

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 820**

51 Int. Cl.:

H01M 8/18 (2006.01)

H01M 8/20 (2006.01)

H01M 4/86 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.07.2015 PCT/EP2015/065164**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2016 WO16001392**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.07.2015 E 15732742 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2017 EP 3087634**

54 Título: **Ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno**

30 Prioridad:

04.07.2014 EP 14175827

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

30.10.2017

73 Titular/es:

**ELESTOR BV (100.0%)
Utrechtseweg 310-H40
6812AR Arnhem, NL**

72 Inventor/es:

KOUT, WIEBRAND

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 639 820 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

Ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere en general a un ensamble de baterías de flujo utilizado para generar y almacenar electroquímicamente energía eléctrica, especialmente a un ensamble de baterías de flujo en el que se producen reacciones de carga y descarga en presencia de hidrógeno y de un electrolito que comprende un ión halógeno o una mezcla de iones halógenos.

Antecedentes de la invención

10 Los sistemas de energía solar o de energía eólica, así como las baterías de flujo, proporcionan soluciones a la necesidad cada vez mayor de generación y almacenamiento de electricidad a bajo coste. Una batería de flujo que utiliza hidrógeno y un ion halógeno, como por ejemplo bromo, como materiales activos fue inventada en 1961 por la National Aeronautics and Space Administration. Este tipo de batería de flujo demuestra una alta densidad de potencia, es decir, puede almacenar o liberar una alta potencia por unidad de área de membrana. Una batería de flujo basada en hidrógeno y un ion halógeno puede llegar a una densidad de potencia de 10 kW.m⁻², que es 20 veces mayor que la densidad de potencia de las baterías de flujo rédox típicas de vanadio. Desde 1961, varios grupos de investigación y empresas han investigado celdas en las que el gas reactivo de hidrógeno se mantiene a una presión constante y casi atmosférica. El gas hidrógeno liberado durante la carga del ensamble de baterías de flujo es comprimido fuera del ensamble de baterías de flujo electroquímico por un compresor externo o se almacena a baja presión en un tanque de almacenamiento grande. Un compresor de hidrógeno es típicamente un dispositivo técnicamente desafiante e ineficiente energéticamente, que requiere altos costos de compra y mantenimiento. Este uso de un compresor mecánico externo aumenta los costes asociados con el sistema, reduce su fiabilidad a largo plazo y reduce su eficacia.

25 El documento WO2011089518 es una solicitud de patente de Ramot de Tel-Aviv University Ltd., presentada el 24 de enero de 2011, que describe un sistema capaz de ejecutar reacciones de evolución de hidrógeno y reacciones de oxidación de hidrógeno en el mismo ensamble de baterías de flujo. La solicitud de patente WO2011089518 describe un sistema en el que la presión en la cámara de hidrógeno se mantiene a un valor más alto que en la cámara de electrolito, así como el método implementado para mantener esta diferencia de presión entre la cámara de hidrógeno y la cámara de halógeno dentro de una pila de pilas de la batería. El método descrito en WO2011089518 comprende detectar las presiones en la cámara de hidrógeno y la cámara de electrolito dentro de una pila de celdas de batería y adaptar la presión del electrolito que entra en la pila de celdas de batería para mantener la diferencia de presión deseada entre la cámara de hidrógeno y la de electrolito dentro de la pila de celdas de la batería. Por lo tanto, la presión en la cámara de electrolito se controla continuamente en función de la presión en la cámara de hidrógeno, lo que hace complicado el uso del ensamble de baterías de flujo y requiere la implementación de componentes adicionales tales como bombas y sensores que incrementa el coste asociado con tal ensamblaje y reduce su robustez debido a un mayor riesgo de fallo de componentes. Además, aunque la solicitud de patente WO2011089518 enumera las ventajas asociadas con el mantenimiento de una diferencia de presión entre la cámara de hidrógeno y la cámara de electrolito, se considera necesario un método de control que implemente un control estricto de esta diferencia de presión dentro de límites aceptables para evitar daños a la membrana.

40 El documento WO2013086100 es una solicitud de patente de Sun Catalytix Corp., presentada el 6 de diciembre de 2012 y publicada el 13 de junio de 2013, que describe un método que comprende pasar una corriente a través de una celda de batería para producir una presión parcial del hidrógeno en la cámara de hidrógeno de 200-250 libras-fuerza por pulgada cuadrada de calibre, es decir, una presión máxima de 18,25 bar con relación a la ambiente. El método comprende además controlar la presión en la cámara de electrolito para hacerla sustancialmente similar o en una diferencia de presión pequeña predeterminada con relación a la presión en la cámara de hidrógeno. La cámara de hidrógeno de cada celda de batería comprende un electrodo de hidrógeno conectado a una salida controlable que está acoplada a un dispositivo de control que es capaz de mantener una presión predeterminada dentro de la cámara de hidrógeno controlando adecuadamente esta salida. Esto requiere una intervención manual para preseleccionar el valor de la presión en la cámara de hidrógeno, lo que hace que el uso del ensamble de baterías de flujo sea menos fiable. El control de la presión en la cámara de hidrógeno requiere además la implementación de componentes tales como bombas y sensores, lo que aumenta los costes asociados con dicho ensamble de baterías de flujo. Aunque no se requiere un compresor de hidrógeno externo en el circuito de hidrógeno, ahora se requieren elementos similares en el circuito de electrolito para mantener la diferencia de presión dentro de límites aceptables para evitar dañar la membrana de la celda de batería.

55 El documento WO2007/072096 es una solicitud de patente de H-Cella Inc., presentada el 22 de diciembre de 2006 y publicada el 28 de junio de 2007, que describe un electrodo poroso utilizado en una celda electroquímica que funciona con una diferencia de presión diferencial elevada. En el contexto del sistema descrito en el documento WO2007/072096 se entiende una pila de combustible como un dispositivo o equipo que comprende dos electrodos,

de modo que, durante el funcionamiento de la pila de combustible, el hidrógeno reacciona sobre el ánodo y el oxígeno reacciona sobre el cátodo. Con la ayuda de un agente catalítico, las moléculas de hidrógeno se dividen en protones y electrones, y los electrones que llegan al cátodo se combinan con los protones y con las moléculas de oxígeno creando agua como producto final. En el documento WO2007/072096 se indica claramente que si se produce un proceso inverso a la electrólisis, es decir, si el gas hidrógeno y el gas oxígeno reaccionan entre sí sobre los electrodos y en el curso de esto se produce corriente eléctrica, entonces el sistema se denomina pila de combustible. La pila de combustible descrita en el documento WO2007/072096 se basa, por tanto, en el consumo de dos gases, hidrógeno y oxígeno, y la reacción entre los dos gases da como resultado la producción de agua. La diferencia que se produce entre las cantidades de gases generados en el curso de la electrólisis da como resultado una diferencia de presión significativa en los dos lados de la membrana de la pila de combustible. De hecho, como la cantidad de gas H₂ generado en el cátodo es el doble que la cantidad de O₂ generada en el ánodo, la presión del gas en el lado del cátodo presiona la membrana contra el ánodo. Por lo tanto, la pila de combustible descrita en WO2007/072096 experimenta una alta presión de gas y una alta diferencia de presión de gas, donde la diferencia de presión diferencial se refiere a la diferencia de presión que se produce con respecto a los gases generados en el espacio de los dos electrodos, y la diferencia de alta presión que se produce entre el espacio interno de la pila de combustible y el espacio exterior. El documento WO2007/072096 no describe un sistema en el que una celda resista una diferencia de presión entre un gas y un electrolito líquido sin gas O₂, donde un electrolito es una sustancia que ioniza cuando se disuelve en disolventes ionizantes adecuados y que puede transmitir corriente eléctrica a través de iones cargados positiva y negativamente. Por lo tanto, la pila de combustible descrita en el documento WO2007/072096 no es compatible con un ensamble de baterías de flujo basado en el consumo de un gas y un electrolito líquido que no comprende gas O₂.

La pila de combustible descrita en el documento WO2007/072096 opera con dos gases, hidrógeno y oxígeno, y la reacción entre los dos gases produce agua. Por lo tanto, la pila de combustible descrita en WO2007/072096 experimenta una alta presión de gas y una alta diferencia de presión de gas, donde la diferencia de presión diferencial se refiere a la diferencia de presión que se produce con respecto a los gases generados en el espacio de los dos electrodos, y la diferencia de alta presión que se produce entre el espacio interno de la pila de combustible y el espacio exterior. Es evidente que un ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno no puede considerarse como una pila de combustible del tipo descrito en el documento WO2007/072096, ya que un ensamble de baterías de flujo de hidrógeno funciona con hidrógeno y un electrolito líquido, donde el electrolito líquido es una sustancia que ioniza cuando se disuelve en disolventes ionizantes adecuados, y que puede transmitir corriente eléctrica a través de iones cargados positivamente y negativamente y donde la reacción entre el electrolito líquido e hidrógeno produce un electrolito, pero no agua u oxígeno gaseoso.

Es un objetivo de la presente invención describir un ensamble de baterías de flujo que supera las deficiencias identificadas anteriormente de las herramientas existentes. Más particularmente, es un objetivo divulgar tal ensamble de baterías de flujo para generar y almacenar energía eléctrica de una manera más simple, más robusta, más rápida, más eficiente, más segura, más confiable y más económica.

Resumen de la invención

De acuerdo con la presente invención, los objetivos definidos anteriormente se realizan mediante un ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno que comprende:

- 40 - una o más celdas de batería, comprendiendo cada celda de batería:
 - una cámara de hidrógeno configurada para alojar una trayectoria de flujo de gas hidrógeno entre una entrada de hidrógeno y una salida de hidrógeno;
 - una cámara de electrolito configurada para alojar una trayectoria de flujo de electrolito líquido entre una entrada de electrolito y una salida de electrolito;
- 45 - un ensamble de electrodos de membrana que comprende un electrodo de hidrógeno conectado a la cámara de hidrógeno y un electrodo de electrolito conectado a la cámara de electrolito y una membrana situada entre la cámara de hidrógeno y la cámara de electrolito configurada para permitir solamente una difusión de protones a través del ensamble de electrodos de membrana entre el gas hidrógeno en la cámara de hidrógeno y el electrolito líquido en la cámara de electrolito;
- 50 - un depósito de hidrógeno conectado a la cámara de hidrógeno de una o más celdas de la batería y configurado para retener el gas de hidrógeno; y
 - un depósito de electrolito conectado a la cámara de electrolito de una o más celdas de batería y configurado para retener el electrolito líquido;

caracterizado por que:

- el ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno está configurado además para permitir una diferencia de presión no controlada entre la presión en la cámara de hidrógeno de la celda de batería y la presión en la cámara de electrolito de la celda de batería, en el que la diferencia de presión está determinada por la difusión de protones a través del ensamble de electrodos de membrana durante una operación de carga y/o descarga; y

- La una o más celdas de batería del ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno están completamente colocadas en el depósito de hidrógeno.

