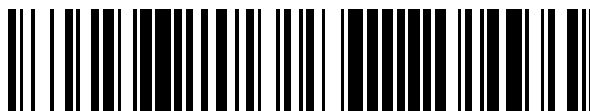


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 667 697**

51 Int. Cl.:

H01M 2/38 (2006.01)

H01M 12/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.10.2012** **PCT/US2012/062503**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.05.2013** **WO13066829**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.10.2012** **E 12845720 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.03.2018** **EP 2774205**

54 Título: **Celda convectiva térmica**

30 Prioridad:

04.11.2011 US 201161555982 P

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

14.05.2018

73 Titular/es:

FLUIDIC, INC. (100.0%)
8455 North 90th Street Suite 4
Scottsdale, AZ 85258, US

72 Inventor/es:

FRIESEN, CODY A.;
KRISHNAN, RAMKUMAR;
FRIESEN, GRANT y
HAYES, JOEL

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 667 697 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 convectiva térmica

La presente invención se refiere en general a celdas electroquímicas.

Más en particular, la presente invención está relacionada con celdas electroquímicas que utilizan un medio iónicamente conductor líquido.

Muchos tipos de celdas electroquímicas utilizan un medio iónicamente conductor líquido para soportar las reacciones electroquímicas dentro de la celda. Por ejemplo, un sistema de celda electroquímica metal-aire puede comprender una pluralidad de celdas, cada una que tiene un electrodo de combustible que sirve como un ánodo en el cual el combustible metálico es oxidado, y un electrodo de reducción de oxidante de respiración en el cual se reduce el oxígeno del aire ambiente. El medio iónicamente conductor líquido en dichas celdas puede comunicar los iones oxidados/reducidos entre los electrodos.

En algunos sistemas de celda electroquímica que utilizan un medio iónicamente conductor líquido, se proporciona una bomba de flujo para circular el medio y iónicamente conductor o bien dentro de una única celda o entre una pluralidad de celdas, de manera que permite el movimiento de las especies de combustible reducibles en los sitios de reducción anteriores del medio y iónicamente conductor en el electrodo de combustible, de manera que las especies de combustible reducibles pueden revestirse como posible metálico en el electrodo de combustible durante la carga. Son también posibles otros beneficios del movimiento del medio y iónicamente combustible, incluyendo pero no limitados a, el movimiento de las especies oxidadas durante la descarga en contra del ánodo, mejorando la cinética de descarga; la retirada del gas de oxígeno durante la carga de las denominadas celdas de metal-aire de tres electrodos; y la prevención de la estratificación del medio iónicamente conductor. En algunos sistemas de celda electroquímica, utilizar dichas bombas de flujo aumenta enormemente la complejidad y el tamaño del sistema. Por ejemplo, el uso de una bomba de flujo puede necesitar o de otro modo hacer deseable unir de forma fluida múltiples celdas en un trayecto de flujo común. Por consiguiente, en algunos de dichos sistemas de celda, utilizar una bomba de flujo añade un tamaño y gasto aumentados de no sólo la propia bomba de flujo, pero también requiere andamios, tuberías, y un depósito, de manera que conectan celdas múltiples en el flujo del medio iónicamente conductor. En algunos sistemas de celdas, se proporcionan desconexiones rápidas para facilitar una desconexión y reconexión rápida de celdas individuales o conjuntos de celdas del sistema de celdas, tal como para reparar o reemplazar, con lo que se utilizan desconexiones rápidas para formar juntas suficientemente fuertes para evitar la pérdida del medio iónicamente conductor a través de los puntos de conexión. Adicionalmente, debido a que la compartición del medio iónicamente conductor entre múltiples celdas puede resultar en una corriente de derivación a través del medio iónicamente conductor, algunos sistemas de celdas, tal como los descritos en la solicitud de patente estadounidense con No. De serie 13/362,775, pueden incluir regaderas de dispersión de flujo que separan físicamente el medio iónicamente conductor en el flujo entre las celdas, para evitar la conductividad eléctrica a través del medio iónicamente conductor desde una celda a otra.

Un enfoque para facilitar un flujo de medio iónicamente conductor en una celda es a través de un burbujeado de un gas a través de la celda, de manera que se crea una acción de elevación mediante un gas ascendente en el medio iónicamente conductor líquido. Un ejemplo de dicho enfoque es divulgado en la patente estadounidense 5,011,747. El documento WO-A-93/21664 describe un método y un aparato para almacenar y producir energía eléctrica en una celda electroquímica, donde el cátodo es un electrodo de aire poroso y el ánodo es un hidruro metálico que contiene hidrógeno. Se permite que se forme una sobrepresión dentro del electrodo de aire poroso durante la carga, la presión evita la formación de burbujas de hidrógeno en el electrodo de hidruro metálico. La sobrepresión permanece en el nivel deseado debido a que los poros del electrodo de aire se hacen tan pequeños que la tensión superficial de la solución electrolítica que penetra en los poros sella el electrodo de aire poroso.

Por razones tales como, pero no limitadas a, hacer redundante u obviar la inclusión de las características dependientes en el sistema de celda electroquímica descrito anteriormente, se puede apreciar que los sistemas de celdas que utilizan una configuración de celda autocontenida pueden ser más pequeñas, más ligeras, tener menos puntos de fallo y ser menos caras que las configuraciones previas. Entre otras mejoras, la presente solicitud intenta proporcionar dicha celda electroquímica efectiva y mejorada que facilita además el establecimiento de un flujo mejorado de un medio iónicamente conductor que utiliza la acción de elevación de un gas ascendente.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona una celda electroquímica que comprende un electrodo de combustible permeable configurado para soportar un combustible metálico en la misma; un electrodo de reducción de oxidante separado del electrodo de combustible; un medio iónicamente conductor líquido para conducir iones entre los electrodos de combustible y de reducción de oxidante para soportar reacciones electroquímicas en los electrodos de combustible y de reducción de oxidante; un electrodo de carga seleccionado del grupo que consiste en (a) el electrodo de reducción de oxidante, (b) un electrodo de carga separado alejado del electrodo de combustible permeable y el electrodo de reducción de oxidante, y (c) una porción del electrodo de combustible permeable; un generador de flujo de burbujas de gas seleccionado del grupo que consiste en (a) el electrodo de carga, y (b) un rociador separado del electrodo de carga, estando configurado el regenerador de flujo de burbujas de gas para desprender burbujas de oxígeno gaseoso que genera un flujo de medio iónicamente

conductor líquido durante una operación de carga; y una o más superficies de desviación de flujo configuradas para establecer, cuando la celda electroquímica está situada de tal manera que el electrodo de reducción de oxidante está en una orientación vertical, un trayecto de circulación de circuito cerrado dentro de la celda electroquímica que dirige el flujo del medio iónicamente conductor líquido al menos parcialmente a través del electrodo de combustible permeable; en donde el electrodo de combustible y el electrodo de reducción de oxidante están configurados para, durante la descarga, oxidar el combustible metálico en el electrodo de combustible y reducir un oxidante en el electrodo de reducción de oxidante para generar una diferencia de potencial de descarga entre ellos para la aplicación a una carga y generar un subproducto de metal oxidado precipitado o solvatado en el medio iónicamente conductor líquido; y en donde el electrodo de combustible y el electrodo de carga están configurados para, durante la recarga, reducir una especie deducible del combustible metálico para electrodepositar el combustible metálico en el electrodo de combustible y oxidar una especie oxidable del oxidante mediante la aplicación de una diferencia de potencial de recarga entre los mismos desde una fuente de alimentación.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método para hacer fluir un medio iónicamente conductor líquido en una celda electroquímica, la celda electroquímica que comprende un electrodo de combustible permeable configurado para soportar un combustible metálico sobre el mismo, un electrodo de reducción de oxidante separado del electrodo de combustible, y un electrodo de carga seleccionado del grupo que consiste en (a) el electrodo de reducción de oxidante, (b) un electrodo de carga separado distanciado de los electrodos de combustible y de reducción de oxidante, y (c) una porción del electrodo de combustible permeable, el electrodo de combustible, el electrodo de reducción de oxidante, y el electrodo de carga cada uno haciendo contacto con el medio iónicamente conductor líquido de manera que el medio iónicamente conductor líquido puede conducir iones entre los mismos, el método que comprende emitir burbujas gaseosas en el medio iónicamente conductor líquido que arrastran al medio iónicamente conductor líquido hacia arriba debido a su flotación para generar un flujo cargando la celda electroquímica de manera que el electrodo de carga desprende burbujas de oxígeno gaseoso, en donde el electrodo de combustible y el electrodo de carga están configurados para reducir una especie reducible del combustible metálico del medio iónicamente conductor para electrodepositar el combustible metálico sobre el electrodo de combustible y oxidar una especie oxidable del oxidante mediante la aplicación de una diferencia de potencial de recarga entre los mismos desde una fuente de alimentación; y oxidar el combustible metálico en el electrodo de combustible y reducir un oxidante en el electrodo de reducción de oxidante descargando la celda electroquímica para generar una diferencia de potencial de descarga entre los mismos para la aplicación de una carga y para generar un subproducto de metal oxidado precipitado o solvatado en el medio iónicamente conductor líquido útil, en donde, cuando se sitúa la celda electroquímica de manera que el electrodo de reducción de oxidante está en una orientación vertical, una o más superficies de desviación en la celda electroquímica establecen un trayecto de circulación de circuito cerrado dentro de la celda electroquímica que dirige el flujo del medio iónicamente conductor líquido al menos parcialmente a través del electrodo de combustible permeable.

Otros aspectos de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada, los dibujos que acompañan, y las reivindicaciones anexas.

Modos de realización de la invención se describirán ahora, a modo de ejemplo únicamente, con referencia a los dibujos esquemáticos que acompañan en los cuales símbolos de referencia correspondientes indican partes correspondientes, y en los cuales:

La figura 1 representa una vista esquemática de una celda electroquímica que tiene un electrodo de reducción de oxidante sumergido;

La figura 2 representa una vista esquemática de una celda electroquímica que tiene un electrodo de reducción de oxidante que define una pared límite para la celda electroquímica;

La figura 3 representa una vista esquemática de una celda electroquímica de la configuración de la figura 1, configurada para el flujo convectivo del medio iónicamente conductor en la misma, de acuerdo con un modo de realización;

La figura 4 representa una vista en perspectiva del electrodo de reducción de oxidante sumergido, representando el flujo del medio iónicamente conductor alrededor de canales de aire del mismo;

La figura 5 representa una vista esquemática de una celda electroquímica de la configuración de la figura 1, configurada para un flujo convectivo del medio iónicamente conductor en la misma, de acuerdo con otro modo de realización;

La figura 6 representa una vista esquemática de una celda electroquímica de la configuración de la figura 1, configurada para un flujo convectivo del medio iónicamente conductor en la misma, de acuerdo con otro modo de realización;

La figura 7 representa una vista esquemática de una celda electroquímica de la configuración de la figura 1, configurada para un flujo convectivo del medio iónicamente conductor en la misma, de acuerdo con otro modo de realización;

La figura 8 representa una vista esquemática de una bi-celda que tiene la configuración de la figura 1, en donde dos celdas son sumergidas en una carcasa común;

La figura 9 representa una vista esquemática de una serie de celdas acopladas mediante un flujo convectivo común;

5 La figura 10 representa una vista esquemática de una celda electroquímica de la configuración de la figura 2, configurada para un flujo convectivo de un medio iónicamente conductor en la misma, de acuerdo con un modo de realización;

La figura 11 representa un diagrama que ilustra la velocidad relativa entre burbujas de oxígeno gaseoso y el medio iónicamente conductor con respecto al diámetro de las burbujas, de acuerdo con algunos modos de realización;

10 La figura 12 representa de forma esquemática perfiles de velocidad generados por la emisión de burbujas mediante un electrodo de carga de un modo de realización de la celda electroquímica;

Las figuras 13A-13B representan un modelo de línea de base de una celda electroquímica similar a la representada en la figura 3;

La figura 14 representa un diagrama que ilustra cómo la separación de las paredes de límite afecta al caudal volumétrico en varias ubicaciones en comparación al modelo de línea de base de las figuras 13A-13B; y

15 Las figuras 15A-15B representan diagramas que ilustran cómo el acenso de una burbuja de oxígeno que se desprende del electrodo de carga con respecto a un electrodo de combustible y/o un electrodo de reducción de oxidante de las celdas electroquímica afecta al caudal volumétrico y a la uniformidad del flujo.

20 La figura 1 ilustra una vista en sección transversal esquemática de una celda 100 electroquímica. Tal y como se muestra, los componentes de la celda 100 electroquímica pueden estar contenidos al menos parcialmente en una carcasa 110 asociada. La celda 100 utiliza un medio iónicamente conductor líquido que está contenido dentro de la carcasa 110 y está configurado para circular en la misma para conducir iones dentro de la celda 100. Mientras que a veces el medio iónicamente conductor puede estar generalmente estacionario dentro de la carcasa 110, tal como en una zona estancada u otra cantidad de medio iónicamente conductor, se puede apreciar que la celda 100 puede estar configurada para crear un flujo convectivo del medio iónicamente conductor. El mecanismo para crear el flujo del medio iónicamente conductor en la celda 100 es una característica de la presente divulgación, y se describe con mayor detalle más abajo.

30 Varias porciones de la celda 100 electroquímica pueden ser de cualquier estructura o composición adecuada, incluyendo pero no limitada, estar formadas de plástico, metal, resina, o combinaciones de los mismos. Por consiguiente, la celda 100 puede estar montada de cualquier manera, incluyendo estar formada a partir de una pluralidad de elementos, que son aliados de forma integral, etcétera. En varios modos de realización, la celda 100 y/o la carcasa 110 pueden incluir elementos o disposiciones de una o más de las solicitudes de patente estadounidenses con números de serie 12/385,217, 12/385,489, 12/549,617, 12/631,484, 12/776,962, 12/885,268, 13/028,496, 13/083,929, 13/167,930, 13/185,658, 13/230,549, 13/299,167, 61/515,749, 61/555,952, y 61/556,011.

35 Aunque las figuras posteriores ilustran el flujo convectivo de la celda 100, la figura 1 representa de forma esquemática varios componentes y características diferentes de un modo de realización de la misma. Por consiguiente, definida dentro de la carcasa 110 de la celda 100 hay una cámara 120 de celda que está configurada para albergar el medio iónicamente conductor, y puede definir un flujo en el mismo. Un electrodo 130 de combustible de la celda 100 puede estar soportado en la cámara 120 de celda de manera que es contactado por el medio iónicamente conductor. En un modo de realización, el electrodo 130 de combustible es un electrodo de combustible metálico que funciona como un ánodo cuando la celda 100 funciona en descarga, o un modo de generación de electricidad, tal y como se discute con mayor detalle más abajo. Tal y como se muestra, en algunos modos de realización el electrodo 130 de combustible puede comprender una pluralidad de cuerpos 130a-130e de electrodo permeables. Aunque en el modo de realización ilustrado se han utilizado cinco cuerpos 130a-130e de electrodo permeables, en otros modos de realización es posible cualquier número. Cada cuerpo 130a-130e de electrodo permeable puede incluir una pantalla que está hecha de cualquier formación que sea capaz de capturar y retener, a través de electrodeposición, o de otro modo, partículas o iones de combustible metálico desde el medio iónicamente conductor que fluye a través o de otro modo está presente dentro de la cámara 120 de celda. En un modo de realización, el cuerpo 130a de electrodo puede ser un cuerpo de electrodo terminal, configurado de tal manera que cuando se carga, el combustible de metal puede crecer generalmente en los cuerpos 130a-e de electrodo en una dirección definida desde el cuerpo 130a de electrodo hacia el cuerpo 130e de electrodo. Aunque en el modo de realización ilustrado, los cuerpos 130a-130e de electrodo permeables tienen diferentes tamaños de manera que se utiliza una configuración de andamio escalonada, tal y como se describe mediante la solicitud de patente estadounidense con No. De serie 13/167,930, en otros modos de realización, los cuerpos 130a-130b de electrodo permeables pueden tener sustancialmente el mismo tamaño.

55 En algunos modos de realización, una pluralidad de espaciadores puede separar los cuerpos 130a-130e de electrodo permeables de manera que crean líneas de flujo en el electrodo 130 de combustible. Aunque en algunos modos de realización la pluralidad de espaciadores puede conectarse a la carcasa 110 de manera que el electrodo

130 de combustible pueda ser sujeto en su lugar con respecto a la carcasa 110, en otros modos de realización, los espaciadores pueden ser moldeados entre los cuerpos 130a-130e de electrodo permeables, y potencialmente entre el electrodo 130 de combustible y el electrodo 140 de carga, de manera que los cuerpos 130a-e de electrodos permeables (y potencialmente el electrodo 140) de carga son parte de un módulo de electrodo combinado. Dicha configuración es representada en la solicitud de patente estadounidense con No. de serie 12/901,410 publicada como la publicación de solicitud de patente estadounidense No. 2011/0086278. En varios modos de realización, los espaciadores pueden ser no conductores y electroquímicamente inertes de manera que son inactivos con respecto a las reacciones electroquímicas en la celda 100. En algunos modos de realización, los espaciadores pueden estar hechos de un material plástico adecuado, tal como polipropileno, polietileno, poliéster, noryl, ABS, fluoropolímero, epoxi, etcétera. Las líneas de flujo en el electrodo 130 de combustible pueden ser tridimensionales, y tener una altura que es sustancialmente igual a la altura de los espaciadores. Aunque en general los espaciadores podrían estar orientados verticalmente para crear líneas de flujo que son paralelas al electrodo de carga generando las burbujas, en otros modos de realización, tal como pero no limitados a, donde la parte superior del electrodo 130 de combustible está bloqueada, tal y como se describe más abajo, los espaciadores pueden estar orientados de manera que crean líneas de flujo orientadas a través de los cuerpos 130a-e de electrodo permeables. Debería apreciarse, sin embargo, que los espaciadores y/o las líneas de flujo son opcionales, y pueden ser omitidas en algunos modos de realización.

En algunos modos de realización de la celda 100, tal como los ilustrados, un electrodo 140 de carga puede estar situado separado del electrodo 130 de combustible, distal al cuerpo 130a de electrodo terminal (es decir, proximal al cuerpo 130e de electrodo). En algunos modos de realización, el electrodo 140 de carga puede ser una porción del electrodo 130 de combustible (incluyendo, por ejemplo, ser uno o más de los cuerpos 130b-130e de electrodo permeables). Como con el electrodo 130 de combustible, el electrodo 140 de carga puede estar situado dentro de la cámara 120 de celdas, de manera que está en contacto con el medio iónicamente conductor. En el modo de realización ilustrado, el electrodo 140 de carga tiene una configuración escalonada similar a los cuerpos 130a-e de electrodo permeables. En otros modos de realización, sin embargo, el electrodo 140 de carga puede extenderse al menos tan lejos como el más largo de los cuerpos 130a-e de electrodo permeables, cuando esos cuerpos 130a-e de electrodo están en una configuración de andamio escalonada, o de otro modo varían en tamaño. Tal y como se describe con mayor detalle más abajo, el electrodo 140 de carga puede estar configurado para participar en la oxidación de una especie oxidante oxidable, la cual está presente en el medio iónicamente conductor líquido, de manera que fomenta la reducción de una especie de combustible metálico oxidado y el crecimiento del combustible metálico en el electrodo 130 de combustible durante la carga de la celda 100. Por consiguiente, en algunos modos de realización, el electrodo 140 de carga puede estar caracterizado como un electrodo que desprende oxígeno, debido al burbujeo del gas de oxígeno desde el electrodo 140 de carga durante la carga de la celda 100 electroquímica, tal y como se describe con mayor detalle más abajo.

