se usan tornillos de casquillo 1007 y juntas tóricas 1008 para evitar fugas del agua de fuente entre los cables y las paredes del conducto de agua.

Como se explicó anteriormente, el agua en el lado del ánodo de la celda 100 forma 1) oxígeno y 2) cationes de hidrógeno. El oxígeno se transforma en ozono, que se disuelve en el agua, mientras que los cationes de hidrógeno se arrastran hacia el lado del cátodo de la celda y forman burbujas de hidrógeno. Usando el sistema 1000 como ejemplo, el agua en el lado del cátodo de la celda 100 (incluido el hidrógeno) y el agua del lado del ánodo de la celda (incluido el ozono y otras especies) se unen y luego fluyen fuera de la salida 1003.

Los inventores reconocieron que mezclar el agua del lado del ánodo de la celda 100 y el lado del cátodo de la celda tiene desventajas. Cuando los productos de la reacción electrolítica se mezclan, reaccionan y se recombinan. Por ejemplo, el hidrógeno en el lado del cátodo de la celda se recombina con el ozono, los radicales hidroxilo y otros derivados del oxígeno del lado del ánodo para formar otras especies de productos químicos. En algunos casos, hasta aproximadamente un 30% del ozono puede recombinarse aguas abajo de la celda electrolítica 100 y, de este modo, reducir la producción neta de ozono de la celda 100.

Sin embargo, los inventores reconocieron que, en modos de realización ilustrativos de la presente invención, esta desventaja se ve compensada por el diseño simple y económico de la celda electrolítica 100. Como se muestra en el modo de realización de las figuras 9 y 10, solo se necesita un solo suministro de agua para suministrar el lado del ánodo y el cátodo de la celda 100. Por el contrario, en muchos sistemas de la técnica anterior, el ánodo se suministra por un suministro de agua y el cátodo se suministra por una solución de catolito desde un depósito. Esta disposición de la técnica anterior agrega complejidad y coste a la celda electrolítica.

Además, los inventores se dieron cuenta de que las desventajas asociadas con la mezcla de los productos tales como hidrógeno y ozono pueden limitarse minimizando el tiempo de exposición de los productos entre sí. Más particularmente, los inventores descubrieron que el tiempo de exposición se puede minimizar haciendo fluir el agua y los productos a una cámara o depósito grande 1020. En la cámara, las burbujas de hidrógeno flotantes se elevan hacia la parte superior y se alejan del ozono y, por lo tanto, ya no reaccionan ni se recombinan. En un modo de realización ejemplar de la invención, los productos fluyen a una cámara grande inmediatamente después de que se forman. Típicamente, cuanto menos tiempo pasan los productos (ozono e hidrógeno) dentro del flujo turbulento de los conductos de agua, menos se recombinan para anular la producción de ozono de la celda.

Los inventores también han reconocido que existen ciertas desventajas asociadas con una celda electrolítica que no tiene una solución de catolito suministrada desde un depósito. Durante la reacción electrolítica, las incrustaciones (por ejemplo, carbonato de calcio) del agua de la fuente se acumulan o se depositan en la membrana 105 y otros componentes de la celda 100. Eventualmente, si se acumula como se indica, las incrustaciones impiden la reacción electroquímica dentro de la celda 100. Dichos depósitos dentro de la celda electrolítica 100 pueden acortar la vida útil de la celda, o requerir el desmontaje y la limpieza de los componentes internos para restablecer el funcionamiento de la celda y la producción eficiente de las sustancias químicas diana, tales como el ozono. Para ayudar a prevenir este problema, los sistemas de la técnica anterior usan un depósito de solución de catolito (por ejemplo, agua con cloruro de sodio y/o ácido cítrico) y aplican la solución a la superficie de la membrana y el cátodo de los dispositivos de la técnica anterior. La solución de catolito ayuda a prevenir la acumulación de incrustaciones en la membrana y el cátodo y, por lo tanto, mejora la eficiencia de la celda.

No obstante, los inventores han reconocido que, aunque la solución de catolito ayuda a prevenir la acumulación de incrustaciones, también requiere el uso de piezas adicionales y complica aún más y aumenta el coste del diseño de las celdas electrolíticas y los sistemas que las utilizan. Los inventores reconocieron además que, en modos de realización ilustrativos de la presente invención, las desventajas asociadas con la acumulación de incrustaciones se ven compensadas por el diseño simple y económico de la celda electrolítica 100. Como se muestra en el modo de realización de las figuras 9 y 10, por ejemplo, modos de realización ilustrativos de la presente invención no incluyen un depósito o una solución de catolito; en otras palabras, dichos modos de realización están libres de un depósito y una solución de catolito. Este diseño económico y simple de la celda 100 permite su reemplazo una vez que ya no es eficiente.

Los modos de realización ilustrativos de la presente invención son particularmente útiles como soluciones desechables y de bajo coste para la purificación de agua. Mientras que los sistemas de la técnica anterior más caros y complejos requieren el reemplazo de la solución de catolito y/o el desmontaje de la celda para restablecer la

5 eficiencia, los modos de realización ilustrativos de la celda electrolítica simplemente se retiran, eliminan y reemplazan con un nuevo conjunto de celda. Aunque los modos de realización ilustrativos de la celda pueden tener tiempos de vida limitados (si bien tienen vidas útiles más largas que las celdas previamente conocidas), puede ser más económico reemplazar simplemente las celdas desechables en lugar de mantener celdas electrolíticas más complejas de la técnica anterior. Dichas celdas electrolíticas desechables son particularmente útiles cuando el suministro de agua de la fuente tiene bajos niveles de impurezas. En dichas circunstancias, la acumulación de incrustaciones es baja y mitiga aún más la necesidad de una solución de catolito. También pueden existir otros factores que mitiguen la necesidad de una solución de catolito.