En general, un ensamble de baterías de flujo es un tipo de ensamble de baterías recargable en el que dos corrientes que comprenden uno o más elementos electroactivos están separadas por una membrana. Un ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno (reducción-oxidación) es un ensamble de baterías de flujo reversible con una primera corriente de material que comprende hidrógeno gaseoso y una segunda corriente de material que comprende componentes electroquímicos disueltos en un electrolito; ambas corrientes de material están separadas por la membrana. Dicho ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno podría ser, por ejemplo, un ensamble de baterías de flujo de hidrógeno-halógeno, en el que los componentes electroquímicos disueltos en un electrolito comprenden un halógeno; o un ensamble de baterías de flujo de hidrógeno-hierro en el que estos componentes electroquímicos comprenden hierro; o un ensamble de baterías de flujo de hidrógeno-cerio, en el que los componentes electroquímicos comprenden cerio; o un ensamble de baterías de flujo de hidrógeno-vanadio, en el que los componentes electroquímicos comprenden vanadio, etc. Un electrolito es una sustancia que ioniza cuando se disuelve en disolventes ionizantes adecuados, tales como por ejemplo agua. Un electrolito es un líquido o un gel que contiene iones y puede ser descompuesto por electrólisis, y puede transmitir corriente eléctrica a través de iones positivos y negativamente cargados. Está claro que el electrolito líquido está sustancialmente exento de gas oxígeno, o al menos no comprende oxígeno gaseoso en una concentración suficiente para operar una pila de combustible. De acuerdo con la presente invención, el electrolito líquido comprende oxígeno en fase gaseosa disuelta en el electrolito líquido preferiblemente a una concentración inferior a 20 ppm, preferiblemente a una concentración inferior a 10 mg/l de electrolito líquido por debajo de 1 bar y a 25°C, preferiblemente inferior a 1 mg/l de electrolito líquido por debajo de 1 bar y a 25°C, preferiblemente inferior a 100 µg/L de electrolito líquido a 1 bar y 25°C. La capacidad de almacenamiento del ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno está determinada por la cantidad de hidrógeno y electrolito que se puede almacenar, mientras que la potencia máxima permisible se determina por el área superficial de su ensamble de electrodos de membrana. Por lo tanto, para lograr un montaje de batería de flujo rédox de hidrógeno con una capacidad aumentada y una potencia máxima se intentan un uso eficiente del almacenamiento, especialmente del almacenamiento de hidrógeno, y un área de superficie óptima del ensamble de electrodos de membrana. El ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno según la presente invención es por lo tanto capaz de soportar una alta presión diferencial entre gas hidrógeno y un electrolito líquido.

De esta manera, el gas hidrógeno y el electrolito líquido pueden almacenarse en el respectivo depósito de hidrógeno y el depósito de electrolito del ensamble de baterías de flujo y pueden intercambiarse con la celda de batería con el fin de generar o capturar electricidad durante una carga o descarga. La capacidad de almacenamiento del ensamble de baterías, que es la cantidad total de energía eléctrica que se puede almacenar, depende del volumen del depósito de hidrógeno y del depósito de electrolito. La capacidad de almacenamiento del ensamble de baterías se puede extender incluso mediante el uso de depósitos reemplazables o intercambiables. En tal caso, el ensamble de baterías de flujo se puede recargar simplemente reconectando o intercambiando el depósito de hidrógeno y/o el depósito de electrolito con otros depósitos cuyo contenido corresponde al estado cargado. El flujo de electrolito líquido desde el depósito de electrolito a la entrada de electrolito y desde la salida de electrolito de la cámara de electrolito al depósito de electrolito crea un circuito electrolítico que comprende un flujo circulatorio de electrolito líquido entre el depósito de electrolito y la cámara de electrolito. En este circuito de electrolito puede proporcionarse una bomba sencilla y eficiente, controlada por un sistema de control simple, para proporcionar un flujo adecuado del electrolito líquido, sin necesidad de un sistema de control de presión complejo. El flujo de gas hidrógeno podría implementarse de manera similar con un circuito de hidrógeno que comprende un flujo desde el depósito de hidrógeno a la entrada de hidrógeno y desde la salida de hidrógeno de la cámara de hidrógeno al depósito de hidrógeno, creando así un flujo circulatorio de hidrógeno entre el depósito de hidrógeno y la cámara de hidrógeno. Se podría proporcionar una bomba sencilla adecuada para proporcionar un cierto flujo, aunque también aquí no hay necesidad de un sistema de control de presión complejo. Sin embargo, de acuerdo con una realización sencilla particular, la entrada de hidrógeno y la salida de hidrógeno de la cámara de hidrógeno coinciden y el circuito de hidrógeno comprende una única vía de intercambio entre la cámara de hidrógeno y el depósito de hidrógeno. Esto es posible ya que durante la operación de carga y descarga la movilidad del gas hidrógeno entre la cámara de hidrógeno y el depósito de hidrógeno es suficientemente grande para provocar un intercambio suficientemente grande con el depósito bajo la influencia de mecanismos de flujo de difusión y/o circuito de hidrógeno.

De esta manera, la diferencia de presión se determina libremente por la difusión de protones a través del ensamble de electrodos de membrana durante una operación de carga y/o descarga del ensamble de baterías de flujo. En otras palabras, la diferencia de presión entre la cámara de electrolito y la cámara de hidrógeno sólo está determinada por la reacción electroquímica en la celda de la batería. Además, está claro que de esta manera la

presión en el circuito de flujo de líquido electrolítico que comprende la cámara de electrolito permanece sustancialmente uniforme, y también la presión en el circuito de flujo de gas hidrógeno que comprende la cámara de hidrógeno permanece sustancialmente uniforme, simplificando por ejemplo el control de la presión en la cámara de hidrógeno de la celda de batería, ya que puede medirse en cualquier posición adecuada en el circuito de hidrógeno alejado de la propia cámara de hidrógeno. Incluso permite que el intercambio de gas hidrógeno en el circuito de hidrógeno hacia y desde la cámara de hidrógeno sea causado por difusión sin requerir que ningún elemento activo tal como una bomba o compresor genere activamente un flujo de hidrógeno. Se permite que la presión del gas hidrógeno en la cámara de hidrógeno oscile de manera no controlada, es decir libremente, entre un valor de presión mínimo predeterminado cuando el ensamble de baterías de flujo se descarga completamente y un valor de presión máximo predeterminado cuando el ensamble de baterías de flujo está completamente cargado. También se permite que la presión del líquido electrolítico en la cámara de electrolito fluctúe de una manera incontrolada, es decir, libremente, con respecto a la presión en la cámara de hidrógeno, sin embargo debe quedar claro que estas fluctuaciones en la presión del líquido electrolítico son mucho menor que las fluctuaciones en la presión del gas hidrógeno. Por ejemplo, cuando está completamente cargada, la presión del gas hidrógeno en la cámara de hidrógeno puede alcanzar, por ejemplo, 800 bar, mientras que la presión en el líquido electrolítico permanece por ejemplo por debajo de 10 bar en todos los estados operativos de la celda de batería. De esta manera, la diferencia de presión predeterminada entre la presión en la cámara de hidrógeno y la presión en la cámara de electrolito puede fluctuar, por ejemplo, entre 1,1 bar cuando está totalmente descargada y 800 bar cuando está completamente cargada o por ejemplo entre 5 bar cuando está completamente descargada y 150 bar cuando esté completamente cargada.

De esta manera, ventajosamente no se requiere ya un sistema de control de presión que reduzca la presión de hidrógeno para la cámara de hidrógeno a un nivel más bajo que el requerido para un almacenamiento óptimo. Tampoco el sistema de control de presión necesita entonces aumentar la presión de hidrógeno del hidrógeno que sale de nuevo de la cámara de hidrógeno a un nivel más alto para almacenamiento adicional. Por lo tanto, ya no se requiere un lado de presión más alto en la parte de almacenamiento y un lado de presión inferior en la parte de la celda de la batería del circuito de hidrógeno. Tampoco se requieren sistemas de control de presión alternativos que mantienen la diferencia de presión en ambos lados de la membrana de la celda de batería dentro de límites estrictos, por ejemplo aumentando la presión en la cámara de electrolito para que coincida con la de la cámara de hidrógeno. La diferencia de presión entre la presión en la cámara de electrolito y la presión en la cámara de hidrógeno sólo está determinada por la reacción química en la celda de batería, sin necesidad de un sistema de control de presión que comprenda por ejemplo compresores y expansores. Esto no sólo simplifica la construcción del ensamble de baterías de flujo, reduciendo drásticamente los costes de fabricación y los costes de mantenimiento del ensamble de baterías de flujo y aumentando su fiabilidad, sino que aumenta también la eficiencia de la celda de batería, como un sistema de control de presión que comprende elementos tales como compresores, especialmente en el circuito de hidrógeno, consume energía eléctrica con una eficiencia de conversión de baja energía. Además, esto no compromete la capacidad del ensamble de baterías de flujo redox de hidrógeno puesto que cuando se carga completamente, la presión de hidrógeno se maximiza permitiendo así un uso óptimo del volumen del depósito de hidrógeno, y la potencia máxima como el área del ensamble de electrodo de membrana no es afectada. La una o más celdas de la batería del ensamble de baterías de flujo redox de hidrógeno y el depósito de hidrógeno están conectadas directamente entre sí. En otras palabras, no hay elemento de regulación de presión implementado entre una o más celdas de batería del ensamble de baterías de flujo redox de hidrógeno y el depósito de hidrógeno. Un elemento regulador de presión comprende al menos un sensor adaptado para medir un valor de presión real y al menos un regulador de presión activo adaptado para corregir el valor de presión real a un valor de presión deseado adecuado. Por lo tanto, se permite que el hidrógeno fluya libremente desde el depósito de hidrógeno a una o más celdas de batería de la batería de flujo redox de hidrógeno y que fluya libremente desde una o más celdas de batería de la batería de flujo redox de hidrógeno al depósito de hidrógeno. Esto significa que el hidrógeno está configurado para fluir entre la una o más celdas de la batería y el depósito de hidrógeno de una manera no controlada. Por lo tanto, es evidente que se permite que la presión en el depósito de hidrógeno fluctúe de una manera no controlada. Está claro que de manera no controlada significa que no hay elemento regulador de presión que actúe para adaptar el valor de presión real en el depósito de hidrógeno a un valor de presión deseado.