Mostrado adicionalmente en la figura 1 hay un electrodo 150 de reducción de oxidante, que está separado del electrodo 130 de combustible y del electrodo 140 de carga, distal del cuerpo 130a de electrodo terminal. Tal y como se muestra, el electrodo 150 de reducción de oxidante puede estar sellado o de otro modo montado en un módulo 160 de electrodo de reducción de oxidante que está sumergido en el medio iónicamente conductor en la cámara 120 de celda. Al menos un canal 165 de aire se extiende en el módulo 160 de electrodo de reducción de oxidante, de manera que proporciona aire u otro oxidante a un espacio 170 de aire que es formado entre la carcasa del módulo 160 de electrodo de reducción de oxidante y el electrodo 150 de reducción de oxidante. Se puede apreciar que el aire u otro oxidante en el espacio 170 de aire suministra un oxidante al electrodo 150 de reducción de oxidante. Detalles adicionales de dicha configuración son descritos en la solicitud de patente provisional estadounidense 61/555,952, titulada "Cátodo oxidante gaseoso sumergible para un sistema de celda electroquímica" presentada el 4 de noviembre de 2011. Tal y como se muestra, en los modos de realización que contienen el electrodo 140 de carga separado, el electrodo 140 de carga puede estar situado entre el electrodo 150 de reducción de oxidante y el electrodo 130 de combustible. En modos de realización de la celda 100 que no disponen del electrodo 140 de carga separado, el electrodo 150 de reducción de oxidante puede ser utilizado tanto durante la carga como la descarga de la celda 100 (es decir, como un ánodo durante la carga y como un cátodo durante la descarga).

Los componentes de la celda 100, incluyendo por ejemplo, el electrodo 130 de combustible, los cuerpos 130a-e de electrodo permeables de la misma, el electrodo 140 de carga separado, y el electrodo 150 de reducción de oxidante pueden ser de cualquier construcción o configuración adecuadas, incluyendo, por ejemplo, estando contruidos a partir de una o más de níquel, aleaciones de níquel (incluyendo níquel y cobalto, níquel y hierro, níquel y cobre (es decir, Monel), o superaleaciones), cobre o aleaciones de cobre, latón, bronce, carbono, platino, plata, plata-paladio, o cualquier metal o aleación adecuados. En algunos modos de realización, uno o más componentes de la celda 100, tal como el electrodo 130 de combustible, el electrodo 140 de carga separado, y el electrodo 150 de reducción de oxidante, pueden comprender un material altamente conductor que está recubierto con un material más resistente a la degradación. Por ejemplo, en algunos modos de realización, el uno o más componentes de la celda puede comprender cobre que está recubierto de níquel. Tal y como se señaló anteriormente, en algunos modos de realización el electrodo 130 de combustible puede estar formado a partir de pantallas metálicas permeables (es decir, los cuerpos 130a-e de electrodo permeables), que pueden estar configuradas para capturar, retener, y proporcionar una plataforma de crecimiento para el combustible metálico. Del mismo modo, en algunos modos de realización el electrodo 140 de carga separado puede ser de una configuración similar a la de los cuerpos 130a-e de

electrodo permeables. En otros modos de realización, el electrodo 140 de carga puede tener otra configuración, que puede estar configurado para crear una diferencia de potencial con el electrodo 130 de combustible de manera que fomenta el crecimiento de combustible en el electrodo de combustible durante la carga de la celda 100 electroquímica. Tal y como se expone con más detalle más abajo, el electrodo 140 de carga puede estar configurado para desprender burbujas de oxígeno gaseoso durante el proceso de carga, las cuales ascienden hacia arriba en la celda 100 debido a su flotación en el medio iónicamente conductor, lo cual puede conducir al flujo convectivo del medio iónicamente conductor.

Como el electrodo 130 de combustible y el electrodo 140 de carga, el electrodo 150 de reducción de oxidante puede también ser de una construcción o configuración apropiadas. Por ejemplo, el electrodo 150 de reducción de oxidante puede en general estar configurado para proporcionar una reducción de oxígeno en la celda 100 electroquímica, para crear una diferencia de potencial con el electrodo 130 de combustible durante la descarga de la celda 100. En un modo de realización, el electrodo 150 de reducción de oxidante puede contener una capa activa que tiene mallas o recubrimientos que pueden estar caracterizados como "material(es) activo", para facilitar las relaciones electroquímicas. Por consiguiente, en un modo de realización, el electrodo 150 de reducción de oxidante está situado en la carcasa 110 de celda de tal manera que los materiales activos contactan con el medio iónicamente conductor de manera que los iones pueden ser conducidos a través del mismo, hasta y/o desde el electrodo 130 de combustible. En algunos modos de realización, los materiales activos pueden formarse mediante una mezcla de partículas o materiales catalizadores, una matriz conductora y materiales hidrofóbicos, sinterizados para formar un material compuesto o de otro modo en capas juntas. En varios modos de realización, los materiales activos pueden estar contruidos de uno o más metales, tales como pero no limitados a, los enumerados anteriormente. En algunos modos de realización, los materiales activos pueden incluir una película de catalizador, la cual en varios modos de realización puede estar formada por técnicas que incluyen pero no están limitadas a, pulverización térmica, pulverización por plasma, electrodeposición, o cualquier otro método de recubrimiento de partículas.

Puede haber un colector de corriente conectado eléctricamente a los materiales activos, que puede estar configurado para recibir electrones desde una carga para el consumo por la reacción de reducción de oxidante cuando la celda 100 está en un modo de descarga. Del mismo modo, el colector de corriente puede estar configurado para recoger electrones de la reacción de oxidación en los materiales activos (es decir, si el electrodo 150 de reducción de oxidante sirve como el electrodo de carga) para entregar a la fuente de alimentación PS, para participar en las relaciones electroquímicas en los materiales activos, cuando la celda 100 está en un modo de carga. El colector de corriente puede ser de cualquier construcción o configuración apropiadas, incluyendo pero no limitados a, ser una pantalla metálica, que puede tener huecos en la misma. En varios modos de realización, el colector de corriente puede estar contruido en metales o aleaciones tales como pero no limitados a, las descritas anteriormente para la capa activa.

Adicionalmente, incluido en el electrodo 150 de reducción de oxidante puede haber uno o más materiales hidrofóbicos, que pueden ser cualquier material que sea en general permeable a gases pero impermeable a líquidos, de manera que contiene el medio iónicamente conductor dentro de la carcasa 110 de celda, o de otro modo mantiene un espacio de aire asociado con el electrodo 150 de reducción de oxidante (es decir, en el módulo 160 de electrodo de reducción de oxidante). Aunque la hidrofobia puede ser en algunos contextos entendida como "la fobia al agua", debería apreciarse que tal y como se utiliza en el presente documento, la hidrofobia implica que resiste la permeación o repele el medio iónicamente conductor en su conjunto, y no necesariamente sólo el agua en el medio iónicamente conductor. Como tal, los materiales hidrofóbicos también son considerados materiales higrofóbico o con "fobia a los líquidos". El electrodo 150 de reducción de oxidante es un conjunto puede por lo tanto ser un líquido impermeable, pero permeable a un oxidante gaseoso, de manera que el oxidante gaseoso puede hacer contacto con los materiales activos del electrodo 150 de reducción de oxidante, para servir como oxidante durante las reacciones electroquímicas que tienen lugar durante la descarga de la celda 100. En varios modos de realización, los materiales hidrofóbicos pueden tener cualquier construcción o configuración adecuadas para facilitar el soporte de los materiales activos sobre los mismos, ser generalmente permeables al oxidante gaseoso y ser generalmente impermeables al medio iónicamente conductor.

En algunos modos de realización, el material o materiales hidrofóbicos sirven como un material de respaldo para los materiales activos y/o para el colector de corriente. Aunque los materiales hidrofóbicos pueden variar a través de modos de realización, en algunos modos de realización los materiales hidrofóbicos pueden estar contruidos o de otro modo incluir un fluoropolímero. Como un ejemplo, en varios modos de realización, los materiales hidrofóbicos pueden comprender politetrafluoroetileno (también conocido como PTFE o Teflón®), que pueden ser en algunos modos de realización expandidos termomecánicamente (también conocidos como eRTFE, o Gore-Tex®). En otros modos de realización, los materiales hidrofóbicos pueden comprender etileno-propileno fluorado (también conocido como FEP), o cualquier otro fluoropolímero. En algunos modos de realización, los materiales hidrofóbicos pueden tener un tamaño de poro fino, tal como pero no limitado a, uno del orden de menos de 1 micrómetro, o en ejemplos más particulares, puede ser del orden de aproximadamente de 50 a 200 nanómetros. Se puede apreciar que en algunos modos de realización los materiales hidrofóbicos pueden tener tensiones de tracción limitadas a través del espesor del electrodo 150 de reducción de oxidante. Por consiguiente, en algunos modos de realización los materiales hidrofóbicos se pueden reforzar mediante una capa de refuerzo oxidante/permeable, tal como la divulgada en la solicitud de patente provisional estadounidense 61/556,011, titulada "Refuerzo de capa de PTFE externa para electrodo oxidante", presentada el 4 de noviembre de 2011.

El combustible utilizado en la celda 100 puede ser un metal, tal como hierro, zinc, aluminio, magnesio, o litio. Por metal, este término se refiere a englobar todos los elementos considerados como metales en la tabla periódica, incluyendo pero no limitados a, metales alcalinos, metales alcalinotérreos, lantánidos, actínidos y metales de transición ya sea en forma atómica o de aleación cuando son recogidos en el cuerpo de electrodo. El combustible puede estar proporcionado a la celda 100 como partículas suspendidas en el medio iónicamente conductor.

El medio iónicamente conductor puede ser una solución acuosa. Ejemplos de medios adecuados incluyen soluciones acuosas que comprenden ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido triflórico, ácido nítrico, hidróxido de potasio, hidróxido de sodio, cloruro de sodio, nitrato de potasio o cloruro de litio. En un modo de realización, el medio iónicamente conductor puede comprender un disolvente orgánico, tal como, carbonato de etileno, dimetil carbonato u otros solventes orgánicos apropiados, por ejemplo. En algunos modos de realización, el medio iónicamente conductor es un hidróxido de potasio acuoso. En un modo de realización, el medio iónicamente conductor puede comprender un electrolito. Por ejemplo, se puede utilizar una solución de electrolito líquido convencional, o se puede utilizar un líquido iónico a temperatura ambiente, tal y como se mencionó en la solicitud de patente estadounidense No. 12/776,962. En algunos modos de realización, se pueden añadir aditivos al medio iónicamente conductor, incluyendo pero no limitados a, aditivos que mejoran el proceso de electrodeposición del combustible metálico en el electrodo 130 de combustible, tal y como se describe en la solicitud de patente estadounidense No. 13/028,496. Dichos aditivos pueden reducir el crecimiento dendrítico suelto de partículas de combustible, y por tanto la posibilidad de que dichas partículas se separen del electrodo 130 de combustible, por ejemplo.

En el funcionamiento de la celda 100, el combustible se puede oxidar en el electrodo 130 de combustible cuando el electrodo 130 de combustible está funcionando como un ánodo, y un oxidador, tal como oxígeno gaseoso, Cl_2 gaseoso, o cualquier otro tipo de oxidador, puede reducirse en el electrodo 150 de reducción de oxidante cuando el electrodo 150 de reducción de oxidante está funcionando como un cátodo, que es cuando la celda 100 está conectada a una carga y la celda 100 está en un modo de descarga o degeneración de electricidad, tal y como se discute con mayor detalle más abajo. Las reacciones que suceden durante el modo de descarga pueden generar precipitados de subproductos, por ejemplo, una especie de combustible reducible, en el medio iónicamente conductor. Por ejemplo, en modos de realización en los que el combustible es zinc, se puede generar óxido de zinc como precipitado de subproducto/especie de combustible reducible. El zinc oxidado u otro metal pueden también ser soportados mediante, oxidado con o solvatado en la solución de electrolito, sin formar un precipitado (por ejemplo, el zincato puede ser una especie de combustible reducible disuelto que permanece en el combustible). Durante un modo de recarga, que se discute con mayor detalle más abajo, la especie de combustible reducible, por ejemplo, el óxido de zinc o iones de zincato, se pueden reducir y depositar de forma reversible como el combustible, por ejemplo, zinc, sobre al menos una porción del electrodo 130 de combustible que funciona como un cátodo. Al mismo tiempo, o bien el electrodo 150 de reducción de oxidante o el electrodo 140 de carga separado, y/u otra porción del electrodo 130 de combustible funciona como el ánodo, y oxida una especie de oxígeno oxidable (por ejemplo, iones OH^-) en el medio iónicamente conductor para desprender oxígeno gaseoso. En un modo de realización, la especie de oxígeno oxidable puede ser la especie oxidante reducida que fue creada en la celda 100 durante la descarga de la misma.

Aunque en algunos modos de realización, el oxidador puede entregarse al electrodo 150 de reducción de oxidante mediante un sistema pasivo, que puede ser suficiente para permitir la difusión o permeación de, por ejemplo, oxígeno desde el aire, en el electrodo 150 de reducción de oxidante, en otros modos de realización se pueden utilizar fuentes diferentes de oxidador o mecanismos para llevar el oxidador gaseoso al electrodo de reducción de oxidante. Por ejemplo, en un modo de realización, una bomba tal como una bomba de aire AP se puede utilizar para entregar el oxidador al electrodo 150 de reducción de oxidante bajo presión. La bomba de aire AP puede tener cualquier tipo de construcción o configuración adecuados, incluyendo pero no limitado a ser un ventilador u otro dispositivo de movimiento de aire configurado para producir un flujo constante o pulsado de aire u otro oxidante. La fuente de oxidador puede ser una fuente contenida de oxidador. En un modo de realización, el oxígeno puede ser reciclado desde el módulo 100 de celda electroquímica, tal y como se divulga en la solicitud de patente estadounidense 12/549,617. Del mismo modo, cuando el oxidador es oxígeno del aire ambiente, la fuente de oxidador puede contemplarse de forma amplia como el mecanismo de entrega, sea pasivo o activo (por ejemplo, bombas, sopladores, etcétera), mediante el cual se permite al aire fluir hasta el electrodo 150 de reducción de oxidante. Por tanto, el término "fuente de oxidador" pretende englobar tanto oxidadores contenidos y/o disposiciones para entregar de forma pasiva o activa oxígeno del aire ambiente al electrodo 150 de reducción de oxidante.

En varios modos de realización, los cuerpos 130a-e de electrodo permeables, el electrodo 140 de carga separado y el electrodo 150 de reducción de oxidante pueden estar conectados mediante un sistema de conmutación que puede estar configurado para conectar la celda 100 a la fuente de alimentación PS, una carga, o a otras celdas 100 en serie. Durante la descarga, el electrodo 130 de combustible es conectado a la carga, y funciona como un ánodo de manera que los electrones son liberados por el combustible metálico, ya que el combustible es oxidado en el electrodo 130 de combustible, fluyen hacia la carga externa. El electrodo 150 de reducción de oxidante funciona como un cátodo durante la descarga, y está configurado para recibir electrones desde la carga externa y reducir un oxidador que hace contacto con el electrodo 150 de reducción de oxidante, específicamente oxígeno en el aire que rodea a la celda 100, oxígeno que es suministrado a la celda 100, u oxígeno reciclado desde la celda 100.

El funcionamiento del sistema de conmutación puede variar a través de los modos de realización, y en algunos modos de realización el funcionamiento puede ser similar a los descritos en la solicitud de patente estadounidense con No. de serie 13/299,167. Como otro ejemplo, en un modo de realización, la carga externa puede estar conectada a alguno de los cuerpos 130a-130b de electrodo permeables en paralelo, tal y como se describe en detalle en la solicitud de patente estadounidense con No. De serie 12/385,489. En otros modos de realización, la carga externa puede estar solo conectada al cuerpo 130a de electrodo permeable terminal, distal del electrodo 150 de reducción de oxidante, de manera que el consumo de combustible puede suceder en serie entre cada uno de los cuerpos 130a-130e de electrodo permeables. En algunos modos de realización, la celda 100 puede estar configurada para conmutar entre un modo de carga/descarga, tal y como se describe en la solicitud de patente estadounidense con No. de serie 12/885,268, presentada el 17 de septiembre de 2010.

En algunos modos de realización, uno o más de los cuerpos 130a-e de electrodo, el electrodo 150 de reducción de oxidante y/o el electrodo 140 de carga pueden estar interconectados mediante el sistema de conmutación, o cualquier otro circuito, de manera que facilitan de forma selectiva el control de la carga y descarga de la celda 100. Los conmutadores asociados con el sistema de conmutación pueden ser controlados mediante un controlador, el cual puede ser de cualquier construcción y configuración adecuados, incluyendo pero no limitado a, en algunos modos de realización, conforme a los divulgados en general en las solicitudes estadounidenses con números de serie 13/083,929, 13/230,549 y 13/299,167. En varios modos de realización, el control de los conmutadores del sistema de conmutación puede determinarse basándose en una selección de usuario, una lectura de sensor, o mediante cualquier otra entrada. En algunos modos de realización, el controlador puede funcionar también para gestionar la conectividad entre la carga y la fuente de alimentación PS y una pluralidad de las celdas 100. En algunos modos de realización, el controlador puede incluir una lógica o circuitería apropiada para accionar los conmutadores de baipás asociados con cada celda 100, en respuesta a la detección de una tensión que alcanza un umbral predeterminado (tal como una caída por debajo del umbral predeterminado).

Aunque en el modo de realización ilustrado de la figura 1, la carcasa de celda está configurada de tal manera que el electrodo 150 de reducción de oxidante está sumergido con el módulo 160 de electrodo de reducción de oxidante en la cámara 120 de celda, se puede apreciar que en varios modos de realización, son posibles otras configuraciones o disposiciones de la celda 100. Por ejemplo, en la figura 2, se presenta otro modo de realización de la celda 100 (específicamente, la celda 100*), con lo que un electrodo 150* de reducción de oxidante define una pared de límite para la cámara 120 de celda, y está sellada a una porción de una carcasa 110* de manera que evita el filtrado del medio iónicamente conductor entre los mismos. Aunque dicha configuración es menos preferida, debido a las preocupaciones de que un fallo del electrodo 150* de reducción de oxidante pudiese resultar en una fuga del medio iónicamente conductor fuera de la celda 100*, en algunos modos de realización, el flujo convectivo del medio iónicamente conductor en la cámara 120 de celda, descrito con mayor detalle más abajo, puede estar en una dirección ascendente y en contra del electrodo 150* de reducción de oxidante, a través de la parte superior del electrodo 130 de combustible.

Tal y como se señaló anteriormente, la configuración de los modos de realización de la celda 100 para facilitar un flujo convectivo del medio iónicamente conductor en los mismos son objetos de la presente solicitud. Tal y como se indicó anteriormente, durante el funcionamiento de la celda 100, se pueden formar burbujas de oxígeno en un electrodo que desprende oxígeno durante la carga. En el modo de realización ilustrado, el electrodo que desprende oxígeno es el electrodo 140 de carga, pero en algunos modos de realización puede ser una porción del electrodo 130 de combustible y/o del electrodo 150 de reducción de oxidante. Por tanto, cualquier referencia en el presente documento a un electrodo que desprende oxígeno aplica a cualquiera de estos modos de realización, y la referencia al electrodo 140 de carga en los modos de realización ilustrados puede aplicar de forma similar a todos estos tipos de electrodos que desprenden oxígeno. Se puede apreciar que la flotación de las burbujas de oxígeno que son generadas en la superficie del electrodo 140 de carga durante la carga se puede utilizar para circular el medio iónicamente conductor de la celda 100. Tal y como se describe con mayor detalle más abajo, aunque las burbujas por sí mismas crean una fuerza de elevación, si los tamaños de burbujas son de un tamaño lo suficientemente pequeño, podrían arrastrar una cantidad sustancial del medio iónicamente conductor con ellas para comenzar el flujo del medio iónicamente conductor en la celda 100. Se puede apreciar que el flujo del medio iónicamente conductor puede también ser ayudado por otros mecanismos de generación de flujo más allá de las burbujas generadas en el electrodo 140 de carga, incluyendo pero no limitado a, burbujeadores de gas adicionales, tal y como se describe con mayor detalle más abajo.