10 Un procedimiento 1100 de funcionamiento de una celda electrolítica se ilustra en la figura 11. Como se mencionó anteriormente, en una celda electrolítica que tiene dos electrodos de diamante independientes, no es necesario identificar un electrodo como el ánodo y otro electrodo como el cátodo. Cualquiera de los electrodos es capaz de actuar como el ánodo, como el cátodo, o incluso alternando entre las funciones de ánodo y cátodo. Esta característica permite el funcionamiento de una celda electrolítica de tal manera que mitigue la acumulación de incrustaciones.

15 Como tal, el procedimiento comienza proporcionando una celda electrolítica que incluye un primer electrodo que tiene un material de diamante y un segundo electrodo que tiene un material de diamante (etapa 1101). La celda electrolítica es similar a las celdas descritas anteriormente.

La celda electrolítica también incluye una membrana entre el primer electrodo y el segundo electrodo y separa el primer electrodo y el segundo electrodo.

20 En funcionamiento, se suministra agua a la celda electrolítica (etapa 1102). Como se mencionó anteriormente, algunos modos de realización separan el agua entrante en la primera y segunda corrientes, y dirigen la primera corriente a un ánodo, y la segunda corriente al cátodo. Como tal, algunos modos de realización separan el agua en dichas corrientes en la etapa 1102. Como se indicó anteriormente, algunos modos de realización no requieren ni usan una solución de electrolito. Como tal, toda el agua puede suministrarse desde una fuente común, en lugar de tener algo de agua suministrada por una fuente de agua, y una solución de electrolito suministrada desde una fuente diferente. Por lo tanto, algunos modos de realización suministran agua a la celda electrolítica desde una fuente única o común.

25 Como se mencionó anteriormente, se suministra una diferencia de potencial eléctrico entre los electrodos cuando la celda está en funcionamiento. Como tal, el procedimiento también proporciona, en la etapa 1103 en un primer momento, un diferencial de tensión a través del primer electrodo y el segundo electrodo, teniendo el diferencial de tensión una primera polaridad.

30 Mientras se encuentre en esta configuración, pueden comenzar a acumularse o continuar acumulándose incrustaciones en los electrodos. Para combatir la acumulación de incrustaciones, la siguiente etapa invierte la polaridad de las tensiones al primer electrodo y al segundo electrodo (etapa 1104). Esta etapa 1104 se lleva a cabo en un segundo momento posterior al primer momento, y el diferencial de tensión tiene por lo tanto una segunda polaridad (opuesta, o inversa) en el segundo momento. Al invertir la polaridad de la tensión, las fuerzas de atracción entre los electrodos y las incrustaciones también se invierten, de modo que un electrodo que atrajo las incrustaciones con la primera polaridad, ahora repele las incrustaciones con la segunda polaridad. La inversión repetida de la polaridad a lo largo del tiempo (por ejemplo, primera polaridad, segunda polaridad, primera polaridad, segunda polaridad, etc.) puede ayudar a mitigar la acumulación de incrustaciones, e incluso puede revertir las incrustaciones previamente acumuladas.

35 Como tal, el procedimiento incluye otra inversión del diferencial de tensión en un tercer momento después del segundo momento (etapa 1105). Este nuevo diferencial de tensión tiene la primera polaridad en el tercer momento.

40 Este procedimiento o ciclo de inversión de polaridad puede repetirse periódicamente. El operador del sistema puede determinar el período del ciclo, y el período elegido puede depender de factores tales como el tamaño de la celda electrolítica, el caudal de agua que pasa por los electrodos y el contenido (por ejemplo, contenido de impurezas) del agua, entre otras cosas. Por ejemplo, la polaridad puede invertirse una vez cada minuto, una vez cada hora, una vez al día, o periódicamente, periódicamente o incluso al azar en varios intervalos.

45 El diferencial de tensión aplicado produce un flujo de corriente a través del primer material de diamante. En modos de realización ilustrativos, este flujo de corriente a través del primer material de diamante tiene una densidad de corriente de al menos aproximadamente 1 amperio por centímetro cuadrado durante todo el intervalo entre el primer momento y el segundo momento. Por ejemplo, durante este tiempo, el flujo de corriente puede tener una densidad de corriente de aproximadamente 1,5 amperios por centímetro cuadrado, aproximadamente 2 amperios por centímetro cuadrado, 3 amperios por centímetro cuadrado, o grandes cantidades según lo determinen los expertos en la técnica.

50 A continuación, el procedimiento introduce ozono en la primera corriente en el primer electrodo en la etapa 1106. Finalmente, el procedimiento combina la primera corriente y la segunda corriente para producir una corriente combinada en la etapa 1107, después de introducir el ozono.

Algunos modos de realización también dirigen la corriente combinada a una cámara de retención (etapa 1108). Además, algunos modos de realización proporcionan agua adicional a la cámara de retención, en la que el agua adicional se purifica mediante el ozono (etapa 1109). El agua adicional puede proporcionarse antes, después o durante la llegada de la corriente combinada de agua cargada de ozono a la cámara de retención.

5 Los modos de realización de la invención descritos anteriormente pretenden ser meramente ejemplares; numerosas variaciones y modificaciones serán evidentes para los expertos en la técnica. Por ejemplo, pero sin limitación, algunos modos de realización describen un sistema con una celda electrolítica especificada, pero generalmente cualquier sistema de este tipo podría configurarse para usar cualquiera de las celdas descritas anteriormente.