De esta manera, el gas hidrógeno y el electrolito líquido se pueden almacenar en estos depósitos respectivos del ensamble de baterías de flujo y se pueden intercambiar con la celda de batería con el fin de generar o capturar electricidad durante una operación de carga o descarga. La capacidad de almacenamiento del ensamble de baterías, que es la cantidad total de energía eléctrica que se puede almacenar, depende del volumen del depósito de hidrógeno y del depósito de electrolito. La capacidad de almacenamiento del ensamble de baterías se puede extender incluso mediante el uso de depósitos reemplazables o intercambiables. En tal caso, el ensamble de baterías de flujo se puede recargar simplemente reconectando o intercambiando el depósito de hidrógeno y/o el depósito de electrolito con otros depósitos cuyo contenido corresponde al estado cargado. El flujo de electrolito líquido desde el depósito de electrolito a la entrada de electrolito y desde la salida de electrolito de la cámara de electrolito al depósito de electrolito crea un circuito electrolítico que comprende un flujo circulatorio de electrolito líquido entre el depósito de electrolito y la cámara de electrolito. En este circuito de electrolito puede proporcionarse una bomba sencilla y eficiente, controlada por un sistema de control simple, para proporcionar un flujo adecuado del electrolito líquido, sin necesidad de un sistema de control de presión complejo. Alternativamente, se puede usar

termosifón de bucle cerrado para la circulación del electrolito líquido en el ensamble de batería. El calentamiento del electrolito líquido desencadena un movimiento convectivo del electrolito líquido en el ensamble de la batería. El electrolito líquido calentado se expande y se vuelve menos denso, siendo por lo tanto más flotante que el electrolito enfriado en la parte inferior del bucle en la celda de la batería. El movimiento de convección del electrolito líquido en el ensamble de baterías hace que el electrolito líquido calentado circule hacia arriba en el ensamble de baterías y el electrolito líquido calentado sea reemplazado simultáneamente por un electrolito líquido más frío que circula bajo el efecto de la gravedad. El flujo de gas hidrógeno podría implementarse de manera similar con un circuito de hidrógeno que comprende un flujo desde el depósito de hidrógeno a la entrada de hidrógeno y desde la salida de hidrógeno de la cámara de hidrógeno al depósito de hidrógeno, creando así un flujo circulatorio de hidrógeno entre el depósito de hidrógeno y la cámara de hidrógeno. Se podría proporcionar una bomba sencilla adecuada para proporcionar un cierto flujo, aunque también aquí no hay necesidad de un sistema de control de presión complejo. Sin embargo, de acuerdo con una realización sencilla particular, la entrada de hidrógeno y la salida de hidrógeno de la cámara de hidrógeno coinciden y el circuito de hidrógeno comprende una única vía de intercambio entre la cámara de hidrógeno y el depósito de hidrógeno. Esto es posible ya que durante la operación de carga y descarga la movilidad del gas hidrógeno entre la cámara de hidrógeno y el depósito de hidrógeno es suficientemente grande para provocar un intercambio suficientemente grande con el depósito bajo la influencia de mecanismos de flujo de difusión y/o circuito de hidrógeno. La una o más celdas de la batería del ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno y el depósito de electrolito están conectadas directamente entre sí. En otras palabras, no hay elemento de regulación de presión implementado entre una o más celdas de batería del ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno y el depósito de electrolito. Un elemento regulador de presión comprende al menos un sensor adaptado para medir un valor de presión real y al menos un regulador de presión activo adaptado para corregir el valor de presión real a un valor de presión deseado adecuado. Por lo tanto, se permite que el electrolito fluya libremente desde el depósito de electrolito a una o más celdas de batería de la batería de flujo rédox de hidrógeno y que fluya libremente de una o más celdas de batería de la batería de flujo rédox de hidrógeno al depósito de electrolito. Esto significa que el electrolito está configurado para fluir entre la una o más celdas de la batería y el depósito de electrolito de una manera no controlada. Por lo tanto, es evidente que se permite que la presión en el depósito de electrolito fluctúe de manera no controlada. Está claro que de manera no controlada significa que no hay elemento regulador de presión que actúe para adaptar el valor de presión real en el depósito de electrolito a un valor de presión deseado.

De esta manera, el diseño del ensamble de baterías de flujo se hace compacto, modular y robusto. Además, esto se puede lograr de una manera que no comprometa el nivel de seguridad de dicho ensamble de batería, ya que el circuito de hidrógeno no requiere ningún componente accionado eléctricamente, tal como por ejemplo un compresor que de otro modo necesita estar situado fuera del depósito de hidrógeno para razones de seguridad. Además, el depósito de hidrógeno, a fin de ajustarse a los requisitos legales, es a menudo el componente más robusto del ensamble de baterías y, por lo tanto, forma inherentemente una carcasa adecuada y robusta que protege las partes más delicadas de la celda de batería, como por ejemplo la membrana.

De acuerdo con una realización opcional, el electrolito líquido comprende un elemento halógeno que comprende uno o más de los siguientes:

- flúor;
- cloro;
- bromo;
- yodo;
- astato;

o el electrolito líquido comprende hierro, cerio o vanadio.

De esta manera, un ensamble de baterías de flujo puede basarse en una reacción química basada en hidrógeno-halógeno, o en una reacción química basada en hidrógeno, o en una reacción química basada en hidrógeno-cerio, o en una reacción química basada en hidrógeno-vanadio, o en cualquier otra reacción química basada en rédox de hidrógeno adecuada. El bromuro de hidrógeno es, por ejemplo, ventajoso, ya que el bromo está disponible en gran medida, es sencillo de producir y relativamente barato.

De acuerdo con una realización opcional:

- la cámara de hidrógeno y el depósito de hidrógeno están acoplados directamente entre sí sin un elemento de regulación de presión de tal manera que se permita que dicha presión en la cámara de hidrógeno y la presión en el depósito de hidrógeno fluctúen de manera no controlada; y/o

- la cámara de electrolito y el depósito de electrolito están acoplados directamente entre sí sin un elemento de regulación de presión de tal manera que se permita que la presión en la cámara de electrolito y la presión en el depósito de electrolito fluctúen de manera no controlada.

5 La una o más celdas de batería del ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno y del depósito de hidrógeno están conectadas directamente entre sí. En otras palabras, no hay elemento de regulación de presión implementado entre una o más celdas de batería del ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno y el depósito de hidrógeno. Un elemento regulador de presión comprende al menos un sensor adaptado para medir un valor de presión real y al menos un regulador de presión activo adaptado para corregir el valor de presión real a un valor de presión deseado adecuado. Por lo tanto, se permite que el hidrógeno fluya libremente desde el depósito de hidrógeno a una o más celdas de batería de la batería de flujo rédox de hidrógeno y que libremente fluya desde una o más celdas de batería de la batería de flujo rédox de hidrógeno al depósito de hidrógeno. Esto significa que el hidrógeno está configurado para fluir entre la una o más celdas de la batería y el depósito de hidrógeno de una manera no controlada. Por tanto, es evidente que se permite que la presión en la cámara de hidrógeno fluctúe de una manera no controlada y que se permita que la presión en el depósito de hidrógeno oscile de manera no controlada. Está claro que de manera no controlada significa que no hay elemento regulador de presión que actúe para adaptar el valor de presión real en la cámara de hidrógeno a un valor de presión deseado y que no hay elemento regulador de presión que actúe para adaptar el valor de presión real en el depósito de hidrógeno a un valor de presión deseado. La una o más celdas de batería del ensamble de baterías de flujo de hidrógeno y el depósito de electrolito están conectados directamente entre sí. En otras palabras, no hay elemento de regulación de presión implementado entre una o más celdas de batería del ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno y el depósito de electrolito. Por lo tanto, se permite que el electrolito fluya libremente desde el depósito de electrolito a una o más celdas de batería de la batería de flujo rédox de hidrógeno y que fluya libremente de una o más celdas de batería de la batería de flujo rédox de hidrógeno al depósito de electrolito. Esto significa que el electrolito está configurado para fluir entre la una o más celdas de la batería y el depósito de electrolito de una manera no controlada. Por lo tanto, es evidente que se permite que la presión en la cámara de hidrógeno fluctúe de una manera no controlada y que se permita que la presión en el depósito de electrolito fluctúe de manera no controlada. Está claro que de manera no controlada significa que no hay elemento regulador de presión que actúe para adaptar el valor de presión real en la cámara de electrolito a un valor de presión deseado y que no hay elemento regulador de presión que actúe para adaptar el valor de presión real en el depósito de electrolito a un valor de presión deseado.

30 De acuerdo con una realización opcional, el ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno está configurado además para permitir una diferencia de presión no controlada entre el depósito de hidrógeno y el depósito de electrolito, en donde la diferencia de presión se determina por la difusión de protones a través del ensamble de electrodos de membrana durante una operación de carga y/o descarga.

35 Está claro que de esta manera el ensamble de baterías de flujo está configurado para permitir una diferencia de presión no controlada entre el depósito de hidrógeno y el depósito de electrolito. La diferencia de presión entre el depósito de electrolito y el depósito de hidrógeno sólo se determina por la reacción química en la celda de batería, es decir, por la difusión de protones durante una operación de carga y/o descarga. De esta manera, el ensamble de baterías de flujo no requiere la implementación de un sistema de control de presión complejo que comprende, por ejemplo, sensores de presión de alta velocidad, compresores, expansores, controladores de presión o válvulas de control proporcionales de alta velocidad, para mantener una diferencia de presión predeterminada entre el depósito de hidrógeno y el depósito de electrolito. Esto hace que el diseño y el uso del ensamble de baterías de flujo sean más simples, más fiables, más eficientes y reduzcan los costes de implementación y mantenimiento.

40 De acuerdo con una realización opcional, se permite que la presión en la cámara de hidrógeno oscile de manera incontrolada entre un valor de presión mínimo predeterminado cuando la celda de la batería está completamente descargada y un valor de presión máximo predeterminado cuando la celda de la batería está completamente cargada.

45 De esta manera, la presión en la cámara de hidrógeno se determina por la difusión de protones a través del ensamble de electrodos de membrana durante una operación de carga y/o descarga del ensamble de baterías de flujo. La presión en la cámara de hidrógeno se deja fluctuar de una manera no controlada, es decir, libremente, entre un valor de presión mínimo predeterminado cuando el ensamble de baterías de flujo está completamente descargado y un valor de presión máximo predeterminado cuando el ensamble de baterías de flujo está completamente cargado. Ningún compresor de hidrógeno es necesario en el diseño del ensamble de baterías de flujo, lo que hace que la implementación del ensamble de baterías de flujo sea más simple, más eficiente, más segura y más económica.

55 De acuerdo con una realización opcional, se permite que la presión en la cámara de electrolito fluctúe de una manera no controlada entre un valor de presión mínimo predeterminado cuando la pila de la batería está completamente descargada y un valor de presión máximo predeterminado cuando la batería está completamente cargada.

De esta manera, la presión en la cámara de electrolito se determina por la difusión de protones a través del ensamble de electrodos de membrana durante una operación de carga y/o descarga del ensamble de baterías de flujo. La presión en la cámara de electrolito y el depósito de electrolito también es sustancialmente uniforme. La presión en la cámara de electrolito se deja fluctuar de manera no controlada, es decir libremente, entre un valor de presión mínimo predeterminado cuando el ensamble de baterías de flujo se descarga completamente y un valor de presión máximo predeterminado cuando el ensamble de baterías de flujo está completamente cargado. Sin embargo, debe quedar claro que estas fluctuaciones en la presión del electrolito líquido son mucho menores que las fluctuaciones en la presión del hidrógeno gaseoso. Un sistema complicado de control de presión de sensores de presión de alta velocidad, válvulas de control proporcional, compresores complejos controlables, etc., no necesita ser implementado en el circuito de flujo de electrolito entre la cámara de electrolito y el depósito de electrolito para mantener una diferencia de presión predeterminada entre la cámara de hidrógeno y la cámara de electrolito, lo que hace el diseño de la batería de flujo más simple, más robusto, más eficiente y reduce el costo. La cámara de electrolito del ensamble de baterías de flujo de redox de hidrógeno y el depósito de electrolito están conectados directamente entre sí. En otras palabras, no hay elemento de regulación de presión implementado entre la cámara de electrolito del ensamble de baterías de flujo redox de hidrógeno y el depósito de electrolito. Un elemento regulador de presión comprende al menos un sensor adaptado para medir un valor de presión real y al menos un regulador de presión activo adaptado para corregir el valor de presión real a un valor de presión deseado adecuado. Por lo tanto, se permite que el electrolito fluya libremente desde el depósito de electrolito a la cámara de electrolito de la batería de flujo redox de hidrógeno y que fluya libremente desde la cámara de electrolito de la batería de flujo de hidrógeno hacia el depósito de electrolito. Esto significa que el electrolito está configurado para fluir entre la cámara de electrolito y el depósito de electrolito de una manera no controlada. Está claro por lo tanto que se permite que la presión en la cámara de electrolito fluctúe de una manera no controlada. Está claro que de manera no controlada significa que no hay elemento regulador de presión que actúe para adaptar el valor de presión real en la cámara de electrolito a un valor de presión deseado.