En algunos modos de realización, la carcasa 110 puede por lo tanto incluir en la misma desviadores de flujo que proporcionan superficies de desviación de flujo, incluyendo pero no limitadas a paredes de bloqueo, deflectores y/o canales perforados, que pueden ser utilizada para controlar la magnitud y la dirección del flujo del medio iónicamente conductor creado por la fuerza de elevación flotante de las burbujas, y crear una convección en la celda 100. En algunos modos de realización, los desviadores de flujo pueden ser moldeados de forma integral en la carcasa 110 de celda, o pueden estar definidos completamente por la forma de la carcasa 110 de celda, tal como por las superficies internas de sus paredes. En otros modos de realización, los desviadores de flujo pueden ser cuerpos separados que son instalados o de otro modo unidos en la carcasa 110. En un modo de realización, porciones del electrodo 130 de combustible, el electrodo 140 de carga, y/o el electrodo 150 de reducción de oxidante, o cuerpos asociados con los mismos, pueden estar conformados o de otro modo situados para servir como un desviador de flujo y proporcionar una o más superficies de desviación de flujo. De forma esquemática mostrado

en la figura 3, hay un modo de realización de una celda 100a electroquímica configurada para generar una corriente convectiva (indicada generalmente mediante flechas gruesas). Tal y como se muestra, la celda 100a electroquímica tiene el electrodo 130 de combustible, el electrodo 140 de carga, y el electrodo 150 de reducción de oxidante. Se puede apreciar que en el modo de realización ilustrado, el electrodo 150 de reducción de oxidante está configurado sumergido dentro de la cámara 120 de celda de la celda 100a electroquímica, y tiene asociado con el mismo el electrodo 160 de reducción de oxidante con el espacio 170 de aire (omitido en el modo de realización ilustrado para enfatizar el flujo del medio iónicamente conductor).

En el modo de realización ilustrado en la figura 3, las burbujas de oxígeno generadas por el electrodo 140 de carga que desprende oxígeno ascienden hacia arriba, debido a su flotación, hasta una parte 180 superior de la carcasa 110a. Aunque cuerpos tales como el electrodo 130 de combustible, el electrodo 140 de carga, y el electrodo 150 de reducción de oxidante pueden afectar a la dirección y a la tasa, puede apreciarse que los desviadores de flujo también pueden guiar y dirigir el flujo del medio iónicamente conductor creado por el movimiento de las burbujas. Este movimiento estará en general limitado alrededor del electrodo 140 de carga, entre el electrodo 130 de combustible y el electrodo 150 de reducción de oxidante. En un modo de realización, tal como el de la celda 100a, se puede desbloquear relativamente un área directamente verticalmente por encima del electrodo 140 de carga y del electrodo 130 de combustible al flujo de las burbujas de oxígeno ascendente, hasta la parte 180 superior. Tal y como se muestra, en algunos modos de realización el movimiento de las burbujas de oxígeno puede limitarse inicialmente por el electrodo 130 de combustible y el electrodo 150 de reducción de oxidante. A medida que las burbujas de oxígeno fluyen pasado el electrodo 130 de combustible y el electrodo 150 de reducción de oxidante, sin embargo, se puede permitir posteriormente que fluyan hacia fuera (es decir, lateralmente) hasta un lado 190 de la carcasa 110a, sobre el electrodo 150 de reducción de oxidante sumergido (y el módulo 160 de electrodo de reducción de oxidante, no mostrado en la figura 3). Tal y como se puede apreciar a partir de la figura 4, los canales 165 de aire que permiten el flujo de aire dentro del espacio 170 de aire están configurados para no bloquear completamente el medio iónicamente conductor, de manera que el flujo del medio iónicamente conductor, y las burbujas arrastradas inicialmente en el mismo, pueden en general pasar alrededor y/o entre los canales 165, y pueden fluir hacia la parte posterior del módulo 160 de electrodo de reducción de oxidante, tal y como se ilustra de forma general mediante las flechas representadas (es decir, hay un espacio o espacios entre los mismos para permitir que el flujo se desplace lateralmente sobre el módulo 160).

En el modo de realización de la celda 100a, se proporciona una pared 200 de bloqueo para evitar que las burbujas se expandan tanto hacia cómo en contra del lado 190. Una vez que las burbujas despejan el electrodo 150 de reducción de oxidante, el electrodo 140 de carga y/o el electrodo 130 de combustible, la pared 200 de bloqueo puede extenderse hacia la parte 180 superior de manera que el medio iónicamente conductor es dirigido a un área 210 de desgasificación de la cámara 120 de celda. Tal y como se muestra, el área 210 de desgasificación puede ser un área de la carcasa 110a de celda que está limitada por el lado 190 y un deflector 220 de convección, que tiene una porción 230 alargada que se extiende en la cámara 120 de celda en general paralela al flujo de las burbujas ascendentes desde el electrodo 140 de carga, y dirige el medio iónicamente conductor desde la parte 180 superior hacia una parte 240 inferior de la carcasa 110a de celda. El área 210 de desgasificación también puede ser referida como una columna de desgasificación debido a su orientación vertical. En algunos modos de realización, el deflector 220 de convección puede estar formado al menos parcialmente a partir de una porción del módulo 160 de electrodo de reducción de oxidante sumergido en el medio iónicamente conductor. En algunos modos de realización, el área 210 de desgasificación puede contener en la misma una o más estructuras de coalescencia de burbuja, tal como pero no limitados a, un acoplamiento hidrofóbico, que puede ser configurado para aumentar el tiempo en el que el medio iónicamente conductor permanece en el área 210 de desgasificación, mientras que el medio iónicamente conductor fluye a través de la misma. El material hidrofóbico puede ser elegido para ser altamente poroso con una alta tortuosidad para incrementar la eficacia de la separación sin impedir el flujo de fluido. Otros ejemplos de estructuras de coalescencia de burbuja incluyen materiales hidrofóbicos, en forma de fieltro, una membrana, o espuma.

Se puede apreciar que el área 210 de desgasificación está generalmente separada de los electrodos de la celda 100, de manera que las burbujas arrastradas en el flujo del medio iónicamente conductor puedan coalescer juntas y/o separadas del flujo del medio iónicamente conductor a través del mismo, de manera que las burbujas en el área 210 de desgasificación asciendan hacia la parte 180 superior, mientras que el flujo del medio iónicamente conductor continúe fluyendo a través del área 210 de desgasificación. En particular, a medida que el medio iónicamente conductor es desviado sobre el área 210 de desgasificación, en contra de donde se están elevando más burbujas de oxígeno del electrodo 140 de carga, la menor parte del medio iónicamente conductor flotante es libre de separarse de las burbujas, y comienza a caer hacia la parte 230 inferior de la carcasa 110a de celda. Adicionalmente, tal y como se describe con mayor detalle más abajo, las burbujas generan menos arrastre viscoso con un volumen mayor (es decir, tamaño de la burbuja). Por tanto, debido a que las burbujas son más pequeñas cuando son generadas en primer lugar, arrastran más fluido con ellas que las burbujas grandes en el área 210 de desgasificación, que son formadas mediante la coalescencia de las burbujas más pequeñas. La diferencia en el tamaño de burbuja, y la diferencia subsecuente en el arrastre de fluido, puede entenderse cuando se crea la dirección del movimiento de fluido que crea el flujo convectivo del medio iónicamente conductor. Se puede apreciar por lo tanto que en algunos modos de realización el medio iónicamente conductor puede contener en el mismo un aditivo limitador de tamaño de burbuja el cual puede estar configurado para minimizar un tamaño de las burbujas generadas en el mismo. Por

ejemplo, en un modo de realización el limitador de tamaño de burbuja puede comprender un tensioactivo tal como pero no limitado a, tensioactivos iónicos clasificados como aniónicos que contienen aniones de sulfato, sulfonato, fosfato o carboxilato, o tipo catiónico, que contienen zwitteriones, aminas terciarias o iones de amonio cuaternario. Los tensioactivos también pueden ser no iónicos y contener alcoholes, éteres o ésteres.

- 5 Se puede apreciar que cualquier partícula u otros materiales arrastrados en el flujo del medio iónicamente conductor también pueden separarse del flujo en el área 210 de desgasificación y dependiendo de la flotación de las partículas, puede o bien depositarse en la parte inferior del área 210 de desgasificación o bien puede flotar en la parte superior del área 210 de desgasificación.

10 Tal y como se muestra, el deflector 220 de convección puede tener una porción 250 interior con una superficie de desviación de flujo que se extiende lateralmente y que dirige el medio iónicamente conductor que fluye en dirección descendente lateralmente a través de la parte 240 inferior a un lado opuesto del electrodo 130 de combustible desde el electrodo 140 de carga que es proximal al cuerpo una 130a de electrodo permeable, y está cerca de un lado 260 de la carcasa 110a de celda que es distal al lado 190. En algunos modos de realización, esta área de la cámara 120 puede estar caracterizada como un área 265 de pre-electrodo, tal y como se ha ilustrado. El ciclo convectivo puede por lo tanto ser completado mediante el medio iónicamente conductor que pasa a través de los cuerpos 130a-e de electrodo permeables, antes que ser elevado por las burbujas de oxígeno que ascienden desde el electrodo 140 de carga. Debido a que la elevación de la burbuja de oxígeno asciende el medio iónicamente conductor líquido en la región a lo largo del electrodo 140 de carga (u otro electrodo que desprende oxígeno), crea una caída o diferencial de presión negativa entre la región del área 265 de pre-electrodo, que ayuda al flujo del medio iónicamente conductor a través del electrodo 130 de combustible. El flujo a través del electrodo 130 de combustible por tanto tendrá tanto una componente ascendente como lateral (es decir, horizontal), tal y como se ha ilustrado. De forma similar, el flujo en la dirección lateral desde el área 210 de desgasificación hasta el área 265 de pre-electrodo bajo la presión 250 también se favorece por la presión descendente positiva aplicada desde el líquido en el área 210 de desgasificación, así como la presión negativa en el área 265 de pre-electrodo por el flujo elevado por las burbujas.

25 Dicho flujo de medio iónicamente conductor a través de los cuerpos 130a-e de electrodo permeables puede tener diversos beneficios, incluyendo pero no limitado a, un desalojo de las burbujas de oxígeno o hidrógeno que pueden de otro modo adherirse a los cuerpos de electrodo permeables, lo cual entre otras cosas podría interferir con el crecimiento de combustible en el electrodo 130 de combustible durante la carga de la celda 100a. El desprendimiento de hidrógeno (a través de la reducción de H^+ a H_2) en el electrodo 130 de combustible es problemática no sólo debido a que conduce la corriente parásita que podría ser utilizada para la reducción y recubrimiento metálicos, sino su presencia de burbujas puede ocupar el espacio en el que el crecimiento de combustible podría tener lugar, y las propias burbujas pueden interferir con el crecimiento de metal y reducir su densidad. Por tanto, conduciendo de forma forzosa el flujo a través del cuerpo o cuerpos del electrodo 130 de combustible puede reducir de forma beneficiosa estos problemas. También, en varios modos de realización, el flujo de circulación (es decir, su trayecto de circulación completo) puede estar contenida completamente dentro de la carcasa, de manera que el trayecto del flujo está en un bucle de circuito cerrado que incluye los cuerpos del electrodo 130 de combustible, por tanto evitando la necesidad de conectar la carcasa 110 a una bomba de fluido o a carcasas de celda adyacentes, para permitir el flujo dentro y fuera de la carcasa 110.

40 Tal y como se muestra adicionalmente en la figura 3, en algunos modos de realización una segunda pared 267 de bloqueo puede extenderse al menos parcialmente de forma lateral (es decir, horizontalmente) entre el lado 260 y el electrodo 130 de combustible, y puede proporcionar una superficie de desviación de flujo que evita que el medio iónicamente conductor se desvíe del ciclo convectivo, evitando que el medio iónicamente conductor esté más alto que el electrodo 130 de combustible en la porción del ciclo de convección en el área 265 de pre-electrodo. En otros modos de realización, se pueden utilizar otras paredes de bloqueo o deflectores (u otras estructuras que proporcionen superficies de desviación de flujo) para dirigir el flujo del medio iónicamente conductor a través del electrodo 130 de combustible, de manera que se mantiene el circuito convectivo. Por tanto, el circuito convectivo fuerza al flujo a pasar por encima del electrodo 150 de reducción de oxidante, por debajo a través del área 210 de desgasificación, dentro del área 265 de pre-electrodo, y a través del electrodo 130 de combustible.

50 Mostrado en la figura 5 hay otro modo de realización de la celda 100 electroquímica (de forma específica, una celda 100b electroquímica). Tal y como se muestra, la celda 100b electroquímica tiene una carcasa 110b asociada que está configurada para formar un ciclo convectivo del medio iónicamente conductor en la misma. Se puede apreciar que la carcasa 110b puede ser en general similar a la carcasa 110a, tal como, por ejemplo, conteniendo en la misma el área 210 de desgasificación formada por la porción 230 alargada del deflector 220 de convección, y el lado 190 de la carcasa 110b. Adicionalmente, el deflector 220 de convección de nuevo contiene la porción 250 inferior la cual, junto con la parte 240 inferior de la carcasa 110b de celda, proporciona superficies de desviación de flujo que guían el flujo del medio iónicamente conductor en el área 265 de pre-electrodo, y desde allí en un lado del electrodo 130 de combustible opuesto al electrodo 140 de carga. A diferencia de la celda 100a, sin embargo, la celda 100b tiene una pared 270 de ánodo configurada para evitar que el flujo convectivo del medio iónicamente conductor se ha elevado con las burbujas desde el electrodo 140 de carga sin pasar al menos parcialmente a través de cada uno de los cuerpos 130a-e de electrodo permeables del electrodo 130 de combustible. Puede apreciarse que en algunos modos de realización, las burbujas pueden estar limitadas a una abertura más estrecha a medida que ascienden desde el electrodo 140 de carga hacia la parte 180 superior de la carcasa 110b, lo cual afecta al caudal convectivo

del medio iónicamente conductor. Tal y como se muestra, en algunos modos de realización, tal como los ilustrados, donde el electrodo 130 de combustible tiene una configuración de andamio escalonado, la pared 270 de ánodo puede estar angulada o de otro modo conformada para coincidir con la forma escalonada del electrodo 130 de combustible. Aunque en algunos modos de realización el medio iónicamente conductor puede estar bloqueado para elevarse por encima de la altura del electrodo 130 de combustible en su lado de área 265 de pre-electrodo, tal como fue el caso en la celda 100a, en algunos modos de realización, tal como el modo de realización de la celda 100B, dicha constricción podría no ser implementada.

Esta pared 270 de ánodo por tanto proporciona una superficie de desviación de flujo que fuerza al medio iónicamente conductor a través de los cuerpos 130a-e de electrodo. La superficie inferior de la pared 270 puede hacer esto directamente, y la cara vertical de la pared 270 puede hacerlo de forma indirecta impidiendo que el flujo circule sobre la parte superior del electrodo 130 de combustible. Es decir, debido a que el líquido en el espacio lateralmente adyacente a la pared 270 y encima del área 265 de pre-electrodo es bloqueado de fluir hacia arriba o lateralmente, esto fomentará que el flujo circule a través del electrodo 130.

La figura 6 representa otro modo de realización de la celda 100 (denotada como la celda 100c). La celda 100c electroquímica tiene una carcasa 110c asociada con superficies de desviación de flujo que de nuevo forman un ciclo convectivo del medio iónicamente conductor en la misma. Como anteriormente, la carcasa 110c puede ser en general similar a la carcasa 110a o a la carcasa 110b. Por ejemplo, la carcasa 110c contiene la misma el área 210 de desgasificación formada por la porción 230 alargada del deflector 220 de convección, y el lado 190 de la carcasa 110c. El deflector 220 de conversión de nuevo contiene la porción 250 inferior la cual, junto con la parte 240 inferior de la carcasa 110c de celda, guía al flujo del medio iónicamente conductor en el área 265 de pre-electrodo, desde la cual puede ser conducido al menos parcialmente a través del electrodo 130 de combustible. En algunos modos de realización, una o más regiones de la celda 100, tal como la porción 250 inferior y/o la parte 240 inferior de la carcasa 110 de celda, pueden incluir o pueden tener asociadas con las mismas un electrodo de bandeja de captura configurado para oxidar partículas dendríticas de combustible que se han separado del electrodo 130 de combustible, tal y como se describe en la solicitud de patente estadounidense con No. de serie 13/185,658. Como con la celda 100a, una pared 200 de bloqueo en general evita que las burbujas asciendan desde el electrodo 140 de carga y que el medio iónicamente conductor fluya con ellas desviándose hacia fuera hacia el lado 260 de la carcasa 110c. En su lugar, la pared 200 de bloqueo, potencialmente en combinación con la pared 180 superior, dirige las burbujas, y el flujo del medio iónicamente conductor lateralmente hacia el lado 190 del área 210 de desgasificación. A diferencia de las celdas 110a y 110b anteriores, sin embargo la celda 110c incluyen la misma un difusor 280 que está configurado para dirigir el flujo del medio iónicamente conductor proximal al lado 260 de la carcasa 110c de celda generalmente de forma perpendicular en el electrodo 130 de combustible (es decir, formando un ángulo recto con el propio electrodo 130 de combustible), en oposición al flujo angulado en general de los modos de realización anteriores. Las superficies de desviación de flujo pueden ser contempladas incluyendo las superficies en el nivel de poro o abertura que dirige el flujo en esta dirección. Se puede apreciar que el difusor 280 puede variar a través de los modos de realización, y como tal puede tener cualquier número de aberturas 290 en el mismo que estén orientadas entre el lado 260 y el electrodo 130 de combustible. También puede apreciarse que en algunos modos de realización el difusor 280 puede estar configurado para establecer un ángulo particular o múltiples ángulos particulares de flujo contra el electrodo 130 de combustible, tal como variando el ángulo de una o más de las aberturas 290. Como anteriormente, mientras en algunos modos de realización el medio iónicamente conductor se puede bloquear para que no ascienda por encima del altura del electrodo 130 de combustible, en otros modos de realización, tal como se ha ilustrado en el modo de realización de la celda 100c, dicha condición puede que no esté implementada.