10 Se pretende que dichas variaciones y modificaciones se encuentren dentro del alcance de la presente invención como se definen en las reivindicaciones adjuntas.

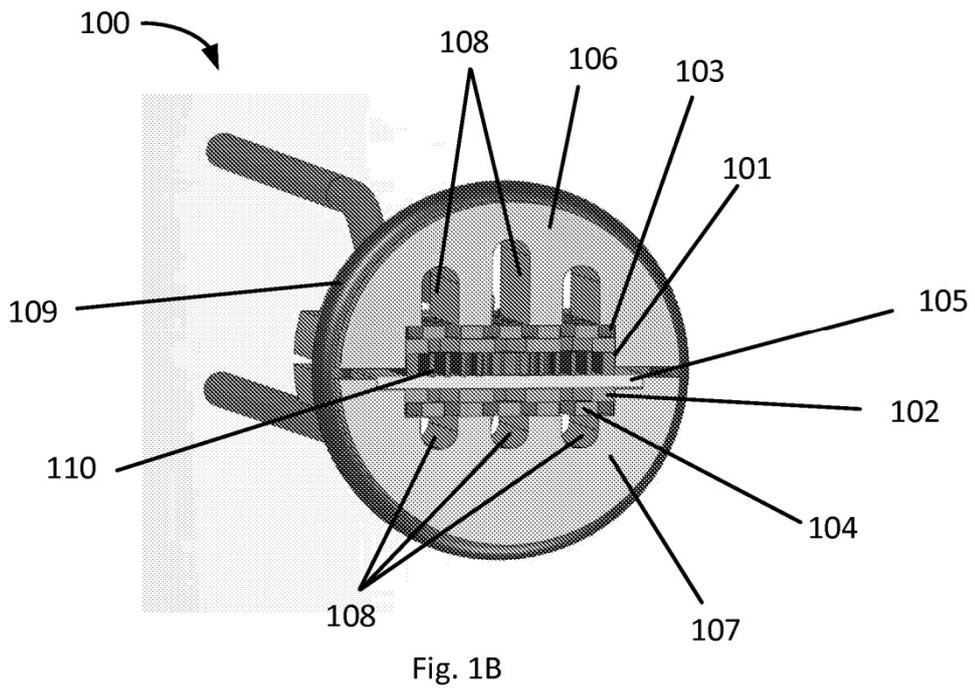
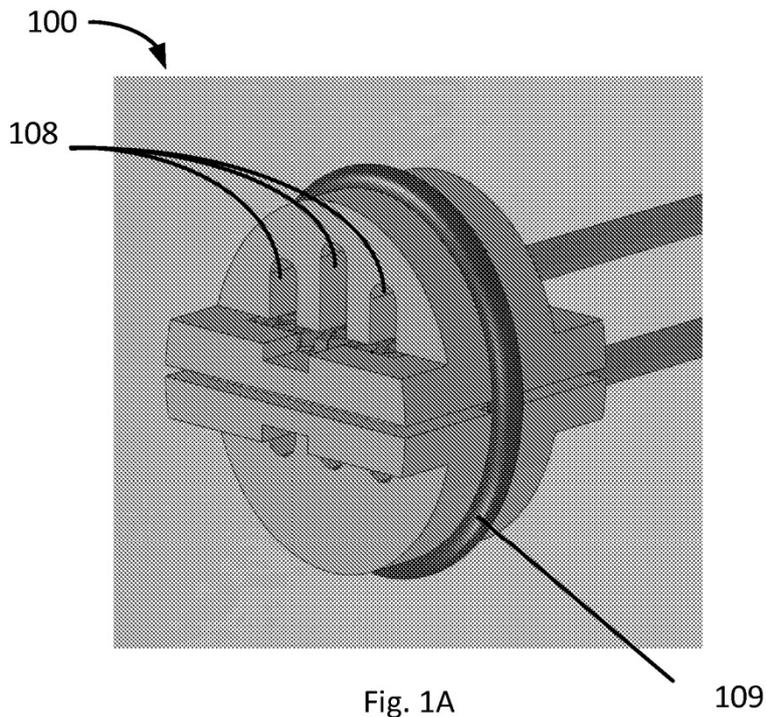
**REIVINDICACIONES**