De acuerdo con una realización opcional, el valor de presión mínimo predeterminado y el valor de presión máxima predeterminado pueden fluctuar entre 1,1 y 800 bar, preferiblemente entre 5 y 150 bar.

De esta manera, la diferencia de presión entre la cámara de hidrógeno y la cámara de electrolito puede alcanzar varios centenares de barras. Por lo tanto, no se necesita un compresor de hidrógeno entre el depósito de hidrógeno y la cámara de hidrógeno para comprimir el hidrógeno. Por lo tanto, el diseño del ensamble de baterías de flujo es más simple, más eficiente y menos costoso.

De acuerdo con una realización opcional, cada celda de batería comprende además:

- una membrana plana que se extiende a lo largo de un plano central y que comprende una superficie de hidrógeno situada en un lado del plano central y una superficie de electrolito situada en el lado opuesto del plano central, configurándose la membrana plana para permitir solamente la difusión de protones;
- una capa de difusión de hidrógeno que comprende un lado de membrana y un lado de hidrógeno opuesto y configurado para cubrir la superficie de hidrógeno con su lado de membrana;
- el electrodo de hidrógeno que comprende además una superficie de contacto de electrodo de hidrógeno configurada para cubrir parcialmente el lado de hidrógeno de la capa de difusión de hidrógeno;
- la trayectoria de flujo del hidrógeno gaseoso comprende una superficie de contacto de trayecto de flujo de hidrógeno configurada para cubrir parcialmente el lado de hidrógeno de la capa de difusión de hidrógeno;
- una capa de difusión electrolítica que comprende un lado de membrana y un lado de electrolito opuesto y configurado para cubrir la superficie de electrolito con su lado de membrana;
- el electrodo de electrolito que comprende además una superficie de contacto de electrodo de electrolito configurada para cubrir parcialmente el lado de electrolito de la capa de difusión de electrolito; y
- la trayectoria de flujo del electrolito líquido comprende una superficie de contacto de trayectoria de flujo de electrolito configurada para cubrir parcialmente el lado de electrolito de la capa de difusión de electrolito.

Cada celda de batería del ensamble de baterías de flujo comprende una pila de un electrodo de hidrógeno, una capa de difusión de hidrógeno, una membrana, una capa de difusión de electrolito y un electrodo de electrolito. Las reacciones de reducción u oxidación en el electrodo de hidrógeno y en el electrodo de electrolito dan como resultado la generación o el consumo de protones. La membrana bloquea el transporte de partículas distintas de los protones, por ejemplo utilizando una diferencia de tamaño entre los protones y las partículas más grandes. De esta manera, el gas hidrógeno y el electrolito líquido nunca están en contacto directo, lo que hace que el ensamble de baterías de flujo sea seguro, fiable y eficiente.

De acuerdo con una realización opcional, cada celda de batería comprende además:

- un sellamiento situado en el área entre el electrodo de hidrógeno y el electrodo de electrolito que no está ocupado por la membrana plana y/o la capa de difusión de hidrógeno y/o la capa de difusión de electrolito, para aislar la cámara de hidrógeno de la cámara de electrolito.

5 El sellamiento aísla la cámara de hidrógeno de la cámara de electrolito, dondequiera que no estén presentes la membrana, y/o la capa de difusión de hidrógeno y/o la capa de difusión de electrolito. De esta manera, el gas hidrógeno y el electrolito líquido nunca están en contacto directo entre sí, lo que hace que el ensamble de baterías de flujo sea seguro, fiable y eficiente. Incluso cuando una gran diferencia de presión está presente entre la cámara de hidrógeno y la cámara de electrolito en el estado de carga completa, se evita la fuga aumentando así la eficiencia de almacenamiento.

10 De acuerdo con una realización opcional, el electrodo de electrolito comprende además un soporte mecánico hecho de un material con un valor de resistencia a la elasticidad mayor que un umbral predeterminado de resistencia a la deformación, de manera que se puede garantizar una deformación máxima permisible de la membrana cuando está en la totalidad el soporte mecánico que comprende la superficie de contacto del electrodo de electrolito y que aloja la superficie de contacto de la trayectoria de flujo de electrolito.

15 La membrana ejercerá una fuerza en la dirección del electrodo de electrolito bajo la fuerza generada por una gran diferencia de presión entre la cámara de hidrógeno y la cámara de electrolito. El soporte mecánico está hecho de un material con una rigidez de compresión adecuada para soportar los rangos de la diferencia de presión entre la cámara de hidrógeno y la cámara de electrolito. Preferiblemente, el electrodo de electrolito comprende así una construcción híbrida que comprende por ejemplo un metal adecuado para proporcionar la resistencia mecánica requerida y por ejemplo grafito para garantizar una alta conductividad eléctrica y térmica. Por lo tanto, el electrodo de electrolito del ensamble de baterías de flujo es más robusto, sin poner en peligro sus propiedades eléctricas y térmicas.

De acuerdo con una realización opcional, el umbral de límite de elasticidad predeterminado es mayor que 30 MPa.

25 De esta manera, el electrodo de electrolito del ensamble de baterías de flujo se hace más robusto, ya que el material del electrodo de electrolito puede resistir una diferencia de presión entre la cámara de hidrógeno y la cámara de electrolito de hasta varios cientos de barras.

De acuerdo con una realización opcional, el soporte mecánico comprende:

30 - una superficie de soporte de membrana en contacto con la capa de difusión de electrolito y que comprende la superficie de contacto del electrodo de electrolito;

- una superficie de soporte opuesta que aloja el flujo de electrolito en forma de un canal de entrada de electrolito y un canal de salida de electrolito que se extienden ambos en el soporte mecánico desde la superficie de soporte opuesta;

35 - orificios pasantes de alimentación que se extienden a través del soporte mecánico desde el canal de entrada de electrolito y el canal de salida de electrolito a la superficie de soporte de membrana, formando de este modo la superficie de contacto de trayecto de flujo de electrolito.

40 De esta manera, el soporte mecánico del electrodo de electrolito del ensamble de batería de flujo comprende un canal de entrada y un canal de salida para el electrolito líquido en un lado y orificios de alimentación que se extienden desde estos canales de entrada y salida al lado opuesto del soporte mecánico. De esta manera, el electrolito líquido sigue el canal de entrada y fluye a través de un primer patrón de orificios pasantes para llegar a la capa de difusión electrolítica. Después de alcanzar la capa de difusión de electrolito, el electrolito líquido fluye de nuevo a través de un segundo patrón de orificios pasantes de alimentación y a través del canal de salida de vuelta al depósito de electrolito. Esto permite una construcción sencilla del soporte mecánico que permite un flujo óptimo de electrolito hacia y desde la cámara de electrolito cerca de la membrana.

45 De acuerdo con una realización opcional, el canal de entrada de electrolito y el canal de salida de electrolito forman una trayectoria de flujo interdigitada para el electrolito líquido.

De esta manera, el electrolito líquido se distribuye uniformemente sobre la superficie de contacto del electrodo de electrolito.

50 De acuerdo con una realización opcional, la celda de batería está configurada de manera que la superficie de contacto del electrodo de electrolito es mayor que la superficie de contacto de la trayectoria de flujo de electrolito,

preferiblemente la superficie de contacto del electrodo de electrolito es 80% o más de la superficie de soporte de membrana.

5 La superficie de contacto del electrodo de electrolito es la superficie sobre la que reacciona el electrolito líquido de acuerdo con la reacción química de la media celda que implica el electrolito líquido. Está claro que de este modo, se maximiza la superficie de contacto del electrodo de electrolito. Esto aumenta la eficiencia de la reacción química y por lo tanto aumenta la eficiencia global del ensamble de baterías de flujo. Además, de esta manera, la fuerza generada por la diferencia de presión entre la cámara de hidrógeno y la cámara de electrolito en la membrana plana se distribuye sobre una superficie más grande de manera que se reduce la tensión local sobre la superficie de contacto del electrodo de electrolito.

10 De acuerdo con una realización opcional, en el que el ensamble de baterías de flujo redox de hidrógeno comprende una pluralidad de celdas de batería y el electrodo de hidrógeno de al menos una de dichas celdas de batería está acoplado al electrodo de electrolito de una siguiente celda de batería.

15 De esta manera, el ensamble de baterías de flujo puede comprender varias celdas de batería similares a la descrita anteriormente. La energía eléctrica generada por una pluralidad de celdas de batería es mayor que la energía eléctrica generada por una sola celda de batería. El electrodo de hidrógeno de al menos una de las celdas de la batería está acoplado al electrodo de electrolito de una celda de batería adyacente. De esta manera, se pueden montar varias series de baterías del ensamble de baterías de flujo en serie.

De acuerdo con una realización opcional, el electrodo de hidrógeno y el electrodo de electrolito de las celdas de batería acopladas se forman como una unidad única.

20 De esta manera, se pueden conectar varias celdas de la batería. Por lo tanto, el diseño de la batería de flujo es más compacto, más simple y menos exigente en términos de espacio. Adicionalmente, se incrementa la eficiencia del ensamble de baterías de flujo, ya que no hay pérdidas de conexión eléctrica entre los electrodos de las celdas adyacentes.

De acuerdo con una realización opcional, el ensamble de baterías de flujo redox de hidrógeno comprende además:

25 - bridas entre las cuales se apila la pluralidad de celdas de batería a lo largo de un eje longitudinal; y
- elementos de fijación configurados para cooperar con las bridas de tal manera que las celdas de la batería se aseguren entre las bridas.

30 De esta manera, la pluralidad de celdas de batería se fija confiablemente de manera sencilla permitiendo la recogida de la energía eléctrica generada en ambos extremos de la pila, lo que hace que el uso del ensamble de baterías de flujo sea intrínsecamente seguro, fiable y simple. El flujo de gas hidrógeno y electrolito líquido también están aislados entre sí, lo que hace que el ensamble de baterías de flujo sea seguro y fiable.

De acuerdo con una realización opcional, el depósito de electrolito del ensamble de baterías de flujo redox de hidrógeno está completamente posicionado en el depósito de hidrógeno.

35 De esta manera, el diseño del ensamble de baterías de flujo se hace compacto, modular y robusto. Adicionalmente, esto asegura el nivel de seguridad de un ensamble de baterías tal como el circuito de flujo resultante del ensamble de baterías de flujo redox de hidrógeno forma un circuito aislado. Contrariamente a una pila de combustible, es posible colocar completamente el depósito de electrolito en el depósito de hidrógeno sin arriesgar una reacción entre hidrógeno y oxígeno que pondría en peligro la seguridad y la integridad de un usuario del ensamble de baterías de flujo redox de hidrógeno.