La figura 7 muestra otro modo de realización de la celda 100 (es decir, la celda 100d), que contiene una carcasa 110d asociada configurada para el ciclo convectivo del medio iónicamente conductor. Tal y como se muestra, la carcasa 110d está generalmente configurada de tal manera que el ciclo convectivo del medio iónicamente conductor pasa hacia arriba a través de la longitud del electrodo 130 de combustible. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el medio iónicamente conductor está configurado para fluir verticalmente en general paralelo y entre los cuerpos 130a-e de electrodo permeables, en lugar de estar orientado dentro y a través de cada uno de los cuerpos 130a-e de electrodo permeables como en los modos de realización previos. Tal y como se muestra, en un modo de realización la pared 200 de bloqueo puede en general extenderse desde la parte 180 superior hacia la parte 240 superior, y puede ser generalmente paralela a la orientación de los electrodos de la celda 100d. Las superficies de desviación de flujo son por tanto proporcionadas por las superficies del electrodo 150 de reducción de oxidante y la pared 200 que mira y es paralela al electrodo 130 de combustible. Aunque en algunos modos de realización, la pared 200 de bloqueo puede extenderse tan lejos como la parte 240 inferior, y puede reemplazar o de otro modo ser el lado 260, en otros modos de realización, la pared 200 de bloqueo puede separarse del lado 260, de manera que un suministro de medio iónicamente conductor permanece en el espacio entre ellas. Tal y como se muestra en el modo de realización ilustrado, ya que el flujo convectivo del medio iónicamente conductor pasa a lo largo de los cuerpos 130a-e de electrodo permeables, el deflector 220 de convección puede carecer de la porción 250 inferior encontrada en los modos de realización anteriores. En otros modos de realización, el deflector 220 de convección puede contener la parte 250 inferior, sin embargo la porción 250 inferior puede contener una o más aberturas en la misma de manera que reciban el flujo convectivo.

Tal y como se ha representado en la figura 8, se puede apreciar en algunos modos de realización que se pueden instalar múltiples celdas juntas en una carcasa 110' común. Dicho conjunto puede facilitar direcciones de flujo deseadas basándose en la interacción de las burbujas generadas para cada celda, y también puede reducir los costes de producción, reduciendo el número de partes discretas en la misma. El conjunto de la figura 8 contiene dos celdas en el mismo, y por tanto se puede referir como una bi-celda 300. Se puede apreciar que las dos celdas (individualmente la celda 300a y 300b) definen la bicelda 300, se pueden incluir celdas adicionales en otros modos de realización (por ejemplo, formando una tricelda, una cuadra-celda, etcétera). Aunque en algunos modos de realización cada celda 300a y 300b puede contener su propio electrodo 130 de combustible asociado (es decir, separado uno de otro), en otros modos de realización, tal como el mostrado, la bicelda 300 contiene un electrodo 130' de combustible común para ambas celdas 300a y 300b. En particular, un electrodo 130' común es compartido por un par de electrodo 150a y 150b de reducción de oxidantes, asociados con las celdas 300a y 300b, respectivamente. Tal y como se muestra, un electrodo 130' de combustible común ilustrado contiene en el mismo una pluralidad de cuerpos 130a'-130e' de electrodo permeables en una configuración de andamio escalonado, con lo que el cuerpo 130c' de electrodo está situado en el centro, y puede estar asociado con o bien la celda 300a o con la celda 300b. Se puede apreciar, entonces, que los cuerpos 130a' y 130b' de electrodo permeables pueden en general considerarse que están asociados con la celda 300a, mientras que los cuerpos 130d' y 130e' pueden en general considerarse que están asociados con la celda 300b. En algunos modos de realización, sin embargo, la totalidad del electrodo 130' de combustible puede entenderse que participa en reacciones electroquímicas con tanto el electrodo 150a de reducción de oxidante como el electrodo 150b de reducción de oxidante. Se puede apreciar que la bicelda 300 es ilustrado de forma esquemática en la figura 8. Como tal, la separación ilustrada es exagerada entre los electrodos 150a-b de reducción de oxidantes y el electrodo 130' de combustible común, así como entre los cuerpos 130a'-130e' de electrodo permeables.

Asociados con cada celda 300a y 300b en el modo de realización ilustrado hay electrodos 140a y 140b de carga. Aunque en el modo de realización ilustrado los electrodos 140a y 140b de carga están separados del electrodo 130' de combustible común, se puede apreciar que en algunos modos de realización los electrodos 140a y 140b de carga pueden comprender una porción del electrodo 130' de combustible común, tal y como se describió anteriormente. Como se muestra, los electrodos 140a y 140b de carga dedicados pueden en general estar situados entre el electrodo 130' de combustible común y los electrodos 150a y 150b de reducción de oxidante. Tal y como se puede apreciar a partir de los modos de realización anteriores, las burbujas formadas durante la carga ascienden desde donde son desprendidas en los electrodos 140a y 140b de carga hasta la parte superior de la carcasa 110' y desarrollan un flujo del medio iónicamente conductor. Se puede apreciar que las burbujas tales como las generadas por los electrodos 140a y 140b de carga en general ascenderán hacia arriba para generar un flujo de medio iónicamente conductor entre los electrodos 150a-b oxidantes y los electrodos 130' de combustible común, cada uno de los cuales contiene una o más superficies de desviación de flujo. También se puede apreciar que las superficies de los electrodos 140a y 140b de carga también se pueden considerar como superficies de desviación de flujo, ya que dichas superficies también canalizan el flujo ascendente del medio iónicamente conductor. En otro modo de realización, podría haber un solo electrodo de carga para todo el electrodo 130, tal como un electrodo de carga situado en el centro, o una porción o porciones del propio electrodo 130 de combustible.

A menos que de otro modo estén limitadas por las superficies de desviación de flujo, las burbujas pueden dispersarse generalmente hacia fuera a medida que ascienden hacia arriba. En el modo de realización ilustrado de la bicelda 300, la disposición separada de los electrodos 140a y 140b de carga, cada uno de los cuales genera sus propias burbujas, en general puede resultar en que las burbujas, y por tanto el flujo, se dispersen hacia arriba y después lateralmente sobre los módulos 160a y 160b de electrodo de reducción de oxidantes que están asociados con cada uno de los electrodos 150a y 150b de reducción de oxidantes, cuyas superficies son las superficies de desviación del flujo. De forma específica, a medida que las burbujas ascienden a la parte 180' superior de la carcasa 110' desde cada electrodo 140a y 140b de carga, se pueden recopilar suficientes burbujas cerca de la parte 180' superior de manera que el trayecto de menor resistencia para burbujas adicionales y el flujo para desplazar está por encima de la parte superior de cada uno de los módulos 160a y 160b de electrodo de reducción de oxidante, siendo también las partes superiores de los mismos las superficies de desviación de flujo.

Tal como se muestra, pueden darse dos porciones de flujo separados de forma subsecuente, entre el módulo 160a de electrodo de reducción de oxidante y un lado 190a de la carcasa 110' que es proximal al módulo 160a de electrodo de reducción de oxidante, y entre el módulo 160b de electrodo de reducción de oxidante y un lado 190b de la carcasa 110' que es proximal al módulo 160b de electrodo de reducción de oxidante. Similar a los modos de realización anteriores, estas regiones entre los módulos 160a-b de electrodo de reducción de oxidante y los lados 190a-b se puede caracterizar como regiones o columnas 210a y 210b de desgasificación, por lo que las burbujas pueden separarse del medio iónicamente conductor, ascendiendo de vuelta a la parte 180' superior, mientras el medio iónicamente conductor más denso continúa hacia abajo dentro del flujo. Se puede por lo tanto apreciar que en algunos casos, conjuntos adicionales de burbujas generadas desde electrodos de carga separados (es decir, los electrodos 140a y 140b de carga), pueden considerarse como desviadores de flujo.

Tal y como se indicó anteriormente, en algunos modos de realización el deflector 220 de convección puede comprender al menos una porción del módulo 160 de electrodo de reducción de oxidante. Dicha implementación es representada en el modo de realización ilustrado, en donde un deflector 220a de convección es formado con el módulo 160a de electrodo de reducción de oxidante, mientras que un deflector 220b es formado con el módulo 160b.

Como tal, las paredes posteriores (distales de los electrodos 150a y 150b de reducción de oxidante) de los módulos 160a y 160b de electrodo de reducción de oxidante por lo tanto forman porciones 230 alargadas (específicamente una porción 230a alargada y una porción 230b alargada). Por consiguiente, en el modo de realización ilustrado se forma una región 210a de desgasificación entre un lado 190a y la porción 230a alargada del módulo 160a de electrodo de reducción de oxidante, mientras que se forma una región 210b de desgasificación entre el lado 190b y la porción 230b alargada del módulo 160b de electrodo de reducción de oxidante, definiendo las superficies de los cuerpos las regiones 210a y 210b de desgasificación cada una que contiene superficies de desviación del flujo. Tal y como se indicó anteriormente, en algunos modos de realización también pueden estar presentes desviadores de flujo adicionales que contienen superficies de desviación de flujo adicionales. Mostrados en el modo de realización ilustrado, por ejemplo, hay desviadores 310a y 310b de flujo adicionales que tienen regiones 210a y 210b de desgasificación, de manera que el flujo de cada lado es dirigido generalmente hacia el centro de la bicelda 300. Se puede por lo tanto apreciar que el flujo puede en general ser dirigido hacia el centro del electrodo 130' de combustible común, o los electrodos de combustible respectivos de cada una de las celdas 300a y 300b de la bicelda 300. Por tanto, mientras que al menos una superficie de desviación de flujo se puede configurar para dirigir el flujo del medio iónicamente conductor a través del electrodo 130' de combustible común, en algunos modos de realización superficies de desviación del flujo múltiples pueden cooperar para hacerlo.

Aunque no se ilustra en la figura 8, en algunos modos de realización se pueden implementar desviadores de flujo adicionales u otros cuerpos de modificación del flujo, tales como los descritos en los modos de realización anteriores, en la bicelda 300, y que tengan superficies tener superficies de desviación de flujo. Por ejemplo, en algunos modos de realización una porción similar inferior a la porción 250 inferior descrita anteriormente se puede implementar asociada con cada uno de los módulos 160a y 160b de electrodo de reducción de oxidante. Dicha porción inferior puede evitar que los flujos convectivos realicen un ciclo directamente alrededor de los electrodos 160a y 160b de electrodo de reducción de oxidante (es decir, comenzando con las burbujas generadas por los electrodos 140a y 140b de carga, alrededor de los electrodos 160a y 160b de reducción de oxidante, y retornen de vuelta a los electrodos 140a y 140b de carga), sin ser dirigidos al menos parcialmente en el electrodo 130' de combustible común. Se puede apreciar que los flujos convectivos conducirán al medio iónicamente conductor a través del electrodo 130' de combustible común independientemente, arrastrando el medio iónicamente conductor adyacente a la formación de burbuja en los electrodos 140a y 140b de carga, sin embargo dichas porciones inferiores pueden, en algunos modos de realización, aumentar el movimiento del medio iónicamente conductor a través del electrodo 130' de combustible común.

Del mismo modo, en algunos modos de realización, un difusor similar al difusor 280 puede instalarse en una bicelda 300. Se puede apreciar que el difusor puede en general estar instalado por debajo del electrodo 130' de combustible común, y puede alinear los flujos del medio iónicamente conductor para fluir en cualquier dirección o direcciones deseadas con respecto al electrodo 130' de combustible común. Adicionalmente, en algunos modos de realización, las paredes u otros cuerpos de dirección del flujo (también denominados desviadores de flujo), similares a la pared 270 de ánodo, por ejemplo, se pueden instalar en general por encima del electrodo 130' de combustible común, de manera que dirigen los flujos convectivos del medio iónicamente conductor y el flujo de las burbujas que generan el flujo, después de que las burbujas asciendan por encima de los electrodos 140a y 140b de carga. Se puede apreciar en el modo de realización de la bicelda 300, en los modos de realización descritos anteriormente, y en otros de dichos modos de realización, que las diversas paredes de bloqueo y/u otros cuerpos de desviación del flujo pueden estar acopladas a las carcasas (tal como la carcasa 110'), los módulos 160a-b de electrodo de reducción de oxidante, el electrodo 130' de combustible común (u otros electrodos 130 de combustible), etcétera.

Aunque en los modos de realización de las figuras 1- 8 se ilustra un flujo convectivo asociado con cada celda 100 (o en el caso de la bicelda 300 de la figura 8, un único flujo convectivo con cada una de las celdas 300a y 300b de la misma), se puede apreciar que en algunos modos de realización se puede utilizar un único circuito convectivo a través de una pluralidad de celdas. Por ejemplo, la figura 9 ilustra un sistema 312 de celda que comprende una pluralidad de celdas 314 (de las cuales las celdas 314a-c son visibles como se ilustra) configuradas para formar un bucle convectivo común. Aunque se muestran tres celdas en el sistema 312 de celda, se puede apreciar que el sistema 312 de celda necesita sólo contener dos o más celdas para formar el bucle convectivo, de manera que son posibles menos o más celdas. Tal y como se muestra, cada una de las celdas 314 incluye un electrodo 130 de combustible permeable, un electrodo 140 de carga, y un electrodo 150 oxidante. Como anteriormente, cada electrodo 150 de reducción de oxidante está acoplado a un módulo 160 de electrodo de reducción de oxidante, y está sumergido en el medio iónicamente conductor, de manera que los canales 165 de oxidante proporcionan oxidante a los electrodos 150 de reducción de oxidante, a través de un espacio 170 de aire asociado con el mismo. También como anteriormente, se asocia una región 210 de desgasificación con cada celda (específicamente regiones 210a-c de desgasificación tal y como se ilustra).

En lugar de regiones 210 de desgasificación que son definidas entre el electrodo 160 de oxidante sumergible y una pared lateral de la carcasa de la celda, como en algunos modos de realización anteriores, se puede apreciar que el sistema 312 de celda contiene paredes 316 interiores, que separan los electrodos de cada celda, y que tienen superficies de desviación de flujo que facilitan el movimiento del flujo convectivo desde una celda 314 a otra (es decir, desde la celda 314a a la celda 314b a la celda 314c y así sucesivamente). Por ejemplo, extendiéndose separadas de los módulos 160 de electrodo oxidante hay paredes 316a que definen un lado de la región 210 de desgasificación para cada celda. Adicionalmente, otras paredes de bloqueo, tales como las paredes 316b pueden

estar situadas bajo cada módulo 160 de electrodo oxidante, de manera que dirigen el flujo convectivo desde una celda 314 previa al menos parcialmente a través del electrodo 130 de combustible de la celda 314 posterior. Tal y como se muestra, un canal 318 de retorno puede estar previsto de manera que facilita la terminación del circuito convectivo del medio iónicamente conductor, de manera que el medio iónicamente conductor movido por la última celda 314 en el ciclo es recirculado hasta la primera celda 314a, de manera que pasa a través del electrodo 130 de combustible de la misma. Aunque la configuración de cada celda 314 es representada similar a la de la celda 100d anterior, se puede apreciar que otras paredes de bloqueo y desviadores de flujo pueden tener superficies de desviación de flujo para facilitar el dirección amiento del flujo del medio iónicamente conductor a través de las celdas 314. Adicionalmente, aunque el canal 318 de retorno es representado pasando por debajo de las celdas 314, puede tomar cualquier trayecto apropiado. Por ejemplo, las celdas 314 pueden estar dispuestas en una matriz bidimensional en lugar de linealmente, de manera que forman un circuito de fluido más próximo. Adicionalmente, en algunos modos de realización, pueden estar provistas carcasa separadas para las celdas 314, y el ciclo convectivo puede utilizar tubos u otras conexiones de fluido externas para completar el ciclo convectivo entre las celdas.

Se puede apreciar que son también posibles otras configuraciones de la celda 100 que crean un flujo convectivo del medio iónicamente conductor limitado a pasar a través del electrodo 130 de combustible. Por ejemplo, varios modos de realización de la celda 100*, que tienen un electrodo 150* de reducción de oxidante que forman una pared de límite de la carcasa 110*, pueden también estar configurados para generar un flujo convectivo. Por ejemplo, mostrada en la figura 10, hay una celda 100a* que tiene una carcasa 110a*. La carcasa 110a* incluye la parte 180 superior, la parte 240 inferior, y el lado 260, similar a los modos de realización de las celdas 100a-d descritas anteriormente. Tal y como se muestra, un lado 190* está también presente, similar al lado 190, sin embargo configurado para recibir en el mismo el electrodo 150* de reducción de oxidante, de manera que el electrodo 150* de reducción de oxidante puede absorber oxígeno del aire que rodea a la celda 110a*. Además, el área 210 de desgasificación está presente adicionalmente, sin embargo reubicada de las variaciones anteriores de la celda 100, ya que el medio iónicamente conductor no podría fluir sobre el electrodo 150* de reducción de oxidante como lo haría en el electrodo 150 de reducción de oxidante sumergido de los modos de realización anteriores.

Tal y como se muestra en el modo de realización ilustrado, la celda 110a* está configurada de manera que las burbujas de oxígeno desprendidas en el electrodo 140 de carga ascienden hacia arriba hacia la parte 180 superior, por lo que el lado 190 por encima del electrodo 150* de reducción de oxidante desvía el flujo oxigenado hacia el lado 260. Un deflector 220* de convección es mostrado para limitar adicionalmente el flujo convectivo. Por ejemplo, en algunos modos de realización, el deflector 220* de convección incluye una pared 320 de bloqueo que se extiende generalmente desde cerca del electrodo 130 de combustible, de manera que se evita que las burbujas fluyan de vuelta hacia el electrodo 130 de combustible. Una porción 330 superior del deflector 220* de convección puede estar prevista para cooperar con la parte 180 superior para redirigir el medio iónicamente conductor oxigenado en contra del electrodo 130 de combustible, hacia el área 210 de desgasificación, que en el modo de realización ilustrado está limitada entre el lado 260 de la carcasa 110a*, y una porción 340 alargada del deflector 220* de convección. Como en los modos de realización anteriores, el medio iónicamente conductor se permite que se separe lejos de las burbujas en el área 210 de desgasificación, cayendo hacia la parte 240 inferior de la carcasa 110a*. Tal y como se muestra adicionalmente, una vez que alcanza la parte 240 inferior, el medio iónicamente conductor puede ser después dirigido a través del electrodo 130 de combustible, completando el ciclo de convección. En el modo de realización ilustrado, una pared 350 de bloqueo está prevista adicionalmente para dirigir el flujo del medio iónicamente conductor a lo largo de la parte 240 inferior hacia arriba hacia el cuerpo 130a del electrodo terminal, con lo que pasa a través de los cuerpos 130a-130e de electrodo permeables para completar el ciclo de convección. En otros modos de realización se pueden utilizar otras paredes de bloqueo adicionalmente o de forma alternativa a las de la celda 100a*, de manera que dirigen el flujo a través de cada uno de los cuerpos 130a-e de electrodo permeables, similares al modo de realización de la celda 100d. En algunos modos de realización, puede estar previsto un difusor para angular el flujo del medio iónicamente conductor en el electrodo 130 de combustible, similar al modo de realización de la celda 100c. En algunos modos de realización, se puede utilizar una pared de ánodo para restringir el flujo en el electrodo 130 de combustible, y estrechar el canal para las burbujas de oxígeno emitidas desde el electrodo 140 de carga.