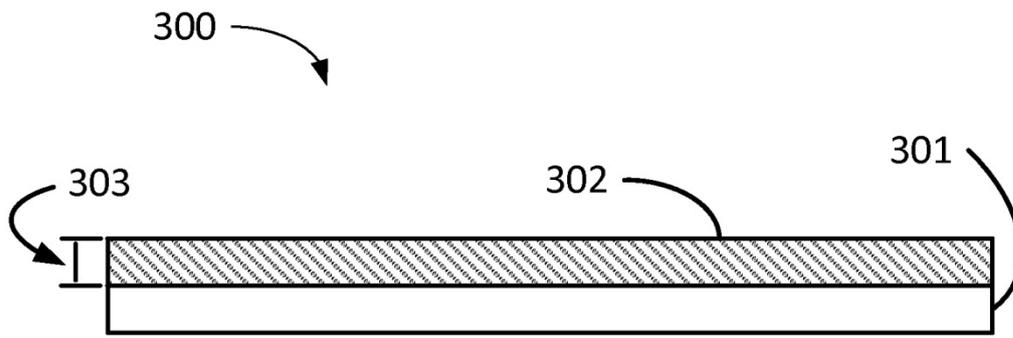
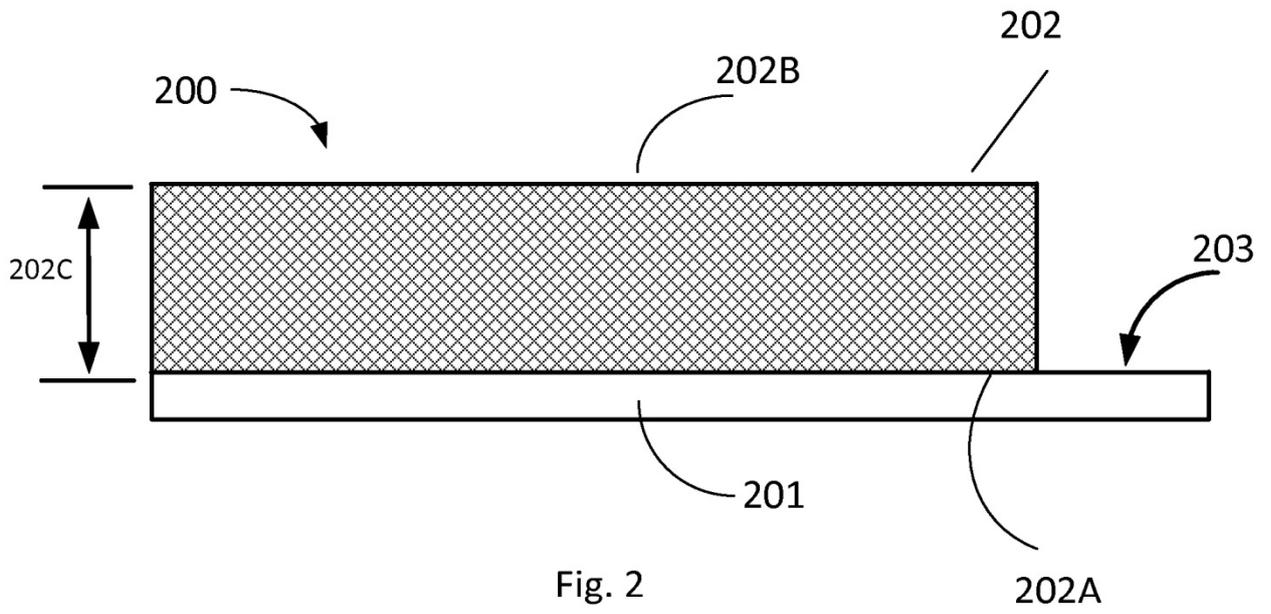
1. Una celda electrolítica para producir ozono, comprendiendo la celda:
  - un primer electrodo que incluye un material de diamante independiente;
  - un segundo electrodo separado del primer electrodo;
- 5 una membrana de intercambio de protones que separa el primer electrodo y el segundo electrodo, estando la membrana de intercambio de protones entre el primer electrodo y el segundo electrodo
  - una carcasa cilíndrica;
  - un primer miembro de marco semicircular; y
  - un segundo miembro de marco semicircular,
- 10 en el que el primer electrodo, el segundo electrodo y la membrana se intercalan entre el primer miembro de marco semicircular y el segundo miembro de marco semicircular; y el primer electrodo, el segundo electrodo y la membrana, el primer miembro de marco semicircular y el segundo miembro de marco semicircular están dentro de la carcasa cilíndrica.
- 15 2. La celda de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el segundo electrodo incluye un material de diamante independiente, y la celda se configura para invertir la polaridad entre el primer electrodo y el segundo electrodo.
3. La celda de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el primer electrodo y el segundo electrodo están en comunicación fluida para recibir agua de una fuente común.
4. La celda de acuerdo con la reivindicación 3, en la que la celda está configurada para dividir el flujo de agua de la fuente en un primer flujo de agua y un segundo flujo de agua, comprendiendo además la celda un primer canal para suministrar el primer flujo de agua al primer electrodo, comprendiendo también la celda un segundo canal para suministrar el segundo flujo de agua al segundo electrodo.
- 20 5. La celda de acuerdo con la reivindicación 4, en la que la celda se configura de manera que el primer flujo de agua y el segundo flujo de agua se unen después de al menos uno del primer flujo de agua y el segundo flujo de agua está provisto de ozono.
- 25 6. La celda de acuerdo con la reivindicación 5, en la que el flujo de agua unido se suministra a una cámara que contiene agua, por lo que el agua dentro de la cámara se purifica mediante el ozono.
7. La celda de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la celda se configura para instalarse dentro de una tubería.
8. La celda de acuerdo con la reivindicación 1, en la que al menos uno del primer miembro de marco semicircular y el segundo miembro de marco semicircular es extensible para producir una fuerza de compresión sobre el primer electrodo, el segundo electrodo y la membrana.
- 30 9. Una celda de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el primer electrodo comprende:
  - un material de diamante independiente, teniendo el material de diamante independiente un primer lado, un segundo lado opuesto al primer lado y un espesor de al menos aproximadamente 100 micrómetros; y
  - un distribuidor de corriente acoplado al primer lado del material de diamante independiente, teniendo el distribuidor de corriente un contacto eléctrico y una configuración de marco,
  - 35 en el que el electrodo se configura para conducir una densidad de corriente sostenida de al menos aproximadamente 1 amperio por centímetro cuadrado a través del material de diamante independiente durante varias horas sin degradar la capacidad de conducción eléctrica ni la capacidad de producción de ozono del electrodo.
- 40 10. Un procedimiento de funcionamiento de la celda electrolítica de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, incluyendo el procedimiento:
  - proporcionar una celda electrolítica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el segundo electrodo incluye un material de diamante independiente
  - proporcionar, en un primer momento, un diferencial de tensión a través del primer electrodo y el segundo electrodo, teniendo el diferencial de tensión una primera polaridad;
  - 45 invertir, en un segundo momento después del primer momento, la polaridad del diferencial de tensión a través del primer electrodo y el segundo electrodo, teniendo el diferencial de tensión de este modo una

segunda polaridad en el segundo momento;

invirtiendo, en un tercer momento después del segundo momento, la polaridad del diferencial de tensión a través del primer electrodo y el segundo electrodo, de manera que el diferencial de tensión tiene la primera polaridad en el tercer momento.