40 Un método de funcionamiento de un ensamble de baterías de flujo redox de hidrógeno de acuerdo con la invención está caracterizado por que

45 - el ensamble de baterías de flujo redox de hidrógeno permite una diferencia de presión no controlada entre la presión en la cámara de hidrógeno de la celda de batería y la presión en la cámara de electrolito de la celda de batería, en la que la diferencia de presión se determina por la difusión de protones a través de la membrana de electrodo durante una operación de carga y/o descarga; y

- la una o más celdas de batería del ensamble de baterías de flujo redox de hidrógeno están completamente colocadas en el depósito de hidrógeno.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra esquemáticamente una realización de un ensamble de baterías de flujo para la generación y almacenamiento de energía eléctrica.

La figura 2 ilustra esquemáticamente una realización de una celda de batería de un ensamble de baterías de flujo que comprende un ensamblaje de electrodo de membrana.

5 La figura 3 ilustra esquemáticamente una sección de la cámara de electrolito y el soporte mecánico de un electrodo de electrolito de la realización de la figura 2.

La figura 4A ilustra esquemáticamente una realización de un soporte mecánico para un electrodo de electrolito visto desde el lado de la membrana.

La figura 4B muestra la realización del soporte mecánico de la figura 4A visto desde el lado opuesto.

10 La figura 5 ilustra esquemáticamente una realización adicional de un ensamble de baterías de flujo que comprende una pila de celdas de batería asegurada entre bridas.

La figura 6 ilustra esquemáticamente una realización de un ensamble de baterías de flujo, cuyas celdas de batería están colocadas dentro de un depósito de hidrógeno.

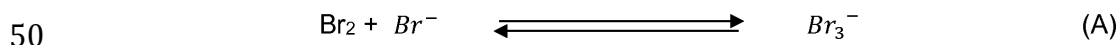
15 La figura 7 ilustra esquemáticamente la evolución de la presión en la cámara de hidrógeno y la cámara de electrolito durante una operación de carga y descarga del ensamble de baterías de flujo.

Descripción detallada de la(s) realización(es)

De acuerdo con una realización mostrada en la figura 1, un ensamble 1 de batería de flujo comprende una celda 10 de batería que comprende una cámara 100 de hidrógeno, una cámara 110 de electrolito. Entre la cámara 100 de hidrógeno y la cámara 110 de electrolito está situada una membrana 123 de un ensamble 120 de electrodo de membrana que comprende además un electrodo 121 de hidrógeno y un electrodo 122 de electrolito. En una realización alternativa, el ensamble 1 de batería de flujo comprende una pluralidad de celdas 10 de batería similares a la celda 10 de batería representada en la figura 1, se explicará con más detalle a continuación con referencia a la realización de la figura 5. Como se muestra, la membrana 123 plana comprende un plano 4 central. El electrodo 121 de hidrógeno está situado en un lado del plano 4 central y el electrodo 122 de electrolito está situado en el lado opuesto del plano 4 central. Como se muestra, el electrodo 121 de hidrógeno está situado en el mismo lado del plano 4 central que la cámara 100 de hidrógeno; mientras tanto el electrodo 122 de electrolito y la cámara 110 de electrolito están ambos situados en el lado opuesto del plano 4 central.

Como se muestra adicionalmente en la figura 1, un depósito 30 de hidrógeno está conectado a la cámara 100 de hidrógeno del ensamble 1 de batería de flujo y está configurado para retener el gas 101 de hidrógeno. Como se muestra, podría proporcionarse una conexión única entre la cámara 100 de hidrógeno y el depósito 30 de hidrógeno, por ejemplo en forma de tubo, conducto, tubo, conector, etc. adecuados, que permite un flujo 5 de entrada de gas hidrógeno en la cámara 100 de hidrógeno desde el depósito 30 de hidrógeno y un flujo 6 de salida de gas hidrógeno fuera de la cámara 100 de hidrógeno al depósito 30 de hidrógeno. Sin embargo, de acuerdo con realizaciones alternativas, como se explicará más detalladamente con referencia a la figura 2, la cámara 100 de hidrógeno está configurada para alojar una trayectoria 101 de flujo de gas de hidrógeno entre una entrada 5 de hidrógeno separada y una salida 6 de hidrógeno. Un depósito 31 de electrolito está conectado a la cámara 110 de electrolito del ensamble 1 de batería de flujo. Como se muestra en la figura 1, se proporcionan dos conexiones entre el depósito 31 de electrolito y la cámara 110 de electrolito, por ejemplo en forma de tubos, líneas, tubos, conectores, etc. adecuados que permiten un flujo 7 de entrada de electrolito 111 halógeno líquido a la cámara 110 de electrolito desde el depósito 31 de electrolito y un flujo 8 de salida de electrolito 111 halógeno líquido de la cámara 110 de electrolito al depósito 110 de electrolito. La cámara 110 de electrolito está configurada de esta manera para alojar una trayectoria de flujo de electrolito 111 halógeno líquido entre una entrada 7 de electrolito y una salida 8 de electrolito.

El electrolito 111 halógeno líquido comprende un elemento halógeno, o una mezcla de elementos halógenos. El elemento halógeno es preferentemente bromo, por ejemplo en solución con una concentración volumétrica de 1 mol.L⁻¹, que da como resultado un electrolito 111 halógeno líquido que comprende una solución acuosa de bromuro de hidrógeno/bromo. En una realización alternativa, el electrolito comprende por ejemplo flúor, cloro, bromo, yodo, astato, etc., o una mezcla de tales elementos halógenos. La formación del ion tribromuro en presencia de bromo y bromuro viene dada por la ecuación (A):



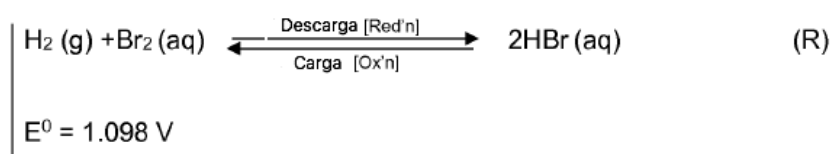
Dada la formación favorable de tribromuro (y especies de polibromuro superiores) en la mayoría de las condiciones operativas, un electrolito 111 halógeno líquido que comprende HBr o HBr/Br₂ acuoso podría por lo tanto comprender también una mezcla de HBr, Br₃⁻ y Br₂.

5 El electrodo 121 de hidrógeno del ensamble 120 de electrodo de membrana está conectado a la cámara 100 de hidrógeno y el electrodo 122 de electrolito está conectado a la cámara 110 de electrolito. La diferencia de potencial entre el electrodo 122 de electrolito y el electrodo 121 de hidrógeno puede aplicarse a una carga 50 eléctrica, como se muestra en la figura 1. El ensamble 120 de electrodos de membrana está configurado para permitir solamente una difusión de protones 200 a través del ensamble 120 de electrodo de membrana entre el gas 101 de hidrógeno en la cámara 100 de hidrógeno y el electrolito 111 halógeno líquido está en la cámara 110 de electrolito.

10 El ensamble 1 de batería de flujo se basa en la misma celda 10 de batería para almacenar y generar energía eléctrica, durante una operación 2 de carga y una operación 3 de descarga del ensamble 1 de batería de flujo. Durante una operación 2 de carga del ensamblaje 1 de flujo de hidrógeno-bromo, se proporciona una solución estabilizada de bromo (Br₂) y bromuro de hidrógeno (HBr) en agua al electrodo 122 positivo, por ejemplo mediante una bomba 52. Como se muestra en la Figura 1, una bomba 52 está situada entre el depósito 31 de electrolito y la entrada 7 de la cámara 110 de electrolito con el fin de proporcionar un flujo 7 de entrada de electrolito halógeno desde el depósito 31 de electrolito a la cámara 110 de electrolito y de este modo generar un flujo 8 de salida correspondiente desde la salida 8 de la cámara 110 de electrolito al depósito de electrolito. La disolución de electrolito 111 se puede bombear, por ejemplo, a través del ensamble 1 de batería de flujo con una dirección y flujo de flujo constante o variable. Esto asegura que se proporcione un electrolito 111 halógeno líquido nuevo y fresco desde el depósito 31 de electrolito a la cámara 110 de electrolito cuando sea necesario. Durante una operación 2 de carga o una operación 3 de descarga del ensamble 1 de batería de flujo, un electrolito 111 halógeno líquido con una concentración molar entre 0,1 mol.L⁻¹ y 1,8 mol.L⁻¹ de Br₂ y entre 0,2 mol.L⁻¹ y 7,0 mol.L⁻¹ de HBr está preferiblemente presente en la cámara 110 de electrolito y en el electrodo de electrolito 111 para asegurar una operación de carga 2 óptima. Como se explicará con más detalle a continuación, debido a la reacción electroquímica en la cámara 110 de electrolito, durante una operación de carga, la concentración molar de Br₂ aumentará y la concentración molar de HBr disminuirá en la cámara 110 de electrolito, mientras que durante una operación de descarga la concentración molar de Br₂ disminuirá y la concentración molar de HBr aumentará en la cámara 110 de electrolito. Sin embargo, la circulación del electrolito 111 halógeno líquido a través de la entrada 7 de electrolito y la salida 8 de electrolito crea un bucle de circulación de electrolito 111 halógeno líquido entre el electrolito 31 y la cámara 110 de electrolito. Como el volumen del depósito 31 de electrolito es al menos 10 veces mayor que el volumen de la cámara 110 de electrolito y el electrolito de halógeno fresco 111 circula continuamente desde el depósito 31 de electrolito a través de la cámara 110 de electrolito por medio de la bomba, cualquier cambio en las concentraciones molares mencionadas anteriormente se dividirá por al menos un factor 10, ya que éstas se diluirán a través del volumen total del depósito 31 de electrolito. De acuerdo con una realización particular, el volumen de una cámara 110 de electrolito de una celda 10 de batería es por ejemplo 1 cm³ y el volumen de un depósito de depósito 31 de electrolito conectado es por ejemplo 10 cm³.

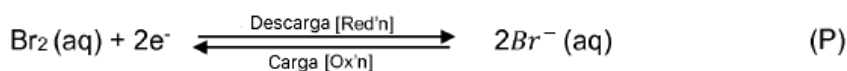
40 Como se muestra en la figura 1, la bomba 52 es controlada, por ejemplo, por un controlador 51 programable. El controlador 51 programable puede ser cualquier dispositivo controlador adecuado, tal como un ordenador o microprocesador, y preferiblemente contiene un circuito lógico que decide cómo operar la bomba 52 u otros elementos de control de flujo adecuados tales como por ejemplo válvulas, bucles de circulación en la cámara 110 de electrolito, etc. Está claro que el circuito para el flujo de electrolito 111 halógeno líquido puede comprender opcionalmente una o más válvulas, sensores, monitores, o una combinación de los mismos. Se pueden tener en cuenta los parámetros medidos por sensores adecuados, tales como el valor de la diferencia de potencial entre el electrodo 122 de electrolito y el electrodo 121 de hidrógeno, la concentración de bromo en el electrodo 122 de electrolito y en la cámara 110 de electrolito, etc., puede ser tenida en cuenta por el controlador 51 programable cuando se controla la bomba 52 o cualquiera de los otros elementos de control de flujo. Según realizaciones alternativas, el depósito 31 de electrolito podría estar conectado directamente a la cámara 110 de electrolito a través de una entrada 7 de electrolito y a través de una salida 8 de electrolito. El electrolito 111 halógeno líquido fluye entonces al electrodo 122 de electrolito de la cámara 110 de electrolito.

50 El principio de funcionamiento electroquímico general del ensamble 1 de batería de flujo se puede describir con respecto a una carga 2 y una operación 3 de descarga. Las reacciones relevantes de carga 2/descarga 3 se describen mediante la ecuación (R).