Se puede apreciar que en varios modos de realización el medio iónicamente conductor oxigenado puede tener una tendencia a elevarse hacia arriba y expandirse o "estallar" hacia fuera basándose únicamente en la flotación de las burbujas y en las constricciones colocadas sobre las mismas mediante diversas paredes, miembros de bloqueo, y deflectores de las celdas 100. Por consiguiente, la parte 180 superior de las diversas carcasas 110 pueden tener cualquier construcción o configuración adecuadas, y pueden en algunos modos de realización ser omitidas completamente (es decir, de manera que se expone el medio iónicamente conductor). Dichos modos de realización podrían no ser preferidos, sin embargo, como contienen totalmente el medio iónicamente conductor dentro de la celda 100 pueden evitar el derramado del medio iónicamente conductor cuando se mueve la celda 100, o evitar la entrada de contaminantes en la celda 100. En otros modos de realización, puede estar prevista una ventilación de gas en la celda 100, tal como pero no limitada a la descrita en la solicitud de patente provisional estadounidense con No. de serie 61/515,749, que puede recibir el oxígeno gaseoso cerca o en la parte 180 superior de la cámara 120 de celda. En algunos modos de realización, la ventilación de gas puede ser una membrana impermeable a líquidos y permeable a gas, configurada para evitar las pérdidas del medio iónicamente conductor a través de la misma, pero para permitir que el oxígeno de las burbujas escape de la celda. Cuando la ventilación de gas es impermeable a

líquidos, en algunos modos de realización, la ventilación de gas puede estar ubicada al menos parcialmente haciendo contacto con el medio iónicamente conductor. En algunos modos de realización, las áreas por encima del nivel del medio iónicamente conductor cerca o en la parte 180 superior se pueden perforar o de otro modo estar configuradas de tal manera que el gas puede salir de la celda 100.

Aunque generalmente el electrodo 140 de carga, u otros electrodos que desprenden oxígeno en la celda 100, conducen el ciclo convectivo generando oxígeno gaseoso durante la carga de la celda 100, se puede apreciar que en algunos modos de realización puede ser deseable para el medio iónicamente conductor fluir dentro de la celda cuando la celda está en el modo de descarga, o cuando la celda está inactiva. En algunos modos de realización, incluyendo pero no limitados a, la celda 100a* ilustrada en la figura 10, la celda 100 puede contener en la misma un burbujeador de gas, que incluye pero no se limita a una bomba de aire AP, configurada para hacer burbujear gas a través de la celda 100. Los burbujeadores de gas son también referidos como rociadores, que son dispositivos que introduce en gas en un líquido. Tal y como se utiliza en el presente documento, los burbujeadores de gas o rociadores pueden ser cualquier dispositivo que logre este burbujeador del gas en el medio iónicamente conductor. En algunos modos de realización, donde el burbujeador de gas es una bomba de aire AP, la misma bomba de aire AP también puede utilizarse para suministrar el oxidante al electrodo 150 de reducción de oxidante. En otros modos de realización, sin embargo, la bomba de aire AP puede estar separada de la utilizada para suministrar oxidante al electrodo 150 de reducción de oxidante, si dicha bomba de aire es utilizada siempre. Aunque el gas introducido por el burbujeador de gas puede ser aire de las inmediaciones de la celda, en varios modos de realización se pueden burbujear otros gases o combinaciones de gases a través de la celda, a partir de una fuente de gas apropiada. Las burbujas generadas por la bomba de aire AP pueden ser de cualquier tamaño o forma adecuados para mover el medio iónicamente conductor, incluyendo en algunos modos de realización, ser generalmente similares a las burbujas de aire desprendidas en el electrodo 140 de carga durante la carga de la celda. En algunos modos de realización, la bomba de aire AP puede estar acoplada a uno o más microtubos de manera que crea burbujas de un tamaño suficientemente pequeño para arrastrar el medio iónicamente conductor. En otro modo de realización, la bomba de aire AP puede ser de cualquier configuración distinta adecuada, incluyendo pero no limitada a, una bomba centrífuga, una bomba de jaula de ardilla, un ventilador axial, o un gas comprimido almacenado. Tal y como se muestra, en algunos modos de realización, la bomba de aire AP puede estar orientada de tal manera que las burbujas generadas se permite que fluyan a través y/o entre el electrodo 150 de reducción de oxidante, el electrodo 140 de carga y/o el electrodo 130 de combustible. Aunque en el modo de realización ilustrado la posición de electrodos proximales al lado 190* facilita la instalación de la bomba de aire AP por debajo de los mismos, en otros modos de realización la bomba de aire AP puede estar ubicada en cualquier sitio o asociada con la celda 100, mientras que uno o más tubos u otros canales están previstos para canalizar el aire u otro gas a una ubicación apropiada en la celda 100, donde se puede burbujear en el medio iónicamente conductor. Se puede apreciar también que en algunos modos de realización la bomba de aire AP puede ser únicamente responsable de generar el flujo de medios iónicamente conductor a través de la celda 100 (es decir, a través del electrodo 130 de combustible). Por ejemplo, en algunos modos de realización, el electrodo 150 de reducción de oxidante puede ser bifuncional, de manera que se utiliza como un electrodo de carga durante la carga de la celda 100. En dicho modo de realización, el oxígeno desprendido durante la carga de la celda 100 puede ser liberado directamente en el aire circundante a la celda 100*, o en el espacio 170 de aire, y por tanto no contribuiría al flujo convectivo. En dicho modo de realización, el flujo convectivo en la celda puede ser conducido generalmente por las burbujas generadas por la bomba de aire AP.

El tamaño de las burbujas, o bien creadas por el electrodo 140 de carga (u otro electrodo que desprende oxígeno), o por la bomba de aire AP, puede afectar a la tasa del flujo convectivo del medio iónicamente conductor. Varias configuraciones del electrodo 140 de carga y/o de la bomba de aire AP se pueden utilizar para formar burbujas de un tamaño generalmente deseable, de manera que logran un caudal convectivo generalmente deseable. La tasa puede además estar afectada por las propiedades químicas del medio iónicamente conductor. Se puede apreciar que las transferencias de impulso entre las burbujas y el medio iónicamente conductor, y por tanto la velocidad relativa de las burbujas y el medio iónicamente conductor circundante, se puede determinar basándose en la fuerza de flotación de las burbujas. Por ejemplo, se entiende que la fuerza F_B de flotación en una esfera tal como una burbuja en general se ajusta la fórmula:

$$F_B = (\rho_L - \rho_{O_2})g \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3, \quad (1)$$

donde ρ_L y ρ_{O_2} son las densidades del medio iónicamente conductor y del oxígeno gaseoso respectivamente, g es la aceleración de la gravedad, y d es el diámetro de la esfera. A bajas velocidades, el arrastre F_D viscoso en la burbuja puede en general ser aproximado como:

$$F_D = \left[\frac{1}{2} \rho_L \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \Delta U^2 \right] \frac{24}{Re} \left(1 + \frac{3}{8} Re\right), \quad (2)$$

donde ΔU es la velocidad relativa entre la burbuja y el fluido, y Re es el número de Reynolds, definido como:

$$Re = \frac{\rho_L \Delta U d}{\mu}, \quad (3)$$

con μ siendo la viscosidad del medio iónicamente conductor.

Equilibrando la fuerza F_B de flotación y el arrastre F_D viscoso, se puede determinar la relación entre el diámetro de las burbujas y la velocidad relativa entre la burbuja y el medio iónicamente conductor. Por ejemplo, en un modo de realización en el que la densidad ρ_L del medio iónicamente conductor es aproximadamente 1500 kg/m^3 , y la viscosidad del medio iónicamente conductor es de aproximadamente $\mu = 0,002 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, aproximando la fuerza de la gravedad como $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, se pueden calcular los tamaños de burbuja y la velocidad de relativamente asociadas encontradas en la figura 11. Tal y como se muestra, con un diámetro de burbuja mayor, la fuerza F_B de flotación domina al arrastre F_D viscoso, resultando en burbujas más grandes moviéndose a una velocidad relativamente mayor a través del medio iónicamente conductor. Una velocidad relativa mayor significa que las burbujas inducen menos flujo del líquido debido a que las burbujas se desplazan más rápido que el líquido; y al contrario una velocidad relativa menor induce más flujo del líquido debido a que las burbujas y el líquido están más próximos a desplazarse juntos. Por tanto, los inventores de la presente solicitud han encontrado que diámetros de burbuja menores son deseables para inducir una elevación y flujo del medio iónicamente conductor dentro de la celda 100.

En algunos modos de realización de la celda 100, la mayoría de las burbujas generadas en el electrodo 140 de carga (u otros electrodos que desprenden oxígeno en la celda 100) puede típicamente estar aproximadamente entre $1 \text{ }\mu\text{m}$ y $50 \text{ }\mu\text{m}$ de diámetro, mientras que la velocidad resultante del medio iónicamente conductor puede estar generalmente entre $0,01 \text{ m/s}$ - $0,1 \text{ m/s}$. Puede apreciarse por lo tanto que dichos tamaños de burbuja pueden resultar en una velocidad relativa que es despreciable en comparación con la velocidad del medio iónicamente conductor, de manera que la fuerza de flotación de las burbujas es transferida al medio iónicamente conductor a través de un acoplamiento de momento fuerte. Debería señalarse que las velocidades relativas y los diámetros de burbuja asociados listados en la figura 11 son únicamente aproximaciones de diversos modos de realización, y se pueden encontrar otros tamaños de burbuja y velocidades relativas en diversos modos de realización de la celda 100. Por ejemplo, en algunos modos de realización, la mayoría de las burbujas generadas durante la carga puede ser aproximadamente menos de 1 mm de diámetro. En un ejemplo más particular, la mayoría (es decir, un 50% o más) de burbujas, y más preferiblemente un 75% o más, generadas durante la carga puede ser menor de $0,1 \text{ mm}$ de diámetro. En un ejemplo incluso más particular, la mayoría de las burbujas generadas durante la carga, y de forma más preferible un 75% o más, puede tener menos de $0,01 \text{ mm}$ de diámetro. En otro ejemplo más particular más, la mayoría de las burbujas generadas durante la carga, y más preferiblemente un 75% o más, puede ser menor de $0,01 \text{ mm}$ de diámetro. En un ejemplo particular más adicional, la mayoría de las burbujas y más preferiblemente un 75% o más, generadas durante la carga puede ser menor de $0,001 \text{ mm}$. De forma más preferible, un 90% o más de las burbujas es menor que estos tamaños máximos indicados. Adicionalmente, se puede apreciar que en algunos modos de realización, burbujas más pequeñas pueden coalescer en burbujas más grandes a medida que se elevan hacia la parte 180 superior de la celda 100. Sin embargo pueden aun así participar en el arrastre del medio iónicamente conductor en el flujo antes y/o después de la coalescencia. Como tal, el tamaño de las burbujas tal y como se ha descrito en el presente documento puede referirse a su tamaño en la primera formación, el tamaño medio de las burbujas a medida que se elevan hacia la parte 180 superior, y/o el tamaño medio de las burbujas una vez que han alcanzado la parte 180 superior. De nuevo, se puede apreciar que las burbujas generadas por la bomba de aire AP pueden tener un tamaño similar a las burbujas generadas por el electrodo 140 de carga. Además, en varios modos de realización, se pueden desprender diversos tamaños de burbujas del electrodo 140 de carga y/o de la bomba de aire AP durante el funcionamiento de la celda 100.

En varios modos de realización, la fuerza de elevación de las burbujas generadas en el electrodo 140 de carga a medida que ascienden hasta la parte 180 superior de la celda 100 puede diferir dependiendo de la separación h del electrodo 150 de reducción de oxidante y el electrodo 130 de combustible del electrodo 140 de descarga. En un modo de realización, la separación h puede ser lo suficientemente pequeña como para que la emisión de burbujas de oxígeno desde el electrodo de carga fluya en general hacia arriba hacia la parte 180 superior, dominando cualquier flujo hacia fuera desde el electrodo 140 de carga. En algunos de dichos modos de realización, el flujo ascendente de las burbujas en el medio iónicamente conductor puede en general asemejarse al flujo de Poiseuille bajo la influencia de una fuerza corporal que varía espacialmente suministrada por la flotación. Tal y como se muestra en la figura 12, se puede apreciar que las burbujas de oxígeno pueden desprenderse a ambos lados del electrodo 140 de carga, y como tales, los flujos de burbuja pueden estar entre el electrodo 140 de carga y el electrodo 150 de reducción de oxidante por un lado, y entre el electrodo 140 de carga y el electrodo 130 de combustible por otro lado.

Se entiende que el perfil de velocidad del flujo de Poiseuille en general se corresponde a la fórmula:

$$v_p(y) = \frac{h^2}{2\mu} \left[\left(\frac{y}{h} \right)^2 - \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right] B_F(y), \quad (4)$$

donde $B_F(y)$ es la fuerza corporal (en N/m^3), y h es la anchura de canal (es decir, la separación h entre cada electrodo 150 de reducción de oxidante y el electrodo 130 de combustible del electrodo 140 de carga). El caudal Q_L volumétrico total del líquido iónicamente conductor en la ubicación y (en m^2/s , debido al cálculo en 2D de profundidad unitaria es:

$$Q_L(y) = \frac{h^3}{12\mu} B_F(y) \quad (5)$$

Debido a que la fuerza de flotación en un volumen V_d de oxígeno gaseoso sumergido en un líquido corresponde a:

$$F_B = (\rho_L - \rho_{O_2}) g V_d, \quad (6)$$

la fuerza de flotación sobre un volumen V_c de controlado corresponde a:

$$\frac{F_B}{V_c} = (\rho_L - \rho_{O_2}) g \frac{V_d}{V_c} \quad (7)$$

- 10 Se puede apreciar que V_d/V_c se puede representar como el flujo volumétrico de O_2 dividido por el flujo de líquido que pasa a través de una superficie de y constante. Adicionalmente, la densidad de oxígeno gaseoso es despreciable con respecto a la del medio iónicamente conductor. Por consiguiente, la fuerza $B_F(y)$ corporal puede ser calculada como:

$$B_F(y) = g \rho_L \frac{Q_{O_2}(y)}{Q_L(y)} \quad (8)$$

- 15 Sustituyendo este cálculo de la fuerza $B_F(y)$ corporal en la computación del flujo volumétrico en la ecuación (5), el flujo volumétrico (cuadrado) del medio iónicamente conductor se puede resolver correspondiendo a:

$$Q_L(y)^2 = \frac{h^3}{12\mu} g \rho_L Q_{O_2}(y) \quad (9)$$

- 20 En algunos modos de realización de la celda 100, el electrodo 140 de carga puede producir oxígeno a una velocidad de aproximadamente $3,5 \text{ cm}^3/\text{min}/A$. Cuando se carga la celda 100 a 20A, la velocidad de producción de oxígeno puede ser aproximadamente $1,667 \text{ cm}^3/s$. En modos de realización en los que el electrodo 140 de carga tiene un tamaño de aproximadamente $20\text{cm} \times 20\text{cm}$, entonces aproximadamente $14,58 \text{ cm}^3/s/m^2$ de oxígeno se pueden producir en cada lado del electrodo 140 de carga, mirando hacia o bien el electrodo 130 de combustible o el electrodo 150 de reducción de oxidante. En un estado estable, la cantidad de oxígeno que pasa a través de una superficie de la constante y en un lado del electrodo 140 de carga es la suma del oxígeno que está siendo producido por el electrodo 150 de producción oxidante por debajo de esa superficie. Por consiguiente, el caudal volumétrico del oxígeno gaseoso se puede calcular (de nuevo en unidades de m^2/s para tener en cuenta el cálculo como profundidad unitaria) como:

$$Q_{O_2}(y) = 14,58 E^{-6} \cdot y \quad (10)$$

- 30 Sustituyendo este caudal del cálculo de oxígeno gaseoso en el flujo volumétrico cuadrado del medio iónicamente conductor que se encuentra en la ecuación (9), el caudal del medio iónicamente conductor se puede computar como:

$$Q_L(y) = 1,102 E^{-3} \sqrt{\frac{h^3 \rho_L g y}{\mu}} \quad (11)$$

Una velocidad de canal promedio puede por tanto calcularse dividiendo la anchura h de canal, como:

$$v_y(y) = 1,102 E^{-3} \sqrt{\frac{h \rho_L g y}{\mu}} \quad (12)$$

- 35 Adicionalmente, la fuerza de elevación de flotación se puede calcular utilizando el caudal volumétrico del medio iónicamente conductor calculado en la ecuación (11), y la computación de la ecuación (5) anterior, como:

$$B_F(y) = 1,323 E^{-2} \sqrt{\frac{\mu \rho_L g y}{h^3}} \quad (13)$$

Se puede apreciar que los cálculos proporcionados en el presente documento son representaciones generales, y no tienen en cuenta diversos efectos, tales como pero no limitados a, efectos marginales en 3D, interferencia de burbujas con el electrodo 140 de carga (es decir, donde el electrodo 140 de carga es una malla de metal), asimetría de la formación de burbujas, influencia de flujo desde el exterior del canal, etcétera. En algunos de dichos casos, la fuerza $B_F(y)$ de elevación de flotación para el modo de realización teórico de la celda 100, que está cargada a 20A con un electrodo 140 de carga de 20cm x 20cm, se puede expresar mediante el factor F_f de forma (es decir, un factor de corrección) como:

$$B_F(y) = F_f \cdot 1.323E^{-2} \sqrt{\frac{\mu_0 \cdot g y}{h^2}}, \quad (14)$$

donde el factor F_f de forma puede ser calibrado comparando datos simulados con modelos experimentales o celdas de producción. El factor F_f de forma puede también ser considerado como un "factor compensatorio" que ajusta las no idealidades del sistema. Debería apreciarse adicionalmente que aunque la descripción anterior es para un caso de ejemplo, se mantienen en general los mismos principios para diferentes corrientes y en diferentes tamaños de celda también. Se puede apreciar que las separaciones entre los electrodos (es decir, el valor de la anchura h de canal) puede variar dependiendo del tamaño de la celda 100. Por ejemplo, en algunos modos de realización, una relación de altura de electrodo con respecto a la anchura h de canal podría variar desde aproximadamente entre 500:1 a 20:1. En un modo de realización más particular, la relación puede variar desde aproximadamente entre 200:1 a 40:1.

Tal y como se indicó anteriormente, la construcción y configuración de la celda 100 para crear el flujo convectivo puede variar a través de modos de realización, y puede, por ejemplo, determinar el ángulo al cual está configurado el flujo para atravesar el electrodo 130 de combustible. Se puede apreciar en algunos modos de realización, que la separación entre elementos de la celda 100 puede además conectar al flujo convectivo en la misma. Por ejemplo, mostrada en la figura 13A y la figura 13B hay una vista en sección trasversal de un modo de realización de la celda 100a, representado en mayor detalle que la vista esquemática de la figura 3. Adicionalmente, se presentan medidas del tamaño de un modo de realización no limitativo de la celda 100a. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado de la celda 100a, la anchura del área 210 de desgasificación, definida entre el lado 190 y la porción 230 alargada del deflector 220 de convección, es aproximadamente 0,032 m (1,25"). Tal y como se muestra, en algunos modos de realización el medio iónicamente conductor en la celda 100a puede que no alcance la parte 180 superior de la carcasa 110a de la celda. En algunos de dichos modos de realización, puede existir un espacio de aire entre el medio iónicamente conductor y la parte 180 superior (es decir, desde la cual se pueden ventilar las burbujas de oxígeno hacia el exterior de la celda 100a). En el modo de realización ilustrado, la distancia entre el módulo 160 de electrodo de reducción de oxidante y la parte superior del nivel de medio iónicamente conductor es aproximadamente 0,039 m (1,54"). Una vez que el flujo convectivo del medio iónicamente conductor alcanza la parte 240 inferior de la celda, puede pasar a través de la abertura entre la porción 250 inferior del deflector 220 de convección y la parte 240 inferior de la carcasa 110a de la celda, que en el modo de realización ilustrado es de 0,020 m (0,78") de altura, y de 0,032 m (1,25") de longitud. Después de que el flujo pase más allá de la porción 250 inferior del deflector 220 de convección, puede ascender hacia arriba en el área 265 de pre-electrodo definida entre el lado 260 y la parte posterior del electrodo 130 de combustible. Tal y como se muestra, el área 265 de pre-electrodo del modo de realización ilustrado de la celda 100a es aproximadamente de 0,033 m (1,29") de ancho. Una vez en el área 265 de pre-electrodo, el medio iónicamente conductor es entonces libre de fluir a través de los cuerpos 130a-e de electrodo permeables del electrodo 130 de combustible, completando el circuito convectivo, y de nuevo ascendiendo con las burbujas generadas en el electrodo 140 de carga.