- 5 11. El procedimiento de funcionamiento de una celda electrolítica de acuerdo con la reivindicación 10, incluyendo además el procedimiento invertir periódicamente la polaridad del diferencial de tensión, de manera que el diferencial de tensión alterna periódicamente entre la primera polaridad y la segunda polaridad.
12. El procedimiento de funcionamiento de una celda electrolítica de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el diferencial de tensión produce un flujo de corriente a través del primer material de diamante, teniendo el flujo de corriente a través del primer material de diamante una densidad de corriente de al menos aproximadamente 1 amperio por centímetro cuadrado durante todo el intervalo entre el primer momento y el segundo momento.
- 10 13. El procedimiento de funcionamiento de una celda electrolítica de acuerdo con la reivindicación 10, incluyendo además el procedimiento:
- suministrar agua a la celda electrolítica, suministrándose toda el agua desde una sola fuente;
- 15 separar el agua en dos corrientes, una primera corriente que entra en contacto con el primer electrodo y la segunda corriente que entra en contacto con el segundo electrodo, la primera corriente y la segunda corriente separadas por la membrana;
- introducir ozono en la primera corriente en el primer electrodo; y
- 20 combinando la primera corriente y la segunda corriente para producir una corriente combinada, después de introducir el ozono.
14. El procedimiento de funcionamiento de una celda electrolítica de acuerdo con la reivindicación 13, incluyendo además el procedimiento dirigir la corriente combinada a una cámara de retención.
15. El procedimiento de funcionamiento de una celda electrolítica de acuerdo con la reivindicación 14, incluyendo además el procedimiento proporcionar agua adicional a la cámara de retención, por lo que el agua adicional se purifica mediante el ozono.
- 25