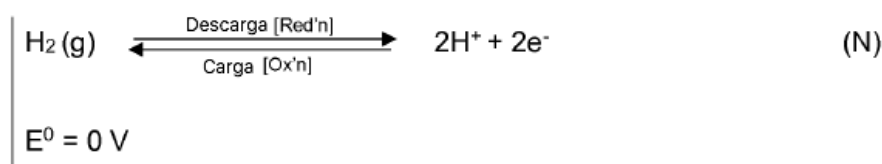
Donde H_2 (g) es gas 101 hidrógeno, Br_2 (aq) es bromo en una solución acuosa, HBr (aq) es una solución acuosa de bromuro de hidrógeno y E^0 es el potencial estándar del electrodo Br_2/Br^- (1,098 V vs el electrodo estándar de hidrógeno, también conocido como SHE). Estas reacciones también pueden describirse en términos de la reacción de semiceldas (P) en el electrodo 122 de electrolito y la reacción de semiceldas (N) en el electrodo 121 de hidrógeno:

5



$$E^0 = 1.098 \text{ V}$$

Donde Br_2 (aq) es bromo en una solución acuosa, e es un electrón, Br^- es bromuro en una solución acuosa, y E^0 es el potencial estándar del electrodo Br_2/Br^- (1,098 V vs el electrodo estándar de hidrógeno, también conocido como SHE).



10

donde H_2 (g) es gas hidrógeno 101, e es un electrón, y H^+ es un protón.

Durante una operación 2 de carga, el electrolito 111 halógeno líquido es por ejemplo bombeado o intercambiado de cualquier otra manera adecuada entre el depósito 31 de electrolito y la cámara 110 de electrolito a través de una entrada 7 de electrolito. El bromuro se oxida en este caso a bromo de acuerdo con la reacción inversa (P). El electrolito cargado 111 se retira entonces de la cámara 110 de electrolito a través de una salida 8 de electrolito y se devuelve al depósito 31 de electrolito o a otro depósito. Durante la misma operación 2 de carga, se produce hidrógeno en el electrodo 121 de hidrógeno en la cámara 100 de hidrógeno de la celda 10 de batería de acuerdo con la reacción inversa (N). Durante una operación 3 de descarga, el electrolito 111 halógeno líquido fluye en la cámara 110 de electrolito desde el depósito 31 de electrolito al electrodo 122 de electrolito, donde el bromo está reducido a bromuro, de acuerdo con la reacción de avance (P). Durante la misma operación 3 de descarga, el hidrógeno es proporcionado por el depósito 30 de hidrógeno al electrodo 121 de hidrógeno de la cámara 100 de hidrógeno, donde el hidrógeno se oxida a protones de acuerdo con la reacción de avance (N).

15

20

25

30

35

40

45

El ensamble de baterías de flujo comprende dos circuitos, uno para una solución de electrolito 111 estabilizado de bromo (Br_2) y bromuro de hidrógeno (HBr) en agua y otro para gas 101 de hidrógeno. Durante una operación 2 de carga y descarga 3, como se explicó anteriormente, las concentraciones de bromo (Br_2) y bromuro de hidrógeno (HBr) en el electrolito líquido 111 presente en la cámara 110 de electrolito cambian, exactamente igual que cambia la presión del gas 101 de hidrógeno presente en la cámara 100 de hidrógeno. El ensamble 1 de batería de flujo está configurado para permitir una diferencia de presión no controlada entre la presión en la cámara 100 de hidrógeno de la celda 10 de batería y la cámara 110 de electrolito de la misma celda 10 de batería. Durante una operación 2 de carga o descarga 3, la diferencia de presión está determinada por la difusión de los protones 200 a través del ensamble 120 de electrodos de membrana de la celda 10 de batería. En otras palabras, la diferencia de presión entre el electrolito y la cámara de hidrógeno sólo está determinada por la reacción química dentro de la celda 10 de batería. El flujo el ensamble de baterías 1 está también configurado para permitir una diferencia de presión no controlada entre el depósito 30 de hidrógeno y el depósito 31 de electrolito. En otras palabras, la presión en la cámara 110 de electrolito y el depósito 31 de electrolito es sustancialmente uniforme y la presión en la cámara 100 de hidrógeno y el depósito 30 de hidrógeno es sustancialmente uniforme. La diferencia de presión entre el depósito 31 de electrolito y el depósito 30 de hidrógeno sólo está determinada por la reacción química en la celda 10 de batería, es decir, por la difusión de los protones 200 durante una operación 2 de carga y/o descarga 3. La presión en la cámara 100 de hidrógeno se deja fluctuar de una manera no controlada entre un valor de presión mínimo predeterminado cuando el ensamble 1 de batería de flujo es totalmente descargado y un valor de presión máximo predeterminado cuando el ensamble 1 de batería de flujo está completamente cargado. También se permite que la presión en la cámara 110 de electrolito fluctúe de manera no controlada con respecto a la presión en el depósito 31 de electrolito y con respecto a la presión en la cámara 100 de hidrógeno, sin embargo debe quedar claro que estas fluctuaciones en la presión del líquido electrolítico halógeno es mucho más pequeño que las fluctuaciones en la presión del gas hidrógeno. Por ejemplo, cuando está completamente cargada, la presión del gas hidrógeno en la cámara de hidrógeno puede alcanzar, por ejemplo, 800 bar, mientras que la presión en el líquido electrolítico permanece por debajo de 10 bar en todos los estados operativos de la celda 10 de batería. De esta manera, entre la presión en la cámara 100 de hidrógeno y la presión en la cámara 110 de electrolito puede fluctuar, por ejemplo,

entre 1,1 bar cuando está completamente descargada y 800 bar cuando está completamente cargada o por ejemplo entre 5 bar cuando está totalmente descargada y 150 bar cuando está completamente cargada. Es evidente que todavía son posibles otros ejemplos alternativos de rangos de presión, siempre y cuando en general la diferencia de presión pueda fluctuar libremente entre una diferencia de presión mínima predeterminada que es una pluralidad de órdenes de magnitud inferior a una diferencia de presión máxima predeterminada.

Está claro que, especialmente en el estado de plena carga, como la presión en la cámara 100 de hidrógeno, por ejemplo 500 bar, será sustancialmente mayor que la presión en la cámara 110 de electrolito, por ejemplo 3 bar, habrá una fuerza resultante de esta diferencia de presión en la membrana 123 entre la cámara 100 de hidrógeno y la cámara 110 de electrolito, actuando esta fuerza en la dirección del área con la presión más baja que es la cámara 110 de electrolito. Como se explicará más adelante con referencia a la figura 2, el ensamble de electrodos de membrana se desarrolla para poder soportar tal diferencia de presión elevada entre la cámara 100 de hidrógeno y la cámara 110 de electrolito. De esta manera se realiza un ensamble de pila de batería simple y robusto que no requieren elementos adicionales en el circuito de hidrógeno para comprimir gas hidrógeno de baja presión desde la cámara de hidrógeno hasta hidrógeno de alta presión en el depósito de hidrógeno para un almacenamiento eficiente del mineral y para la expansión del mismo gas hidrógeno de alta presión en el depósito de nuevo a una presión más baja en la cámara de hidrógeno, lo que simplifica claramente el circuito de circulación de gas de hidrógeno. Como se muestra en la Figura 1, este circuito puede simplificarse aún más proporcionando una única conexión directa entre la cámara 100 de hidrógeno y el depósito 30 de hidrógeno, ya que la difusión del gas de hidrógeno entre la cámara 100 de hidrógeno y el depósito 30 de hidrógeno generará los intercambios de gas hidrógeno requeridos para un funcionamiento eficaz de la celda de batería.

De acuerdo con una realización mostrada en la figura 2, una celda 10 de batería comprende una membrana 123 plana, una capa 124 de difusión de hidrógeno, un electrodo 121 de hidrógeno, una trayectoria 101 de flujo de gas de hidrógeno, una capa 125 de difusión de electrolito, un electrodo 122 de electrolito y una trayectoria de flujo del electrolito 111 halógeno líquido. La membrana 123 plana se extiende a lo largo de un plano 4 central y comprende una superficie 20 de hidrógeno situada en un lado del plano 4 central y una superficie 21 de electrolito situada en el lado opuesto del plano 4 central. La membrana 123 plana sólo permite la difusión de protones 200 entre el electrodo 121 de hidrógeno y el electrodo 122 de electrolito. La membrana 123 plana está hecha de un polímero no poroso, por ejemplo copolímeros de un esqueleto de polímero y grupos funcionales ácidos, que están comercialmente disponibles, tales como por ejemplo Nafion®, Aciplex®, Hyflon®, Flemion®, Fumapem®. En una realización alternativa, las partículas de carga con una morfología controlada tal como por ejemplo fosfato de zirconio pueden añadirse a la membrana 123 plana para bloquear el transporte de partículas distintas de los protones 200, usando la diferencia de tamaño entre los protones 200 y partículas más grandes que podrían difundirse a través de la membrana 123 plana. La membrana 123 plana puede tener por ejemplo un refuerzo para aumentar la resistencia mecánica añadiendo, por ejemplo, componentes químicos de reticulación, reticulación inducida por radiación, una matriz porosa o un tejido polimérico. Las matrices o tejidos de refuerzo deben tener una resistencia química adecuada y están hechos de materiales tales como PTFE, polipropileno, polisulfona, difluoruro de polivinilideno también denominado PVDF, polietileno, vidrio o carbono. El refuerzo puede tener la forma de una lámina porosa, una lámina expandida, fibrillas, fibras, no tejidos y tejidos. En la figura 2, la celda 10 de batería comprende además una capa 124 de difusión de hidrógeno que comprende un lado de membrana 22 y un lado 23 de hidrógeno opuesto. La capa de difusión de hidrógeno cubre la superficie 20 de hidrógeno de la membrana 123 plana con su lado de membrana 22. El electrodo 121 de hidrógeno comprende además una superficie de contacto de electrodo de hidrógeno que cubre parcialmente el lado 23 de hidrógeno de la capa 124 de difusión de hidrógeno. La trayectoria de flujo del gas 101 de hidrógeno comprende una superficie de contacto de trayectoria de flujo de hidrógeno 25 que cubre parcialmente el lado 23 de hidrógeno de la capa 124 de difusión de hidrógeno. La celda 10 de batería comprende además una capa 125 de difusión de electrolito que comprende un lado de membrana 26 y un lado 27 de electrolito opuesto. La capa 125 de difusión de electrolito cubre la superficie 21 de electrolito con su lado de membrana 26. El electrodo de electrolito 121 comprende además una superficie 28 de contacto de electrodo de electrolito que cubre parcialmente el lado 27 de electrolito de la capa 125 de difusión de electrolito. La trayectoria de flujo del electrolito 111 halógeno líquido comprende una superficie 29 de contacto de trayectoria de flujo de electrolito que cubre parcialmente el lado 27 de electrolito de la capa 125 de difusión de electrolito. La capa 124 de difusión de hidrógeno y la capa 125 de difusión de electrolito están hechas, por ejemplo, de tejidos de fibras de carbono o no tejidos con un material aglutinante. Una capa de difusión de hidrógeno adecuada 124 y una capa 125 de difusión de electrolito están generalmente disponibles como por ejemplo fabricadas por compañías tales como por ejemplo Toray, SGL, Freudenberg y Engineered Fiber Technologies. Los materiales adecuados incluyen, por ejemplo, Toray TGP-H-030, Toray TGP-H-120, SGL Sigracet 10AA, SGL Sigracet 25BC, Freudenberg H2315, Fiber Technologies Spectracarb 1050 y Engineered Fiber Technologies Spectracarb 6060. La capa de catalizador de hidrógeno y la capa de catalizador de electrolito incluyen al menos un catalizador electroquímico, por ejemplo platino, y/o otros materiales preciosos o no metálicos, metales preciosos o metales. Los términos capa de catalizador de hidrógeno y capa de catalizador de electrolito se refieren a capas de tal material de catalizador capaz de mejorar la eficiencia de la conversión electroquímica respectiva en las condiciones electroquímicas apropiadas.