Se puede apreciar que la velocidad del medio iónicamente conductor que se está moviendo por las burbujas puede ser la más grande adyacente al electrodo 140 de carga. En el modo de realización ilustrado, esta área adyacente del electrodo 140 de carga puede ser definida por canales 360 formados en lados opuestos del electrodo 140 de carga. De forma específica, un canal 360a puede estar caracterizado como el área entre el electrodo 140 de carga y el electrodo 150 de reducción de oxidante, mientras que el canal 360b puede estar caracterizado como el área entre el electrodo 140 de carga y el electrodo 130 de combustible. En algunos modos de realización, la velocidad del medio iónicamente conductor en el canal 360a puede ser diferente de la velocidad del canal 360b, tal como cuando hay una anchura h de canal diferente asociada a cada uno de los canales 360.

Tal y como se describió anteriormente, el factor F_f de forma puede ser derivado experimentalmente basándose en las particularidades de la carcasa 110 de celda y los deflectores y otras paredes contenidas en la misma. En un modo de realización, la velocidad del medio iónicamente conductor por debajo del área 210 de desgasificación en el circuito de conversión de la celda 100a en las figuras 13A y 13B se puede medir (es decir, a través del uso de un tinte de coloración) como aproximadamente 1,333 mm/s (es decir, una distancia de 24 cm en 3 minutos), basándose en los cálculos anteriores, sin embargo, la velocidad computada a través de la misma región de la celda 100a podría ser en general 2,210 mm/s. Por consiguiente, se puede calcular que para la celda 100a de las figuras 13A y 13B, puede obtenerse la velocidad observada de 1,333 mm/s donde el factor F_f de forma es aproximadamente 0,63. Aunque el factor F_f de forma puede variar dependiendo del diseño de la celda 100, debería apreciarse que en modos de realización preferidos la celda 100 puede diseñarse de tal manera que el factor F_f de forma esté entre

aproximadamente 0,5 y 0,8. Se puede apreciar que sí el factor F_r de forma amortigua el flujo, una amortiguación de menos de un 50% puede mantener una transferencia de momento eficiente.

En varios modos de realización, las modificaciones de diseño de la celda 100 pueden facilitar un caudal convectivo mayor. En algunos modos de realización, puede ser preferible maximizar el caudal convectivo total mientras se minimiza una varianza de la velocidad de flujo a través del electrodo 130 del fluido. Por ejemplo, en varios modos de realización el caudal volumétrico a través del área 210 de desgasificación puede ser afectado por la ubicación de la pared 190 lateral. La figura 14 representa un diagrama que ilustra cómo la separación de las paredes que definen los canales de flujo para el flujo convectivo puede afectar al caudal volumétrico. En particular, el diagrama de la figura 14 compara los huecos de pared variables, normalizados con los huecos de pared representados en el modo de realización de la figura 11, con caudales de volumen asociados. En el diagrama, la designación "detrás del cátodo" indica la separación entre la pared 190 lateral y la porción 230 alargada del deflector 220 de convección. La designación "detrás del ánodo" indica la separación entre el electrodo 130 de combustible en el lado 260. El "hueco inferior" designa la separación entre la porción 250 inferior y la parte 240 inferior. Finalmente, el "hueco superior" referido en el diagrama de la figura 14 representa la distancia entre cualquiera o ambas de las partes superiores de la porción 230 alargada y del módulo 160 de electrodo de reducción de oxidante, y la parte superior del medio iónicamente conductor en la celda 100a, con lo que la superficie superior del medio iónicamente conductor se puede tratar como una pared libre de deslizamiento. Tal y como se muestra en el diagrama, la mayor varianza del caudal volumétrico se encuentra con la modificación del tamaño de la separación "detrás del cátodo". El caudal volumétrico para cada una de las regiones, sin embargo, comienza a estabilizarse a aproximadamente $10 \text{ cm}^3/\text{s}$ con un hueco de pared normalizado de aproximadamente 0,5. Por consiguiente, para mantener un caudal tanto todavía uniforme como generalmente mayor, en algunos modos de realización la distancia entre los cuerpos de la celda 100 puede ser aproximadamente mayor de 2 cm.

Los diagramas representados en las figuras 15A-B ilustran cómo se sitúa el OEE (es decir, el electrodo 140 de carga) con respecto al electrodo 130 de combustible y el electrodo 150 de reducción de oxidante también puede afectar al caudal volumétrico dentro de la celda 100. Por ejemplo, mostrada en la figura 15A hay una varianza del caudal volumétrico tanto en la región "detrás del cátodo" como a través del electrodo 130 de combustible, basándose en el ascenso del electrodo 140 de carga a diferentes alturas por encima de la posición de la línea de base (es decir, la representada en el modo de realización de la celda 100a en la figura 13A). Tal y como se muestra, cuanto más alto está el electrodo 140 de carga con respecto al electrodo 130 de combustible y al electrodo 150 de reducción de oxidante, mayor es el caudal volumétrico. Se muestra que se desarrolla una estabilización, sin embargo, cuando el electrodo 140 de carga es ascendido más alto que aproximadamente 4 cm por encima de su posición en la celda 100a de línea de base representado en la figura 13A.

De forma similar, la figura 15B ilustra cómo el medio iónicamente conductor fluye a través de diferentes porciones del electrodo 130 de combustible con diferentes ubicaciones del electrodo 140 de carga. Tal y como se muestra, para la celda 100a de línea de base, el caudal es el más grande en la parte inferior del electrodo 130 de combustible, sin embargo se ralentiza en la parte superior del electrodo 130 de combustible. Ascendiendo el electrodo 140 de carga hacia arriba con respecto al electrodo 130 de combustible, la velocidad de flujo en la parte inferior del electrodo 130 de combustible disminuye, mientras que la velocidad de flujo en la parte superior del electrodo 130 de combustible aumenta. Por encima de la localización y en el electrodo 130 de combustible de aproximadamente 0,08 m se puede apreciar un beneficio de elevar el electrodo 140 de carga con respecto al electrodo 130 de combustible, ya que una recirculación en la parte superior del electrodo 130 de combustible aumenta el caudal a través de esas áreas. Tal y como se aprecia también en la figura 15B, ascendiendo el electrodo 140 de carga con respecto al electrodo 130 de combustible puede normalizarse la disparidad del caudal entre la parte superior y la parte inferior del electrodo 130 de combustible. Por consiguiente, se puede lograr una cantidad general de uniformidad del caudal a través de toda la altura del electrodo 130 de combustible (es decir, a través de todas las ubicaciones y del electrodo 130 de combustible), cuando el electrodo 140 de carga es ascendido aproximadamente 4 cm por encima de la posición de línea de base representada en la figura 13A, con respecto al electrodo 130 de combustible.

Se puede apreciar que el desfase del electrodo 140 de carga con respecto al electrodo 130 de combustible puede variar a través de los modos de realización, y los ejemplos mostrados en los diagramas de las figuras 15A y 15B son meramente a modo de ejemplo basándose en el modo de realización de la celda 100a representada en la figura 13A. Del mismo modo, se aprecia que la cantidad de desfase, si la hubiera, puede también afectar al campo eléctrico de la celda 100, lo cual puede afectar al crecimiento de combustible y al consumo durante la carga y descarga de la celda 100. Por consiguiente, en algunos modos de realización, un desfase del electrodo 140 de carga por encima del electrodo 130 de combustible se puede ubicar para tener en cuenta tanto consideraciones de caudal como del campo eléctrico.

Se puede apreciar que otras modificaciones en la celda 100 pueden afectar al caudal del ciclo de conversión (es decir, en comparación con el modo de realización de línea de base representada en la figura 13A). Por ejemplo, en un modo de realización, retirando la porción 250 inferior (es decir, similar al modo de realización de la celda 100d de la figura 6) se puede reducir tanto el caudal volumétrico a través del electrodo 130 de combustible, como la uniformidad del flujo a través del electrodo 130 de combustible, aproximadamente a la mitad. En un modo de realización, añadiendo una pared para bloquear la parte superior de los canales del electrodo 130 de combustible

- (tal como la pared 270 de ánodo) en combinación con una pared para evitar que el medio iónicamente conductor ascienda por encima del electrodo 130 de combustible en la región 265 de pre-electrodo (es decir, la segunda pared 267 de bloqueo), puede reducir ligeramente el caudal volumétrico en área 210 de desgasificación reduciendo o evitando la recirculación del medio iónicamente conductor en la región 265 de pre-electrodo. En otro modo de realización, se puede apreciar que utilizando el difusor 280 tal y como es mostrado en el modo de realización de la figura 6 se puede aumentar ligeramente el caudal volumétrico en el área 210 de desgasificación y a través del electrodo 130 de combustible, mientras que sólo se reduce ligeramente la varianza de las velocidades de flujo a través de diferentes porciones del electrodo 130 de combustible. En otro modo de realización más, el bloqueo de la parte superior del electrodo 130 de combustible (es decir, con la pared 270 de ánodo) mientras se retira la pared que evita la recirculación (tal como la segunda pared 267 de bloqueo), tal y como se representa en el modo de realización de la celda 100b en la figura 5, puede en general reducir el caudal volumétrico en el área 210 de desgasificación y a través del electrodo 130 de combustible, y la varianza de velocidad del fluido, a aproximadamente la mitad. En un modo de realización adicional más, el bloqueo de la parte superior del electrodo 130 de combustible (es decir, con la pared 270 de ánodo), bloqueando el medio iónicamente conductor para dirigir el flujo (es decir, con la pared 200 de bloqueo), pero no bloqueando la parte inferior del electrodo 130 de combustible (es decir, omitiendo la porción 250 inferior), se puede doblar en general el caudal volumétrico a través del área 210 de desgasificación, e incrementar aproximadamente la mitad el caudal volumétrico a través del electrodo 130 de combustible, pero se puede reducir la varianza del flujo a través de las pantallas del electrodo 130 de combustible más de aproximadamente un orden de magnitud.
- Los modos de realización ilustrados anteriormente han sido proporcionados únicamente para la ilustración de principios estructurales y funcionales de la presente invención y no están destinados a ser limitativos. Por ejemplo, la presente invención se puede llevar a la práctica utilizando diferentes combustibles, diferentes oxidadores, diferentes electrolitos, y/o diferentes configuraciones o materiales estructurales generales. Por tanto, la presente invención está destinada a englobar todas las modificaciones, sustituciones, alteraciones y equivalentes dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones anexas.

REIVINDICACIONES

1. Una celda electroquímica que comprende:

un electrodo (130) de combustible permeable configurado para soportar un combustible metálico en el mismo;

un electrodo (150) de reducción de oxidante separado del electrodo (130) de combustible;

5 un medio iónicamente conductor líquido para conducir iones entre el combustible y los electrodos de reducción de oxidante para soportar reacciones electroquímicas en los electrodos de combustible y de reducción de oxidante;

un electrodo (140) de carga seleccionado del grupo que consiste en (a) el electrodo de reducción de oxidante, (b), un electrodo de carga separado distanciado del electrodo de combustible permeable y del electrodo de reducción de oxidante, y (c) una porción del electrodo de combustible permeable;

10 un generador de flujo de burbujas de gas seleccionado del grupo que consiste en (a) el electrodo de carga, y (b) un rociador separado del electrodo de carga, el generador de flujo de burbujas de gas que está configurado para desprender burbujas de oxígeno gaseoso que generan un flujo del medio iónicamente conductor líquido durante una operación de carga; y

15 una o más superficies de desviación de flujo configuradas para establecer, cuando la celda electroquímica está situada de tal manera que el electrodo de reducción de oxidante está en una orientación vertical, un trayecto de circulación de circuito cerrado dentro de la celda electroquímica que dirige el flujo del medio iónicamente conductor líquido al menos parcialmente a través del electrodo de combustible permeable;

20 en donde el electrodo de combustible y el electrodo de reducción de oxidante están configurados para, durante la descarga, oxidar el combustible metálico en el electrodo de combustible y reducir un oxidante en el electrodo de reducción de oxidante para generar una diferencia de potencial de descarga entre ellos para la aplicación a una carga y generar un subproducto de metal oxidado precipitado o solvatado en el medio iónicamente conductor líquido con él, y

25 en donde el electrodo de combustible y el electrodo de carga están configurados para, durante la recarga, reducir una especie reducible de combustible metálico para electrodepositar el combustible metálico en el electrodo de combustible y oxidar la especie oxidable de oxidante por la aplicación de una diferencia de potencial de recarga entre los mismos desde una fuente de alimentación.

2. La celda electroquímica de la reivindicación 1, que además comprende un área (210) de desgasificación configurada para permitir a las burbujas de oxígeno gaseoso separarse del medio iónicamente conductor líquido en el flujo del medio iónicamente conductor líquido.

30 3. La celda electroquímica de la reivindicación 1, en donde el electrodo de reducción de oxidante es sumergido en el medio iónicamente conductor líquido con un espacio (170) de aire asociado con el mismo para proporcionar un oxidante gaseoso al mismo, en donde la una o más superficies de desviación de flujo incluyen una superficie de desviación de flujo configurada para dirigir el flujo del medio iónicamente conductor líquido hacia arriba desde el electrodo de combustible permeable y lateralmente sobre la parte superior del electrodo de reducción de oxidante y el espacio de aire, hasta un lado del mismo opuesto al electrodo de combustible.

4. La celda electroquímica de la reivindicación 3, en donde el electrodo de reducción de oxidante es montado en un módulo (160) de electrodo de reducción de oxidante configurado para mantener el espacio de aire en el mismo, y donde el módulo de electrodo de reducción de oxidante limita al menos una porción del área de desgasificación en el lado del mismo opuesto al electrodo de combustible.

40 5. La celda electroquímica de la reivindicación 2, en donde la una o más superficies de desviación de flujo comprenden una superficie de desviación de flujo configurada para dirigir el flujo del medio iónicamente conductor líquido desde el área de desgasificación a una región del electrodo de combustible distal al electrodo de reducción de oxidante y al electrodo de carga, y la una o más superficies de desviación de flujo comprenden un difusor (280) para dirigir el flujo del medio iónicamente conductor líquido generalmente de forma perpendicular a una cara del electrodo de combustible.

6. La celda electroquímica de la reivindicación 1, en donde el electrodo de combustible comprende una serie de cuerpos (130a-e) de electrodo permeables dispuestos en una relación espaciada separada.

7. La celda electroquímica de la reivindicación 1, en donde:

50 (a), la celda electroquímica además comprende un área (210) de desgasificación configurada para permitir a burbujas de oxígeno gaseoso separarse del medio iónicamente conductor líquido en el flujo del medio iónicamente conductor líquido, y la una o más superficies de desviación de flujo comprenden una superficie de desviación de flujo configurada para dirigir el flujo del medio iónicamente conductor líquido desde el área de desgasificación hasta una región del electrodo de combustible distal al electrodo de reducción de oxidante y al electrodo de carga útil, o

- (b) el electrodo de combustible comprende una serie de cuerpos (130a-e) de electrodo permeables dispuestos en una relación espaciada separada, y una o más de las superficies de desviación de flujo comprende una superficie de desviación de flujo configurada para evitar al menos que una porción del flujo pase a través de menos de todas las series de cuerpos de electrodo permeables del electrodo de combustible; o
- 5 (c) el electrodo de combustible comprende una serie de cuerpos (130a-e) de electrodo permeables dispuestos en una relación espaciada separada, y una o más de las superficies de desviación de flujo comprende una superficie de desviación de flujo configurada para dirigir el flujo del medio iónicamente conductor líquido al menos parcialmente a través del electrodo de combustible permeable y configurada para dirigir el flujo generalmente paralelo y entre la serie de cuerpos de electrodo permeables; o
- 10 (d), la una o más superficies de desviación de flujo comprenden una superficie de desviación de flujo configurada para evitar que el flujo ascienda por encima de una parte superior del electrodo de combustible en un lado del electrodo de combustible distal del electrodo de carga.
8. La celda electroquímica de la reivindicación 1, en donde el generador de flujo de burbujas de gas comprende tanto el electrodo de carga como el rociador.
- 15 9. La celda electroquímica de la reivindicación 1, en donde el rociador comprende una bomba de aire (AP) configurada para emitir burbujas de gas en el medio iónicamente conductor líquido.
10. La celda electroquímica de la reivindicación 1, en donde el medio iónicamente conductor líquido comprende una solución de electrolito acuosa.
- 20 11. La celda electroquímica de la reivindicación 1, que además comprende un limitador del tamaño de burbuja en el medio iónicamente conductor líquido configurado para minimizar un tamaño de las burbujas generadas por el generador de burbujas.
- 25 12. La celda electroquímica de la reivindicación 1, que además comprende un segundo electrodo (150b) de reducción de oxidante separado del electrodo (150a) de reducción de oxidante opuesto, con el electrodo de combustible permeable que está situado entre el electrodo de reducción de oxidante y el segundo electrodo de reducción de oxidante.
- 30 13. La celda electroquímica de la reivindicación 12, en donde el electrodo de combustible permeable es un electrodo (130') de combustible común asociado con tanto el electrodo de reducción de oxidante como el segundo electrodo de reducción de oxidante, de manera que durante la descarga, el combustible metálico en el electrodo de combustible común se oxida mientras que se reduce el oxidante en cada uno de, el electrodo de reducción de oxidante y el segundo electrodo de reducción de oxidante.
14. La celda electroquímica de la reivindicación 12, en donde el electrodo de combustible permeable comprende un primer electrodo de combustible permeable asociado con un primer electrodo de reducción de oxidante, y un segundo electrodo de combustible permeable asociado con el segundo electrodo de reducción de oxidante.
- 35 15. La celda electroquímica de la reivindicación 12, en donde la una o más superficies de desviación de flujo están configuradas para establecer un par de trayectos de circulación que dirige los flujos del medio iónicamente conductor líquido alrededor de cada uno de, el electrodo de reducción de oxidante y el segundo electrodo de reducción de oxidante, antes de fluir al menos parcialmente a través del electrodo de combustible permeable.
16. La celda electroquímica de la reivindicación 1 o 15, en donde el generador de flujo de burbujas de gas es sólo el electrodo de carga.
- 40 17. La celda electroquímica de la reivindicación 1, en donde la especie reducible es el metal oxidado en el medio iónicamente conductor líquido.
- 45 18. Un método para fluir un medio iónicamente conductor líquido en una celda electroquímica, la celda electroquímica que comprende un electrodo (130) de combustible permeable configurado para soportar un combustible metálico en el mismo, un electrodo (150) de reducción de oxidante separado del electrodo de combustible, y un electrodo (140) de carga seleccionado del grupo que consiste en (a) el electrodo de reducción de oxidante, (b), un electrodo de carga separado distanciado de los electrodos de combustible y de reducción de oxidante, y (c) una porción del electrodo de combustible permeable, el electrodo de combustible, el electrodo de reducción de oxidante y el electrodo de carga cada uno que hace contacto con el medio iónicamente conductor líquido de manera que el medio iónicamente conductor líquido conduce iones entre los mismos, el método que
- 50 comprende:
- emitir burbujas gaseosas en el medio iónicamente conductor líquido para arrastrar el medio iónicamente conductor líquido hacia arriba debido a su flotación para generar un flujo cargando la celda electroquímica de manera que el electrodo de carga desprende burbujas de oxígeno gaseoso, en donde el electrodo de combustible y el electrodo de carga están configurado para reducir una especie reducible del combustible metálico a partir del medio iónicamente

conductor para electrodepositar el combustible metálico en el electrodo de combustible y así dar una especie oxidable del oxidante mediante la aplicación de una diferencia de potencial de recarga entre los mismos desde una fuente de alimentación; y

- 5 oxidar el combustible metálico en el electrodo de combustible y reducir un oxidante en el electrodo de reducción de oxidante mediante la descarga de la celda electroquímica para generar una diferencia de potencial de descarga entre los mismos para la aplicación de una carga y para generar un subproducto del metal oxidado precipitado o solvatado en el medio iónicamente conductor líquido;

- 10 en donde la celda electroquímica está situada de tal manera que el electrodo de reducción de oxidante está en una orientación vertical, una o más superficies de desviación de flujo en la celda electroquímica establecen un trayecto de circulación de circuito cerrado dentro de la celda electroquímica que dirige el flujo del medio iónicamente conductor líquido al menos parcialmente a través del electrodo de combustible permeable.