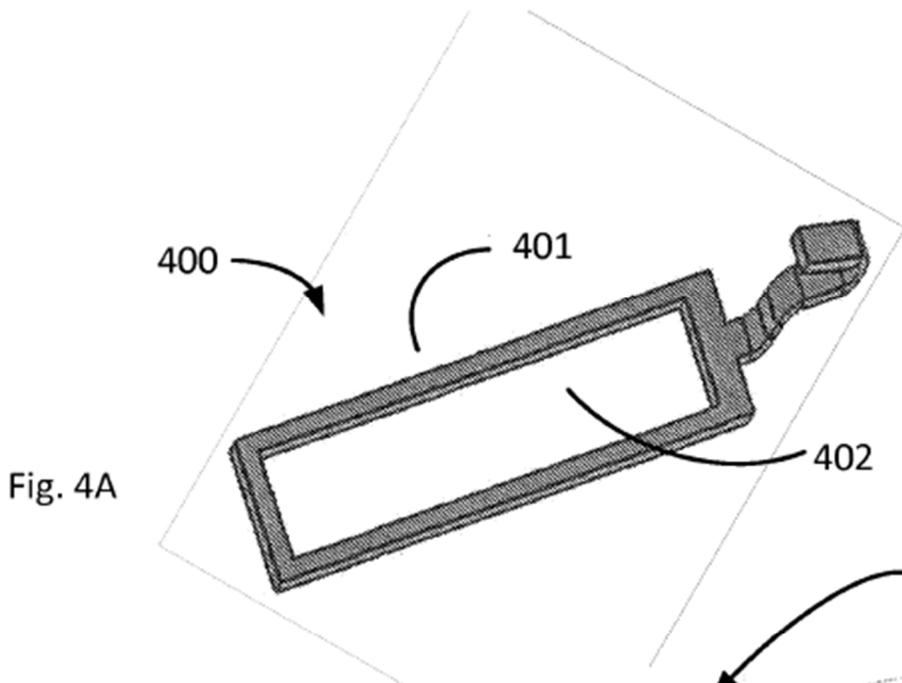


Fig. 4A

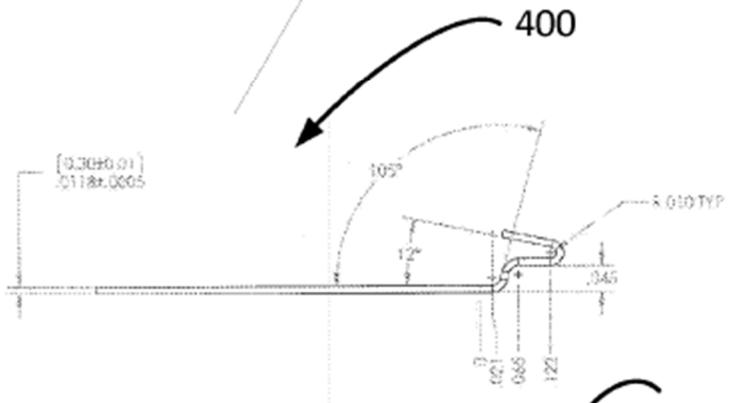


Fig. 4B

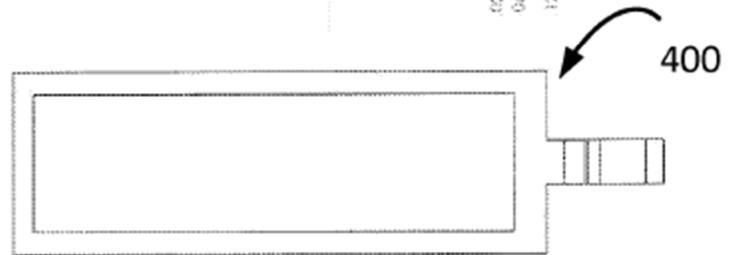


Fig. 4C

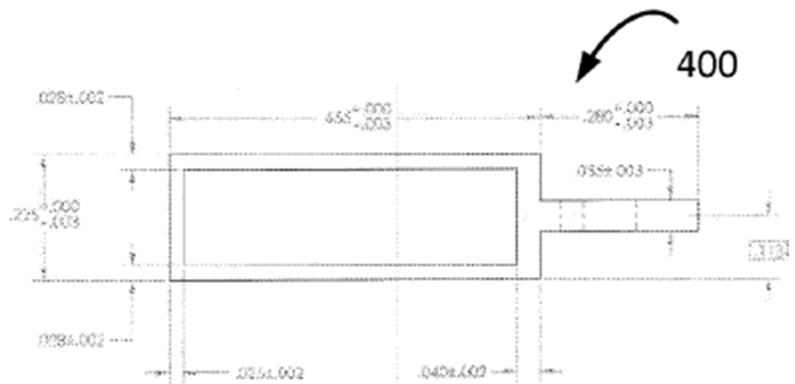


Fig. 4D

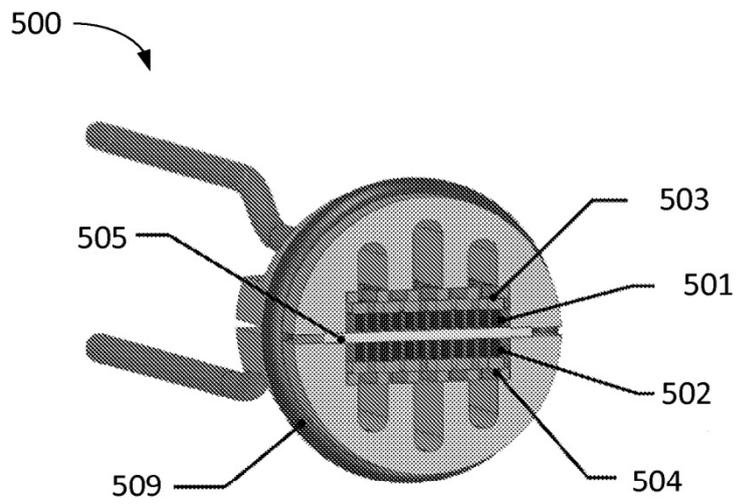