Como es visible en la Fig. 2, el electrodo 122 de electrolito comprende además un soporte 140 mecánico. El soporte 140 mecánico está hecho de un material eléctricamente conductor y poroso con el fin de permitir el transporte de

5 electrones y del electrolito 111 halógeno líquido a la capa de catalizador electrolítico y a la membrana 123 plana. El tamaño de los poros en el soporte 140 mecánico poroso se determina y se elige para ofrecer un equilibrio entre una difusión óptima del electrolito 111 halógeno líquido a través del soporte 140 mecánico y la resistencia mecánica del soporte 140 mecánico. El diámetro hidráulico es, por ejemplo, de 0,01 a 5 veces el espesor de la membrana 123 plana. La membrana 123 plana tiene, por ejemplo, un espesor en el intervalo de 0,005 mm a 0,500 mm, por ejemplo 0,050 mm. Se selecciona un diámetro de poro más pequeño para los ensamblajes 1 de batería de flujo que funcionan con una diferencia de presión elevada entre la cámara 100 de hidrógeno y la cámara 110 de electrolito, por ejemplo varios cientos de barras, para no poner en peligro la resistencia mecánica del soporte 140 mecánico. El soporte 140 mecánico, por ejemplo, puede estar hecho de metal poroso tal como titanio, tantalio o acero. De acuerdo con una realización alternativa, el soporte 140 mecánico puede estar hecho de la combinación de un material compuesto de fibra de grafito o fibra de carbono y un metal poroso tal como titanio, tantalio o acero. La fibra de grafito o compuesto de fibra de carbono es preferiblemente de 2 a 20 veces más delgada que el metal poroso, y preferiblemente de 3 a 10 veces más blanda que el metal poroso. De acuerdo con otra realización alternativa, el soporte 140 mecánico también puede estar hecho de hojas metálicas expandidas o láminas metálicas perforadas.

15 El electrodo 121 de hidrógeno y el electrodo 122 de electrolito comprenden grafito. El soporte 140 mecánico comprende una combinación de fibra de grafito o fibra de carbono y un metal poroso. La tabla siguiente resume los parámetros materiales de la literatura en el campo de las ciencias de los materiales para grafito y para metales porosos adecuados implementados en una realización del ensamble 1 de baterías de flujo. Se estima que el módulo de Young del tantalio, del titanio y del acero están estimados a ser un tercio del valor del módulo de Young para el material a granel. El límite de elasticidad o de elasticidad de un material se entiende aquí de acuerdo con su definición en la ciencia de los materiales, es decir, como la tensión a la que un material comienza a deformarse plásticamente. Antes del punto de elasticidad, el material se deformará elásticamente y volverá a su forma original cuando se elimine la tensión aplicada. Una vez pasado el límite de elasticidad, una fracción de la deformación será permanente y no reversible.

		Grafito	Tantalio	Titanio	Acero
Módulo de Young	GPa	3	62	38,9	66,7
Fuerza de rendimiento	MPa	10	60	33,3	173,3

25 Bajo la fuerza generada por una gran diferencia de presión entre la cámara 100 de hidrógeno y la cámara 110 de electrolito, la membrana 123 ejercerá una fuerza en la dirección del electrodo 122 de electrolito como se ha explicado anteriormente. Un electrodo 122 de electrolito hecho de grafito deformará más fácilmente el electrodo 122 de electrolito hecho de un metal tal como tantalio, titanio o acero. Sin embargo, la conductividad eléctrica de tales metales es menor que la del grafito y daría por resultado una celda de batería menos eficiente. Por esta razón, como se muestra en la figura 2, preferiblemente el electrodo 122 de electrolito comprende una combinación de un material compuesto de fibra de grafito o de fibra de carbono y un metal poroso tal como titanio, tantalio o acero, que forman un soporte 140 mecánico para la membrana 123 de esta manera se reduce el riesgo de daño de la membrana 123 plana cuando está soportado por el soporte 140 mecánico con un módulo y una resistencia de Young más altos, mientras que también el rendimiento eléctrico de la celda 10 de batería debido a la mayor conductividad eléctrica de por ejemplo grafito en las otras regiones del electrodo de electrolito. Esto garantiza un transporte eficiente de electrones en el electrodo 122 de electrolito y la presencia de material de fibra de grafito o de material compuesto de fibra de carbono lo hace además más resistente a la corrosión que si el electrodo 122 de electrolito fuera totalmente metálico.

40 El soporte 140 mecánico puede ser procesado con técnicas de sinterización tradicionales o con procesos de fabricación en capas tales como la sinterización por láser de metal directo. La principal ventaja del proceso de sinterización por láser de metal directo sobre un proceso de sinterización convencional es una mayor libertad de diseño para el diseño del soporte 140 mecánico. El proceso no requiere ninguna etapa de procesamiento adicional para incorporar poros de diferentes dimensiones o formas o entrada o canales de salida, como es visible en la figura 4B en el soporte 140 mecánico. Esto asegura que el proceso se mantenga simple, comparado con un proceso de sinterización tradicional.

45 Está claro que otras realizaciones alternativas del soporte 140 mecánico son posibles siempre que, en general, el soporte 140 mecánico esté hecho de un material con un valor de límite de elasticidad mayor que un umbral de límite de elasticidad predeterminado tal que una deformación máxima permisible de la membrana se puede garantizar cuando está en estado completamente cargado. Típicamente, este umbral predeterminado de resistencia elástica es mayor que 30 MPa.

50 Como es visible en la Fig. 2, la superficie de soporte de membrana del soporte 140 mecánico está en contacto

5 directo con la capa 125 de difusión de electrolito. De acuerdo con una realización alternativa, una capa de papel de grafito o cualquier otro material eléctricamente conductor adecuado puede ser colocada entre la capa 125 de difusión de electrolito y el soporte 140 mecánico. Esta capa adicional aumenta la conductividad eléctrica en la vecindad de la membrana 123 plana. De acuerdo con aún otra realización, el soporte 140 mecánico podría encapsularse en el material de grafito del electrodo 122 de electrolito.

10 Como es visible en la figura 2, la celda 10 de batería comprende además un sellamiento 130 situado en el área entre el electrodo 121 de hidrógeno y el electrodo 122 de electrolito que no está ocupado por la membrana 123 plana y/o la capa 124 de difusión de hidrógeno y/o la capa 125 de difusión de electrolito. El sellamiento 130 está presente para evitar que el gas 101 de hidrógeno y el electrolito 111 halógeno líquido estén en contacto directo entre sí. El sellamiento 130 es una película polimérica hecha de, por ejemplo, polietileno, polifenileno-sulfuro o politetrafluoroetileno. De acuerdo con una realización alternativa, se puede usar una lámina metálica o un caucho, tal como por ejemplo monómero de etileno propileno-dieno (EPDM) o fluoruro de clorotrifluoroetileno-vinilideno (FKM) o fluorocarbono, para sellar la celda 10 de batería. Las láminas poliméricas de metal o caucho están conectados preferiblemente al ensamble 120 de electrodo de membrana a través de un proceso de laminación. Se pueden usar diversos materiales durante el proceso de laminación, tales como por ejemplo capas adhesivas, polímeros termoplásticos, resinas o películas de reticulación. De acuerdo con una realización alternativa, el proceso de laminación se sustituye por un proceso de moldeo por inyección para moldear un área de sellado en el perímetro exterior del ensamble 120 de electrodo de membrana, fuera del área electroquímicamente activa. De acuerdo con otra realización alternativa, el proceso de moldeo por inyección se sustituye por un proceso de moldeo por transferencia. Como es visible en la figura 2, el sellamiento 130 comprende una junta que es plana. De acuerdo con una realización alternativa, el sellamiento 130 presenta una junta que tiene espesantes locales, que pueden estar situados alrededor de los orificios 145 pasantes de alimentación, y que pueden tener una sección transversal cuadrada o semicircular, o cualquier otra forma.

25 La figura 3 ilustra esquemáticamente una sección de la cámara 110 de electrolito y el soporte 140 mecánico de un electrodo 122 de electrolito de la realización de la figura 2. Los componentes que tienen números de referencia idénticos a los componentes de la figura 2 realizan la misma función. El soporte 140 mecánico comprende una superficie 141 de soporte de membrana en contacto con la capa 125 de difusión de electrolito y que comprende una superficie 28 de contacto de electrodo de electrolito. El soporte 140 mecánico comprende además una superficie 142 de soporte opuesta que aloja el flujo de electrolito 111 en forma de un canal 143 de entrada de electrolito y un canal 144 de salida de electrolito ambos que se extienden dentro del soporte 140 mecánico desde la superficie 142 de soporte opuesta. El soporte 140 mecánico comprende orificios 145 pasantes de alimentación que se extienden a través del soporte 140 mecánico desde el canal 143 de entrada de electrolito y el canal 144 de salida de electrolito a la superficie de soporte de la membrana 141, formando de este modo la superficie 29 de contacto de la trayectoria de flujo de electrolito. La superficie 28 de contacto del electrodo de electrolito es más grande que la superficie 29 de contacto de la trayectoria de flujo de electrolito. Por ejemplo, la superficie 29 de contacto del electrodo de electrolito corresponde preferiblemente al 80% o más de la superficie de la superficie 141 de soporte de membrana. Los orificios 145 pasantes de alimentación tienen un diámetro de 0,01 a 2 mm, y preferiblemente de 0,1 a 0,3 mm. Como puede verse en la figura 3, los orificios pasantes de alimentación pueden colocarse periódicamente a lo largo de la superficie 141 de soporte de membrana, pero de acuerdo con una realización alternativa, los orificios 145 pasantes de alimentación pueden distribuirse de forma no periódica sobre la superficie 141 de soporte de membrana.