- 15 19. El método de la reivindicación 18, en donde el trayecto de circulación del circuito cerrado es establecido mediante una o más de las superficies de desviación de flujo para desviar el flujo del medio iónicamente conductor líquido hacia arriba desde el electrodo de combustible permeable y lateralmente sobre una parte superior del electrodo de reducción de oxidante a un lado del mismo opuesto al electrodo de combustible.

20. El método de la reivindicación 18, en donde dicha emisión de burbujas gaseosas comprende utilizar un rociador para introducir burbujas de gas en la celda electroquímica.

- 20 21. El método de la reivindicación 18, en donde la celda electroquímica además comprende un segundo electrodo (150b) de reducción de oxidante separado de y opuesto al electrodo (150a) de reducción de oxidante, con los electrodos de combustible permeables estando situados entre el electrodo de reducción de oxidante y el segundo electrodo de reducción de oxidante,

en donde la una o más superficies de desviación de flujo establecen un par de trayectos de circulación para dirigir el flujo alrededor de cada uno de, el electrodo de reducción de oxidante y el segundo electrodo de reducción de oxidante, antes de fluir al menos parcialmente a través del electrodo de combustible permeable.

25

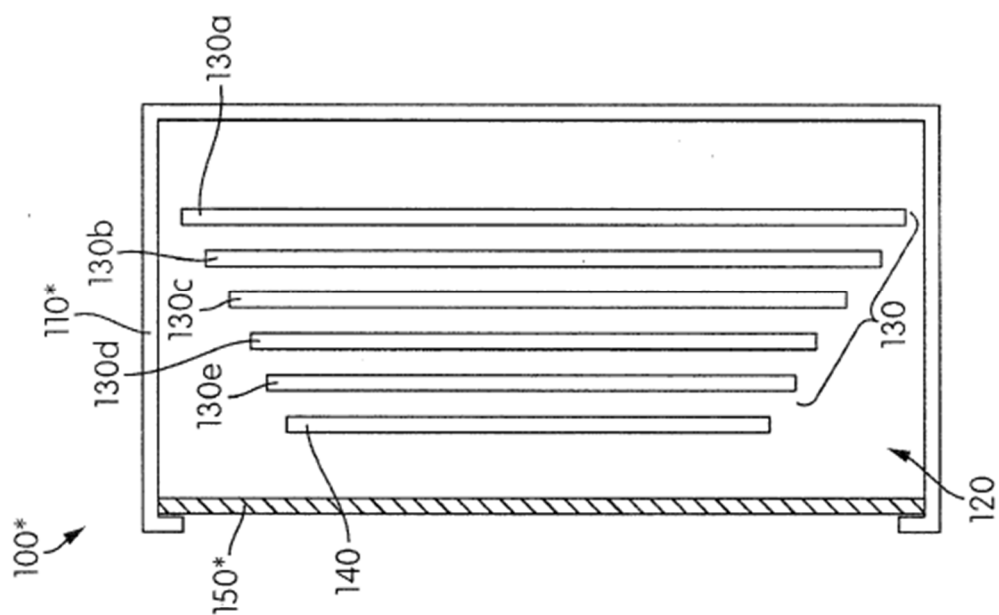


FIG. 2

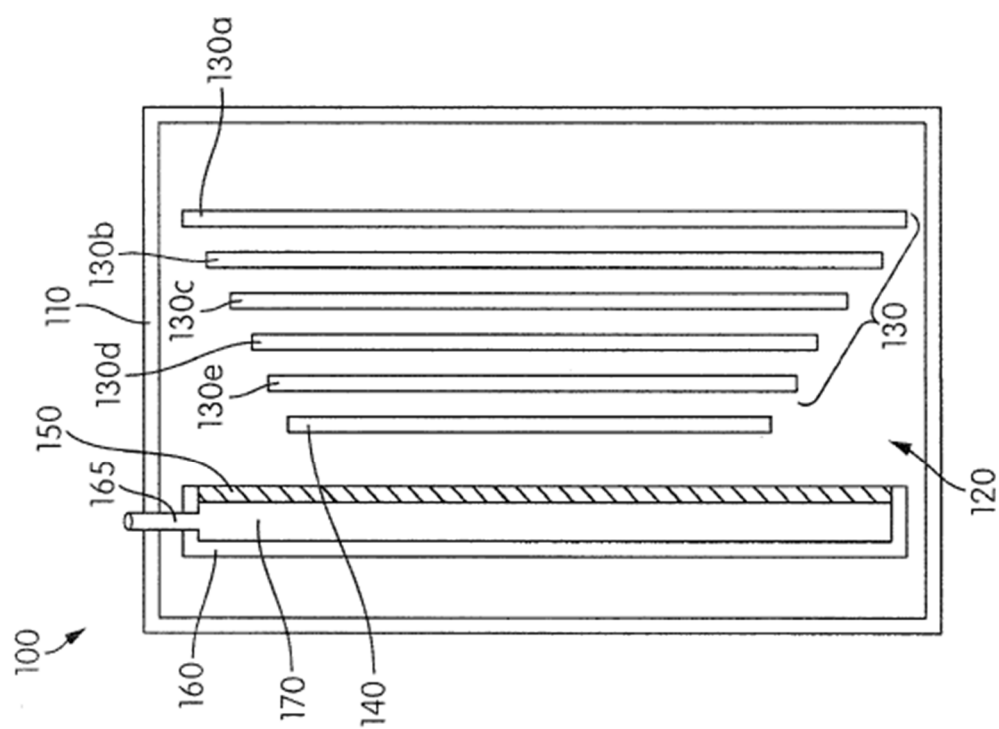


FIG. 1

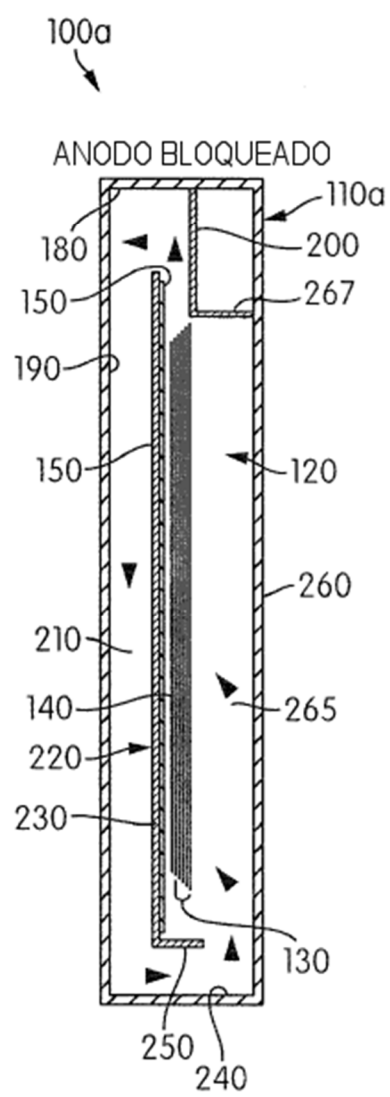


FIG. 3

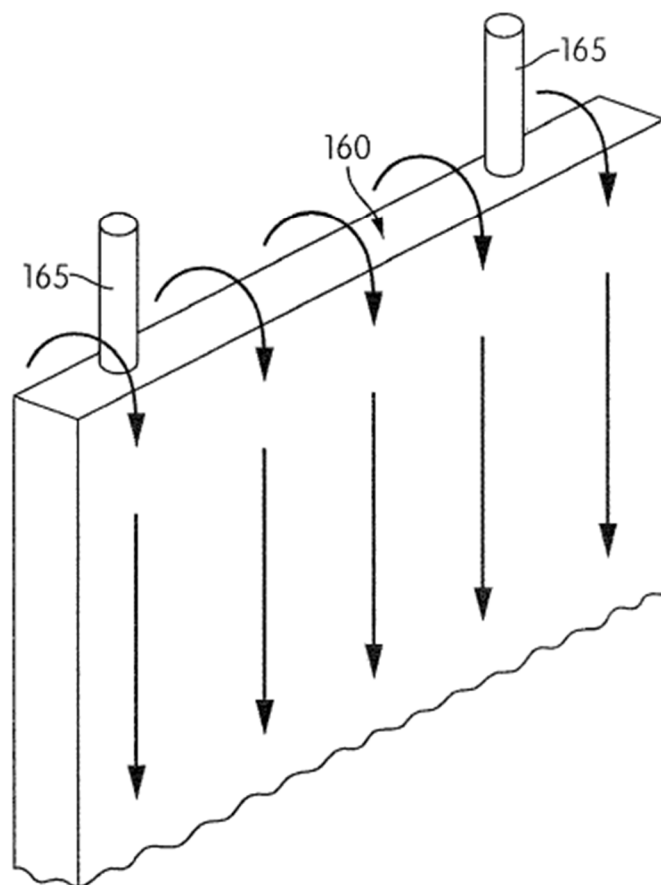


FIG. 4

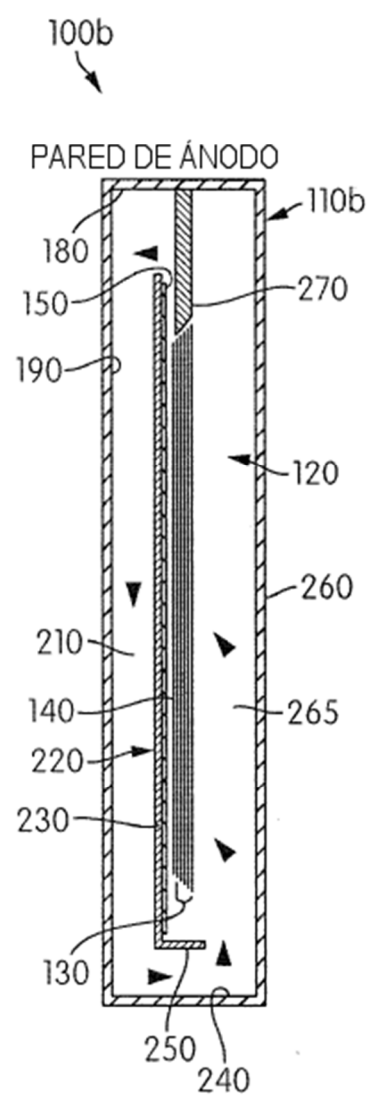


FIG. 5

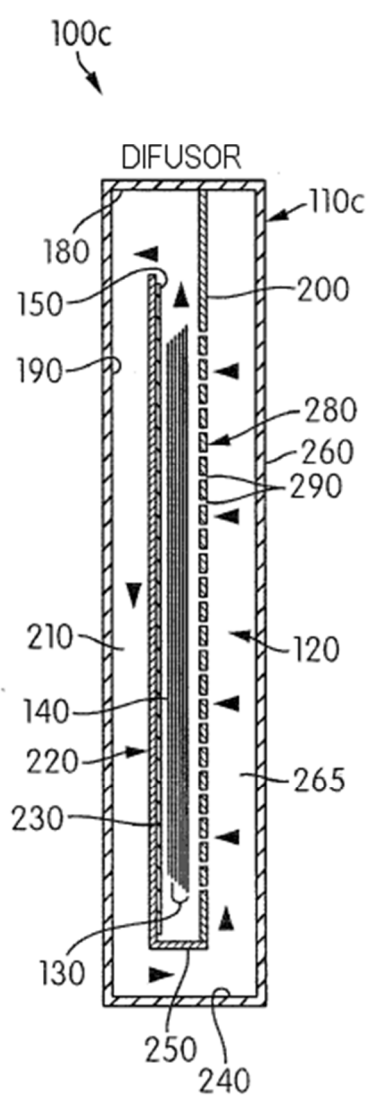


FIG. 6

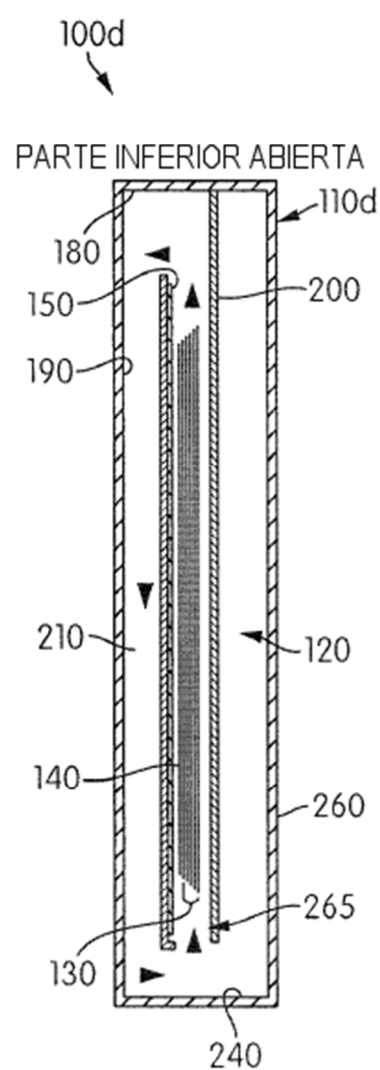


FIG. 7

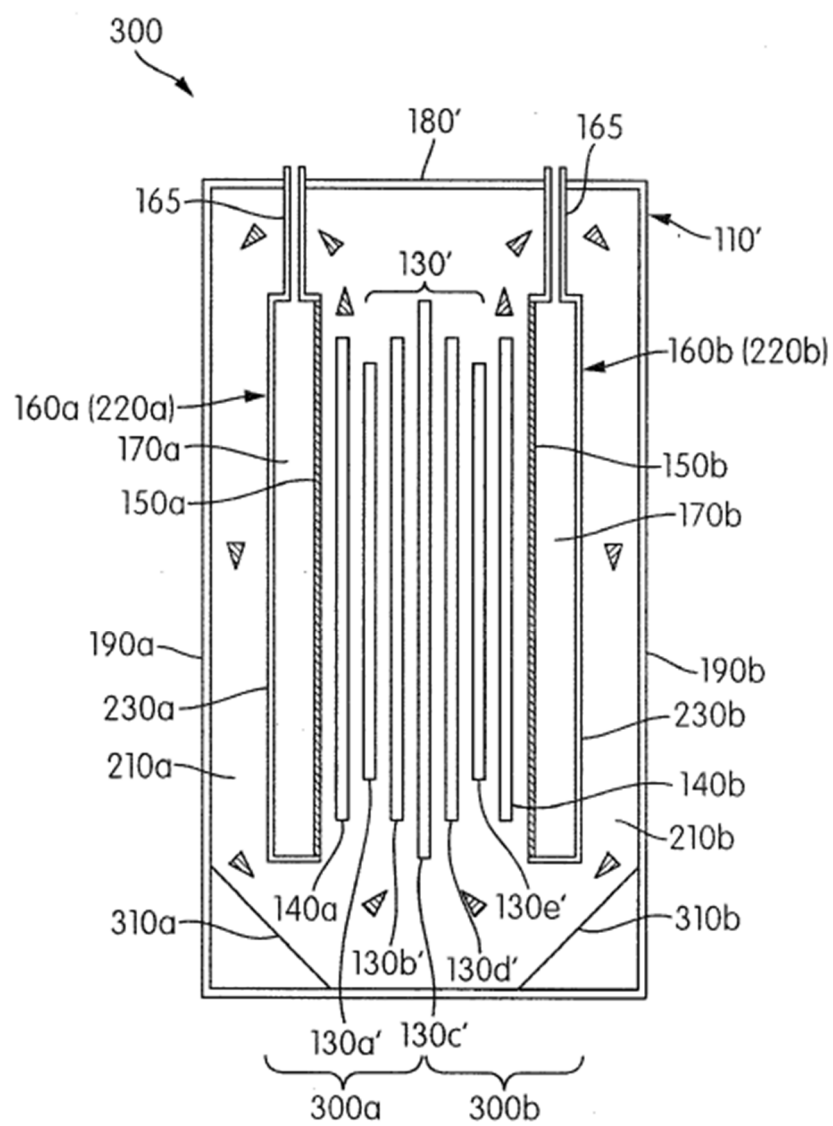


FIG. 8

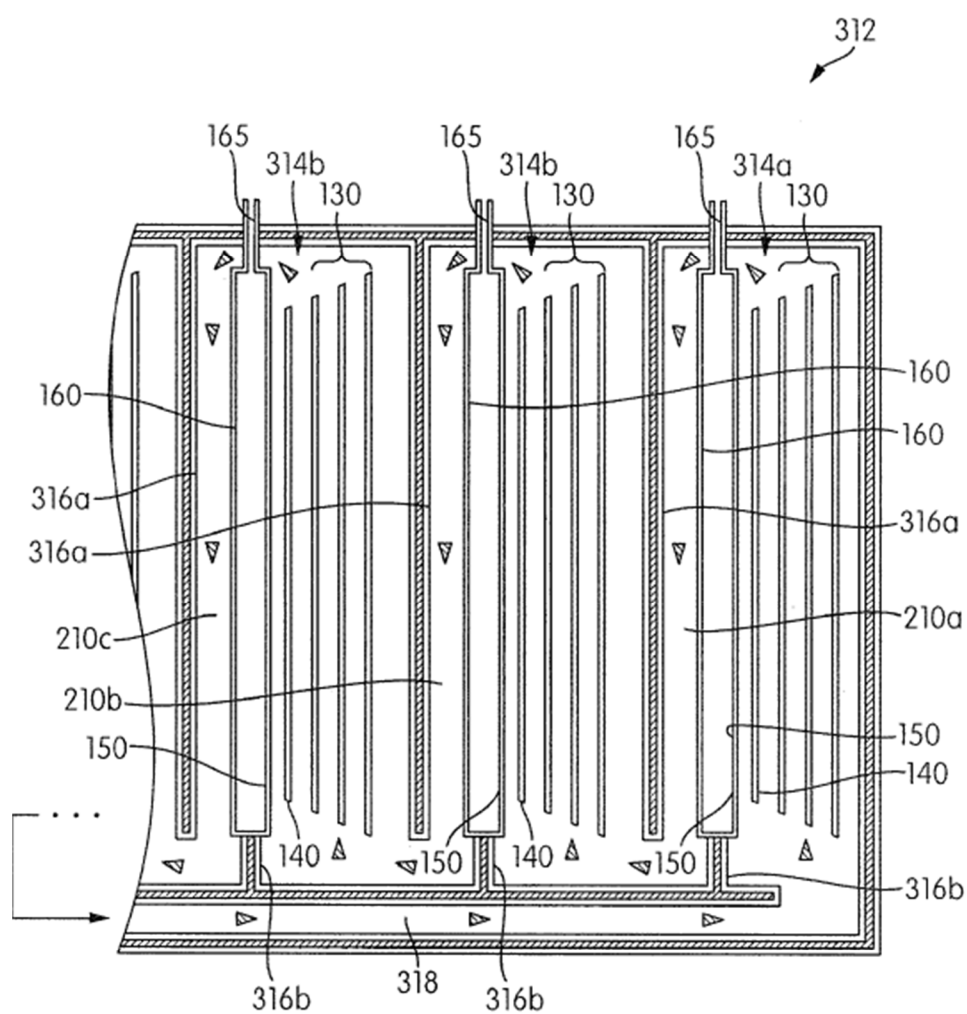


FIG. 9

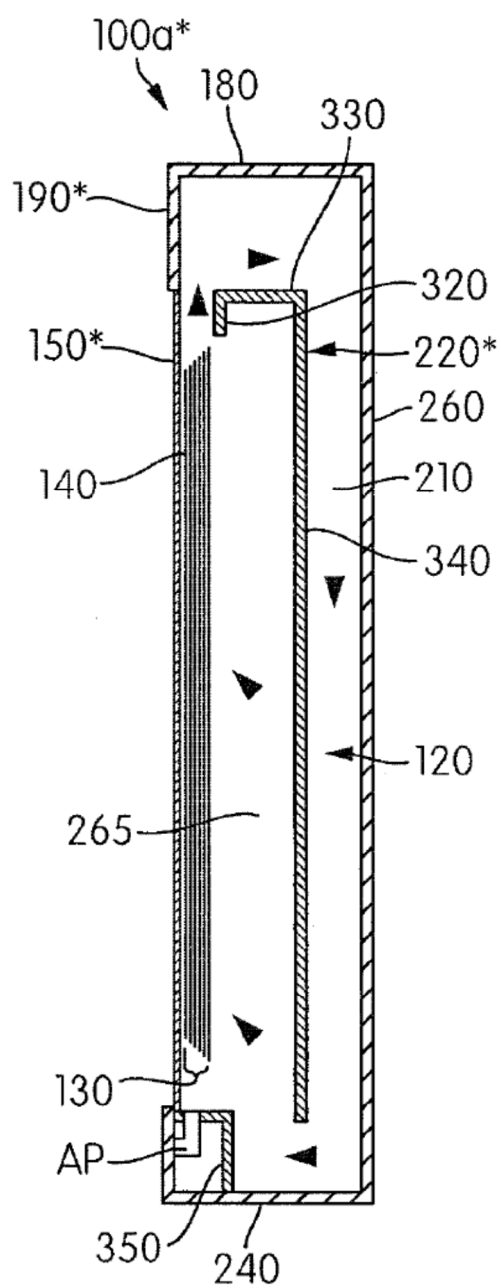


FIG. 10

d	rel-U (m/s)
1E-06 m (1 micrones)	2.04E-07
1E-05 m (10 micrones)	2.00E-05
1E-04 m (100 micrones)	1.99E-03
1 mm	3.47E-02
10 mm	1.20E-01
100 mm	3.81E-01