Fig. 5

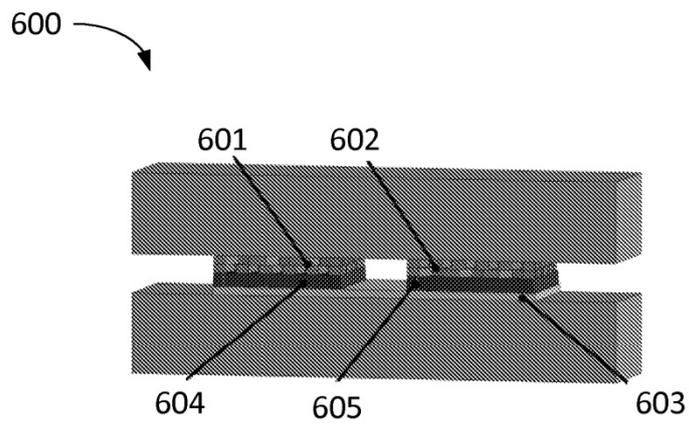
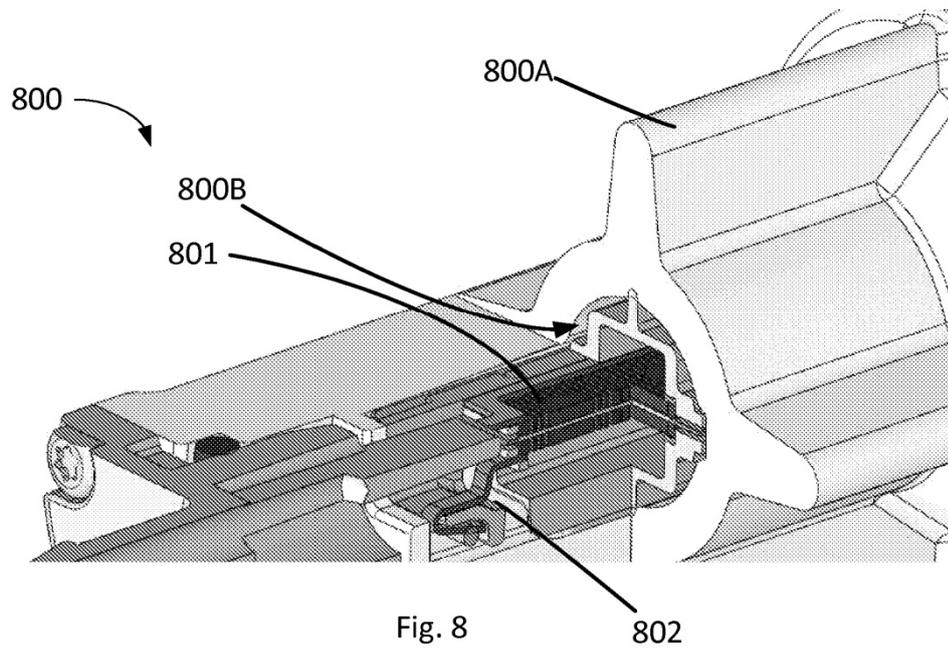
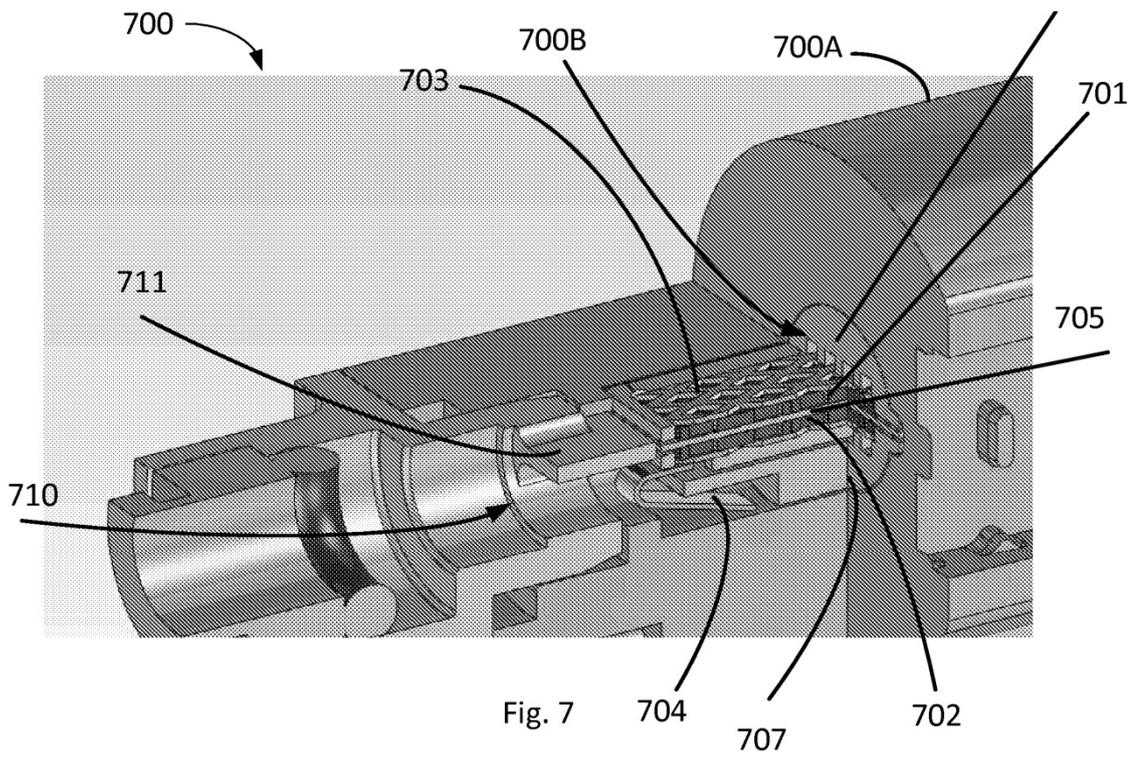
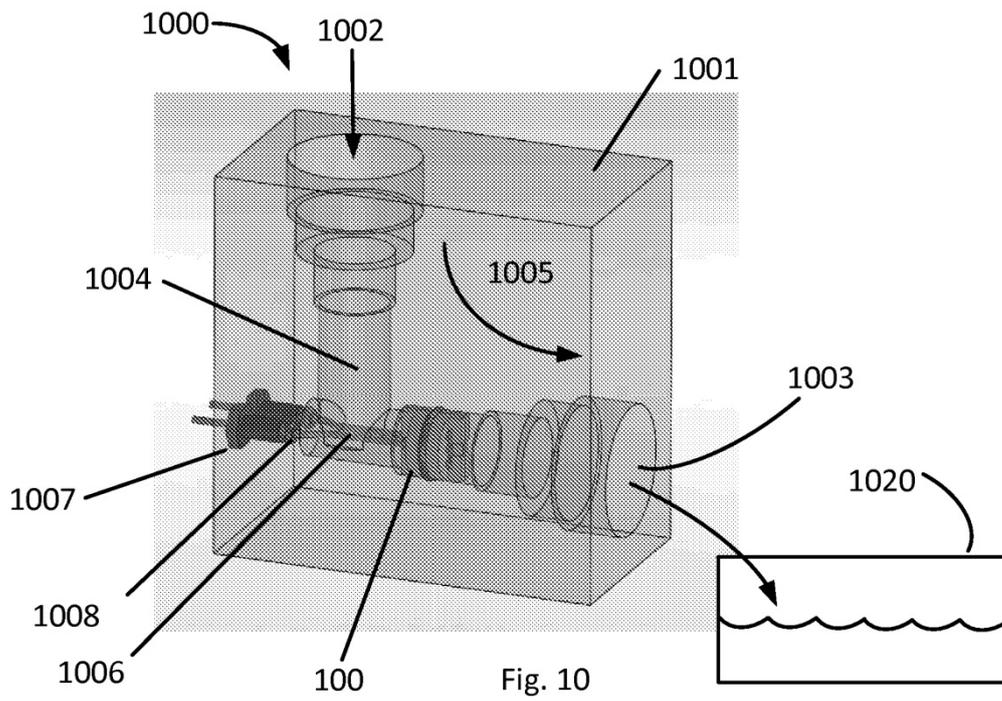
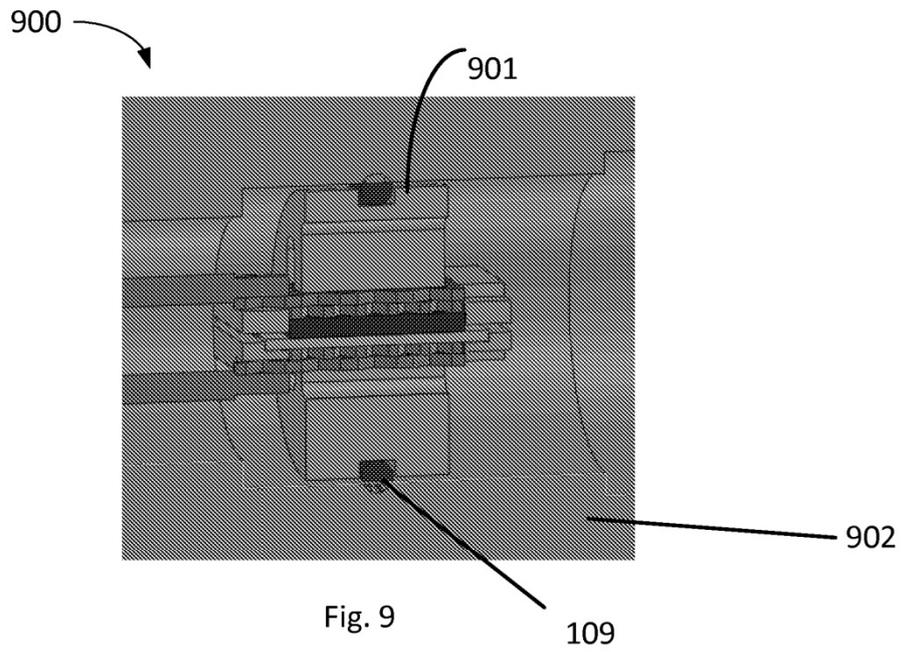


Fig. 6





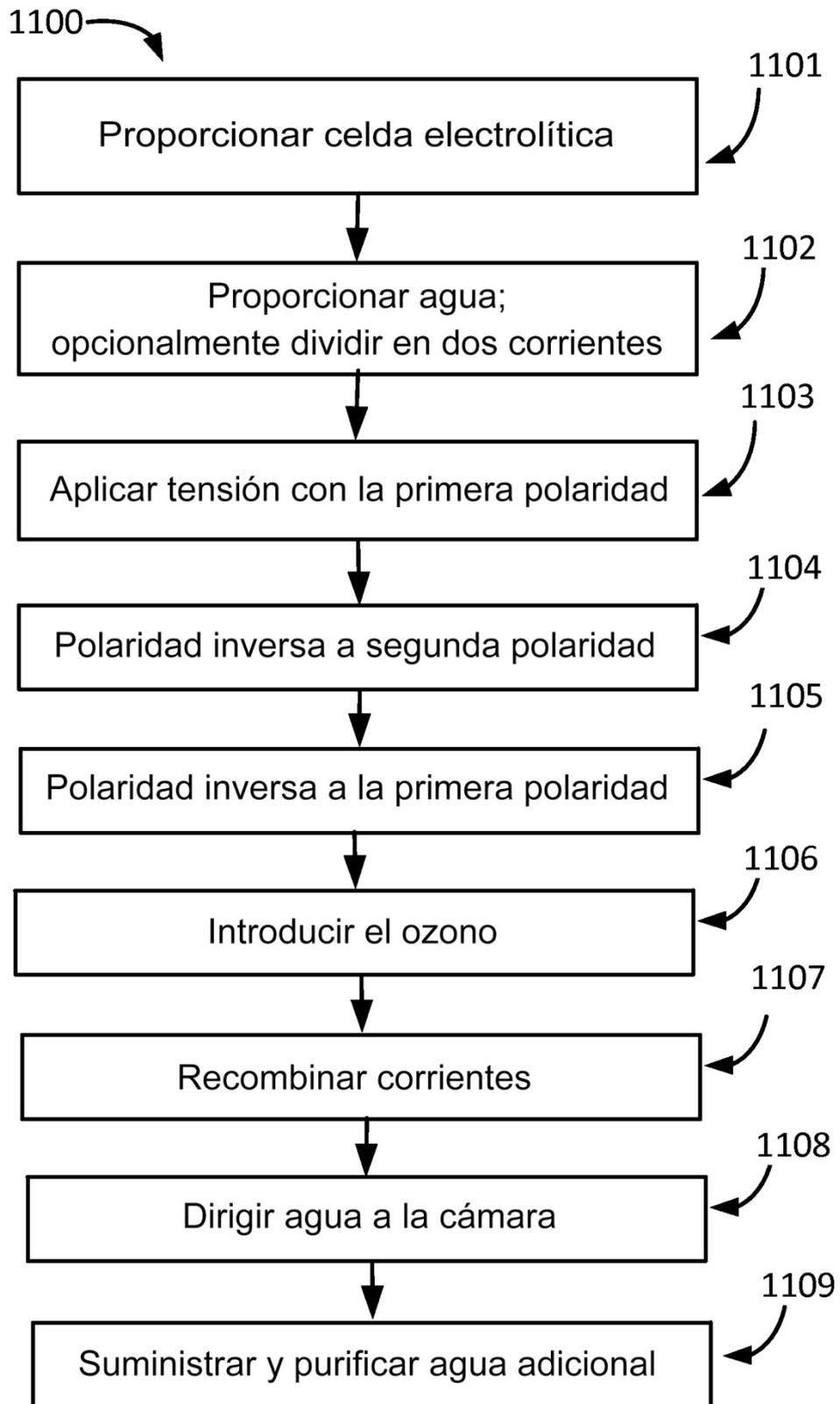


Fig. 11