Velocidad relativa entre burbujas y medio iónicamente conductor frente a diámetro de burbuja

FIG. 11

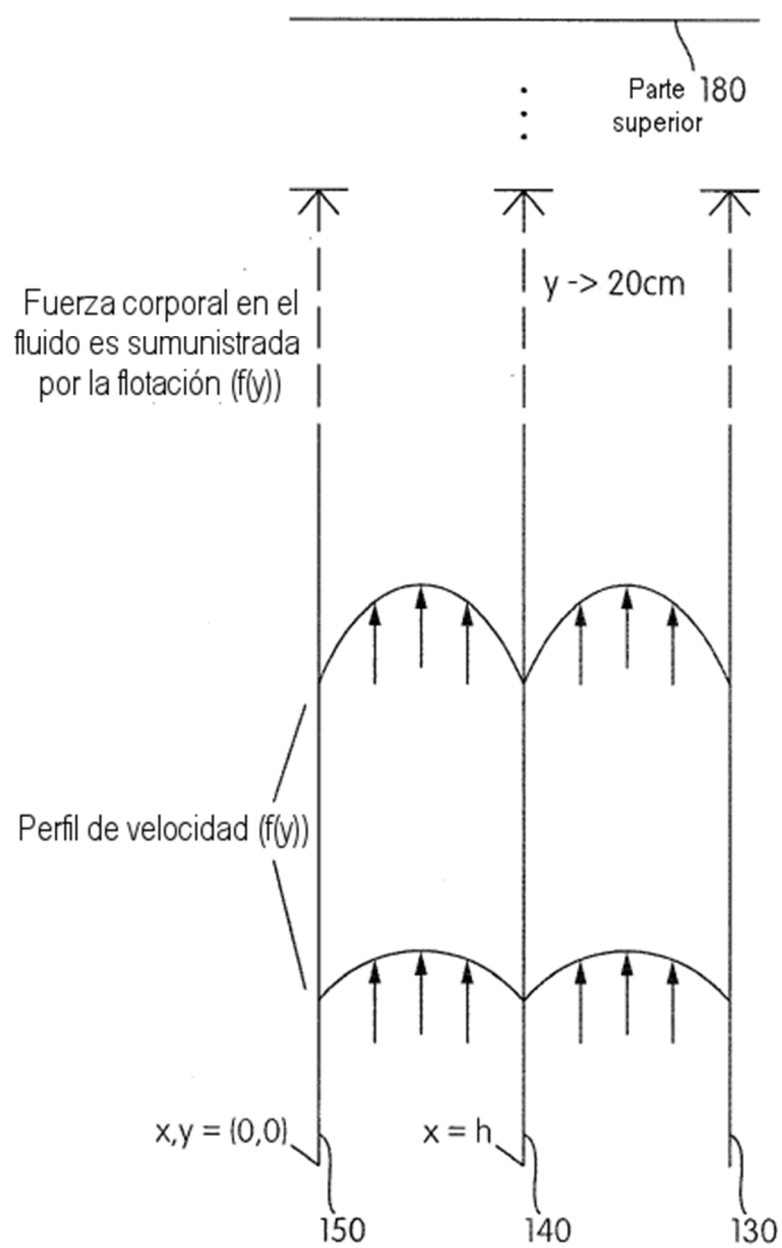


FIG. 12

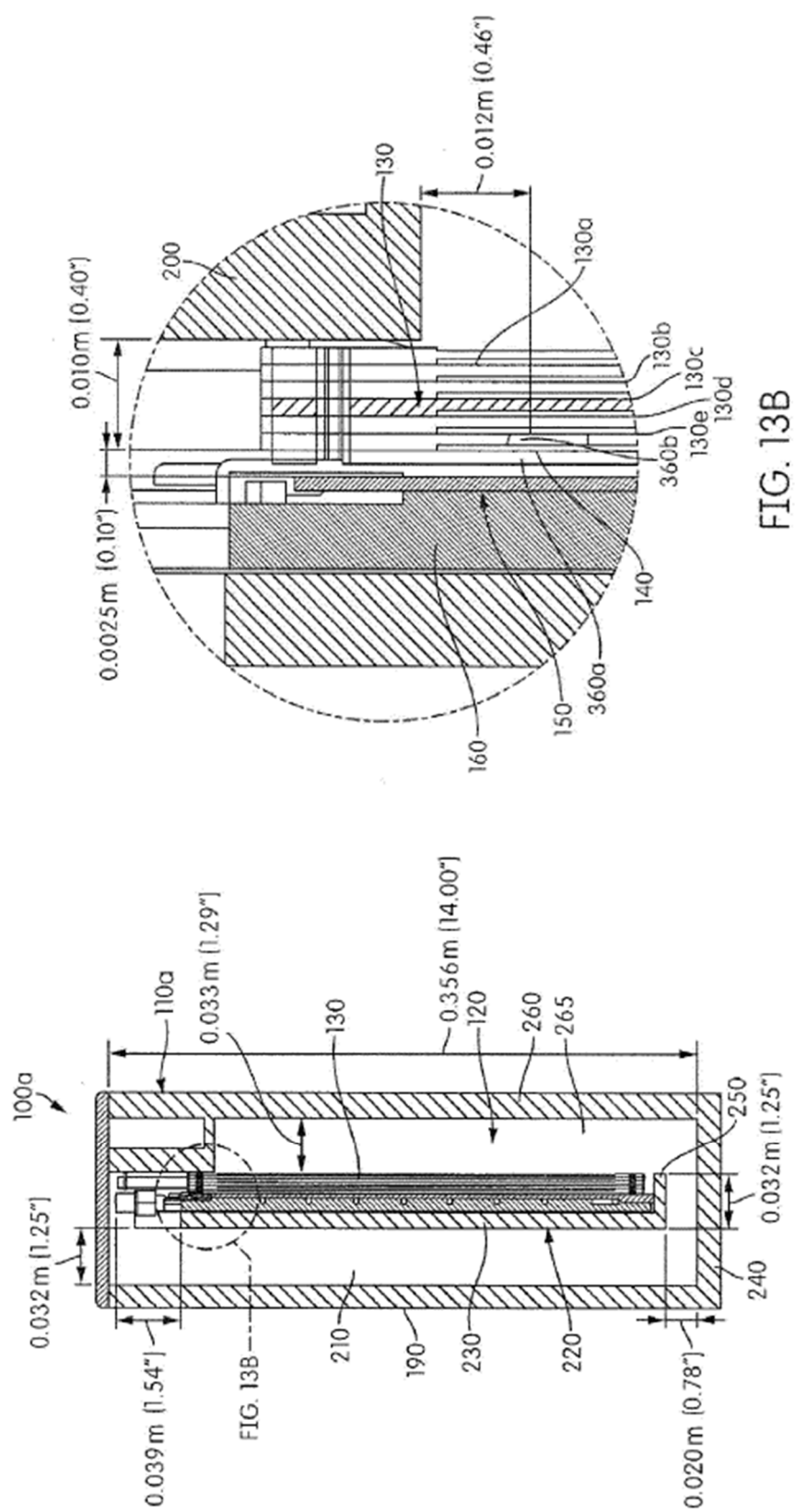


FIG. 13A

FIG. 13B

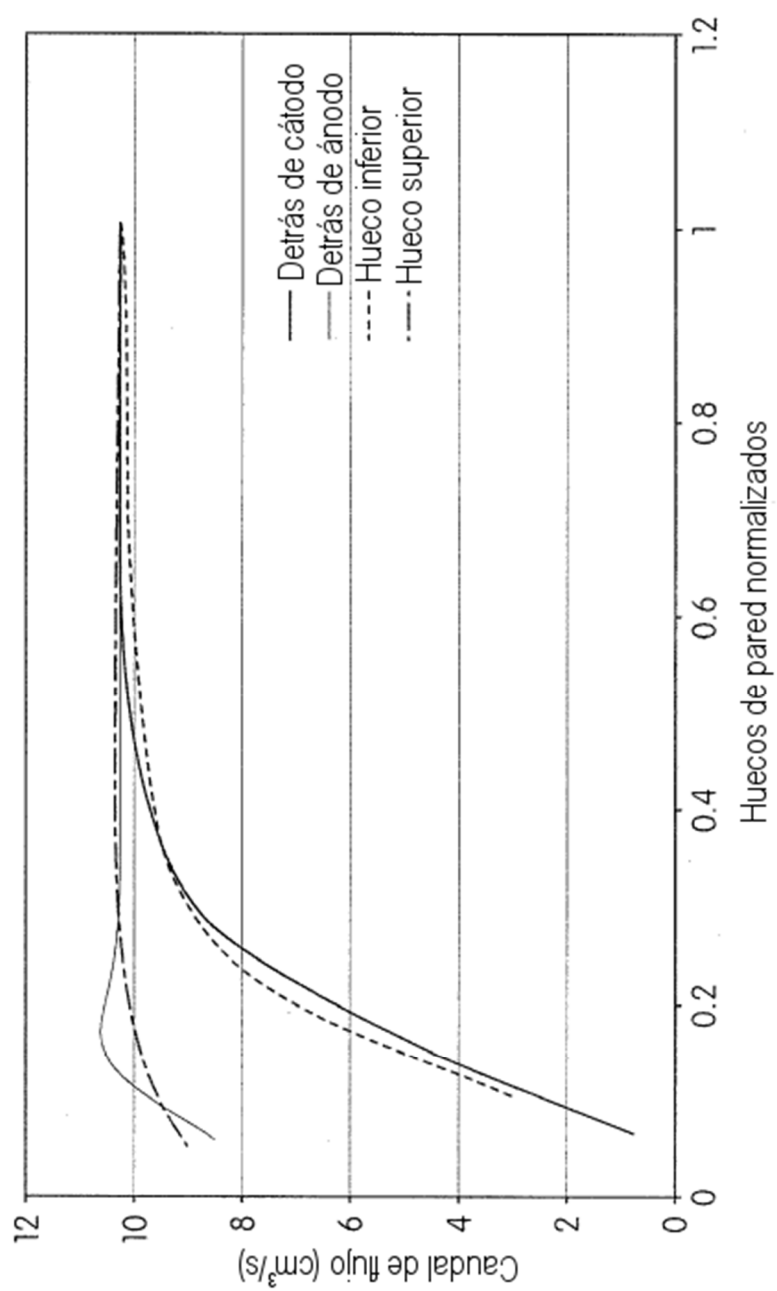


FIG. 14

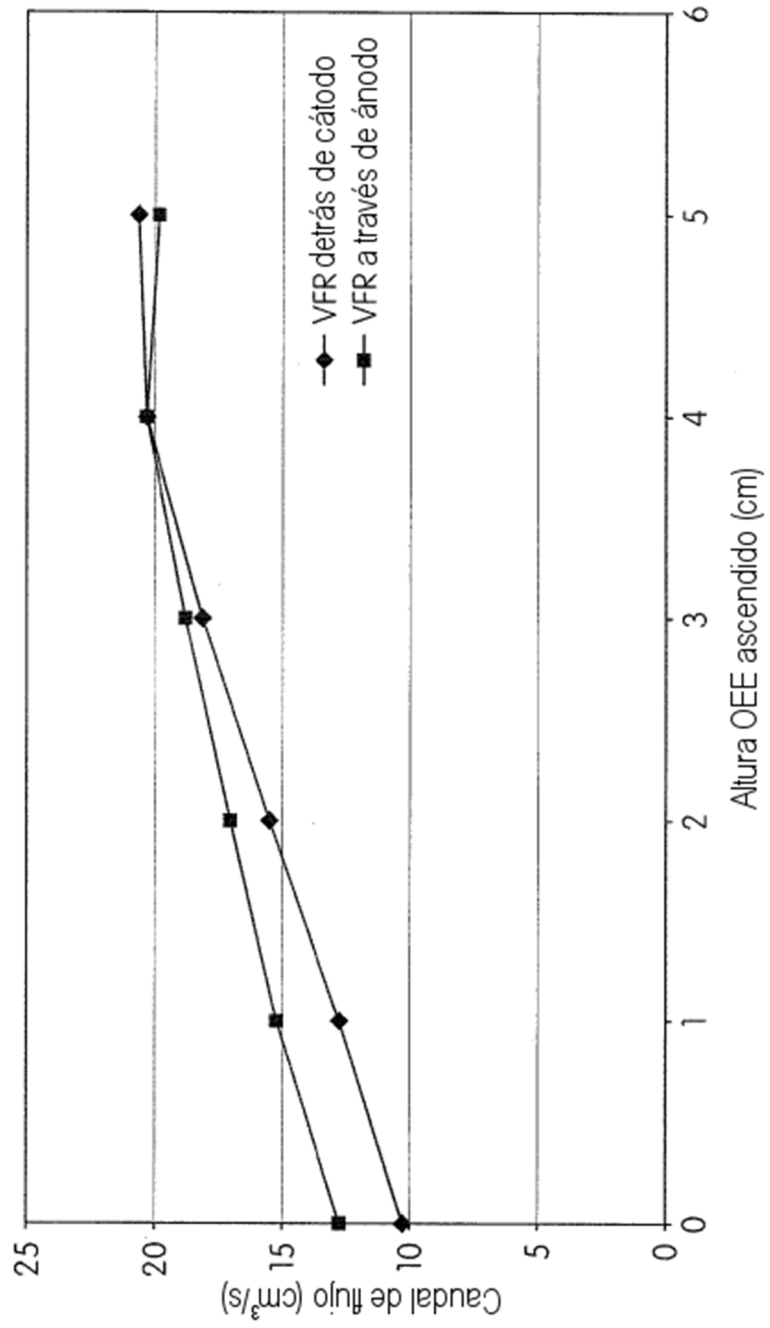
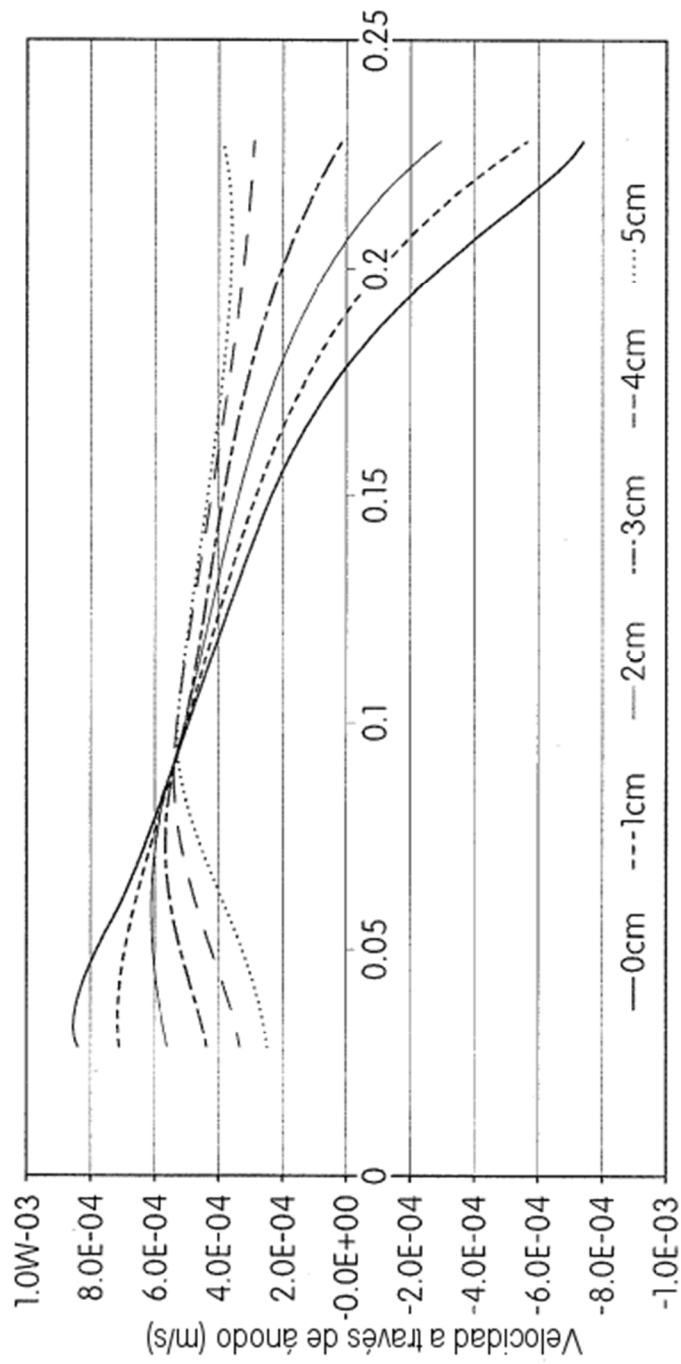


FIG. 15A



Ubicación Y (m, ánodo comienza a 0,028)

FIG. 15B