40 De acuerdo con una realización mostrada en la figura 4, el soporte 140 mecánico comprende una superficie 141 de soporte de membrana que es sustancialmente plana y una superficie 28 de contacto de electrodo de electrolito en el lado opuesto, que comprende dos canales. El soporte 140 mecánico comprende además una superficie 142 de soporte opuesta que aloja el flujo del electrolito 111 en forma de un canal 143 de entrada de electrolito y un canal 144 de salida de electrolito ambos que se extienden dentro del soporte 140 mecánico desde la superficie 142 de soporte opuesta. El soporte 140 mecánico comprende orificios 145 pasantes de alimentación que se extienden a través del soporte 140 mecánico desde el canal 143 de entrada de electrolito y el canal 144 de salida de electrolito a la superficie 141 de soporte de membrana, formando de este modo la superficie 29 de contacto de trayectoria de flujo de electrolito. Los orificios 145 pasantes de alimentación tienen un diámetro de 0,01 a 2 mm, y preferiblemente de 0,1 a 0,3 mm. Como se puede ver en la figura 3, los orificios pasantes de alimentación pueden posicionarse periódicamente a lo largo de la superficie 141 de soporte de membrana, pero de acuerdo con una realización alternativa, los orificios 145 pasantes de alimentación pueden distribuirse de forma no periódica sobre la superficie 141 de soporte de membrana. El canal 143 de entrada de electrolito y el canal 144 de salida de electrolito forman una trayectoria de flujo interdigitada para el electrolito 111 halógeno líquido. Los dos canales aseguran una macro de distribución uniforme del electrolito 111 halógeno líquido sobre el lado 27 de electrolito opuesto activo de la capa 125 de difusión de electrolito. Después de fluir a través de los orificios 145 pasantes de alimentación y a través de la capa 125 de difusión de electrolito y la capa de catalizador de electrolito, el electrolito 111 halógeno líquido vuelve al soporte 140 mecánico a través de un segundo patrón de orificios pasantes 145 de alimentación que están conectados al canal 144 de salida de electrolito. De acuerdo con una realización alternativa, el soporte 140 mecánico puede comprender una pluralidad de canales 143 de entrada de electrolitos y/o canales 144 de salida de electrolito. De acuerdo con otra realización alternativa, el soporte 140 mecánico puede comprender un único canal de entrada y salida de electrolito, formando de este modo el patrón conocido de un "campo de flujo de serpiente".

Como es visible en la figura 4, los orificios 145 pasantes de alimentación son circulares, pero de acuerdo con otra realización, los orificios de alimentación 145 pueden tener cualquier otra forma, tal como por ejemplo cuadrados, triángulos, rombos, etc.

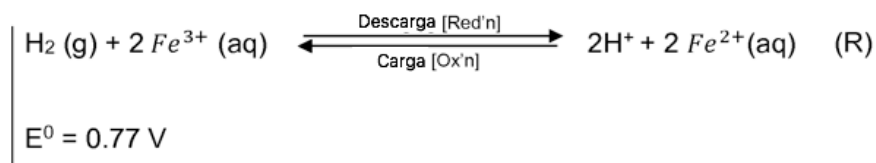
5 De acuerdo con una realización mostrada en la figura 5, el ensamble 1 de batería de flujo comprende una pluralidad de celdas 10 de batería similares a la celda 10 de batería descrita en las realizaciones de las figuras 1 a 4. Cada celda 10 de batería comprende un electrodo 121 de hidrógeno, un electrodo 122 de electrolito, un soporte 140 mecánico, una membrana 123 plana que se extiende a lo largo de un plano 4 central, una capa 124 de difusión de hidrógeno, una capa 125 de difusión de electrolito y un sellamiento 130. El electrodo 121 de hidrógeno de al menos uno de las celdas 10 de batería del ensamble 1 de batería de flujo se acoplan al electrodo 122 de electrolito de una celda 10 de batería adyacente. Como es visible en la Fig. 6, el electrodo 121 de hidrógeno de una celda 10 de batería y el electrodo 122 de electrolito de una celda 10 de batería adyacente se forman como una sola unidad. De acuerdo con una realización alternativa, el electrodo 121 de hidrógeno de una celda 10 de batería y el electrodo 122 de electrolito de una celda 10 de batería adyacente están conectados, por ejemplo, con uno o más cables conductores de la electricidad o conectados con una o más placas eléctricamente conductoras. El gas 101 de hidrógeno fluye desde un depósito 30 de hidrógeno a través de cada trayectoria 5 de flujo de entrada de hidrógeno a cada cámara 100 de hidrógeno de cada una de las celdas 10 de batería y vuelve al depósito 30 de hidrógeno a través de cada trayectoria 5 de flujo de salida de hidrógeno. El electrolito 111 halógeno líquido fluye desde un depósito 31 de electrolito a través de cada trayectoria 7 de flujo de entrada de electrolito a cada cámara 110 de electrolito de cada una de las celdas 10 de batería. El electrolito 111 halógeno líquido vuelve al depósito 31 de electrolito a través de cada ruta de flujo de salida 8 de electrolito. Como es visible en la Fig. 5, el ensamble 1 de batería de flujo comprende unas bridas 30 entre las cuales se apilan la pluralidad de celdas de batería a lo largo de un eje 9 longitudinal. Como es visible en la Fig. 5, el ensamble 1 de batería de flujo comprende además elementos 31 de fijación configurados para cooperar con las bridas 30 de tal manera que las celdas de la batería 10 se aseguran entre las bridas 30.

25 De acuerdo con una realización mostrada en la figura 6, el ensamble 1 de batería de flujo descrito similar a la batería de flujo descrita en la figura 1 hasta la figura 5 está completamente posicionado en el depósito 30 de hidrógeno. El ensamble 1 de batería de flujo comprende una celda 10 de batería que comprende una cámara 110 de hidrógeno, una cámara 110 de electrolito, un electrodo 121 de hidrógeno, un electrodo 122 de electrolito, un ensamble 120 de electrodo de membrana configurado para permitir una difusión de protones 200 durante una carga 2 y una operación 3 de descarga del ensamble 1 de batería de flujo. La diferencia de potencial entre el electrodo 121 de hidrógeno y el electrodo 122 de electrolito puede aplicarse a una carga 50 eléctrica como se muestra en la figura 6. Un depósito 31 de electrolito está conectado a la cámara 110 de electrolito del ensamble 1 de batería de flujo y comprende un electrolito 111 halógeno líquido. Como se muestra en la figura 6, se proporcionan dos conexiones entre el depósito 31 de electrolito y la cámara 110 de electrolito, por ejemplo en forma de tubos, líneas, tuberías, conectores adecuados, etc., lo que permite un flujo 7 de entrada de electrolito 111 halógeno líquido en la cámara 110 de electrolito desde el depósito 31 de electrolito y un flujo 8 de salida de electrolito 111 halógeno líquido de la cámara 110 de electrolito al depósito 110 de electrolito. La cámara 110 de electrolito está configurada para alojar una trayectoria de flujo del electrolito 111 halógeno líquido entre una entrada 7 de electrolito y una salida 8 de electrolito. Un depósito 30 de hidrógeno está conectado a la cámara 100 de hidrógeno del ensamble 1 de batería de flujo y está configurado para retener el gas 101 de hidrógeno. Como es visible en la figura 6, la cámara 100 de hidrógeno está configurada para alojar una trayectoria 101 de flujo de gas de hidrógeno entre una entrada 5 de hidrógeno separada desde un depósito 30 de hidrógeno a la cámara 100 de hidrógeno y una salida 6 de hidrógeno de la cámara 100 de hidrógeno al depósito 30 de hidrógeno.

45 De acuerdo con una realización mostrada en la figura 7, la evolución de la presión en la cámara 100 de hidrógeno y en la cámara 110 de electrolito se muestra durante una operación 2 de carga y una operación 3 de descarga. Al comienzo de la operación 2 de carga, la presión en la cámara 100 de hidrógeno es de 5 bares, y la presión en la cámara 110 de electrolito es de 4 bares. Durante la operación 2 de carga, se genera hidrógeno de acuerdo con la reacción (R) descrita anteriormente, y por lo tanto, la presión en la cámara 100 de hidrógeno aumenta, hasta que alcanza 800 bares. Durante la operación 2 de carga, la presión en la cámara 110 de electrolito disminuye o incluso permanece sustancialmente constante. Al comienzo de la operación 3 de descarga, la presión en la cámara 100 de hidrógeno es de 800 bares, y la presión en la cámara 110 de electrolito es de 4 bares. Durante la operación 3 de descarga, el hidrógeno se consume de acuerdo con la reacción (R) descrita anteriormente, y por lo tanto, la presión en la cámara 100 de hidrógeno disminuye, hasta que alcanza 5 bares. Durante la operación 3 de descarga, la presión en la cámara 110 de electrolito aumenta o incluso permanece sustancialmente constante.

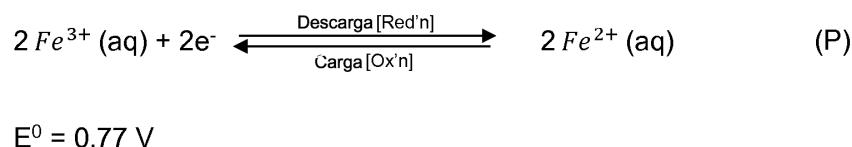
55 Además de las realizaciones descritas anteriormente para un ensamble de baterías de flujo de hidrógeno-halógeno, de acuerdo con una realización adicional, tal ensamble 1 de batería de flujo es también adecuado para uso como un ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno-hierro, o en general como cualquier otro ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno-hierro adecuado. En el caso de un ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno-hierro, el electrolito líquido comprende hierro como elemento electroactivo. El principio de funcionamiento electroquímico general del ensamble 1 de batería de flujo en el caso de un ensamble de baterías de flujo rédox de hidrógeno-hierro puede describirse con respecto a una carga 2 y una operación 3 de descarga. Las reacciones de carga 2/descarga 3

pertinentes se describen mediante la ecuación (R).

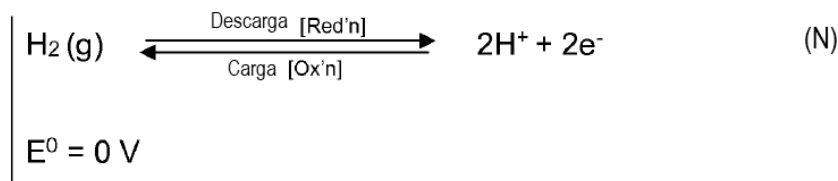


5

Donde $\text{H}_2 (\text{g})$ es gas hidrógeno 101, $\text{Fe}^{3+} (\text{aq})$ y $\text{Fe}^{2+} (\text{aq})$ son iones hierro en una solución acuosa, H^+ es un protón, y E^0 es el potencial estándar del electrodo $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ (0,77 V vs. Electrodo estándar de hidrógeno, también conocido como SHE). Estas reacciones también pueden describirse en términos de la reacción de semiceldas (P) en el electrodo 122 de electrolito y la reacción de semiceldas (N) en el electrodo 121 de hidrógeno:



donde $\text{Fe}^{3+} (\text{aq})$ y $\text{Fe}^{2+} (\text{aq})$ son iones de hierro en una solución acuosa, e^- es un electrón y E^0 es el potencial estándar del electrodo $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ (0,77 V frente al Electrodo estándar de hidrógeno, también denominado SHE).



10

donde $\text{H}_2 (\text{g})$ es gas hidrógeno 101, e^- es un electrón, y H^+ es un protón.

15

20

25

30

Aunque la presente invención se ha ilustrado haciendo referencia a realizaciones específicas, será evidente para los expertos en la técnica que la invención no se limita a los detalles de las realizaciones ilustrativas anteriores y que la presente invención se puede realizar con diversos cambios y modificaciones sin apartarse del alcance de la misma. Por lo tanto, las presentes realizaciones deben considerarse en todos los aspectos como ilustrativas y no restrictivas, estando el alcance de la invención indicado por las reivindicaciones adjuntas más que por la descripción anterior, y todos los cambios que entran dentro del alcance de las reivindicaciones están por lo tanto destinados a ser abarcados por la misma. Además, el lector de esta solicitud de patente entenderá que las expresiones "que comprende" o "comprende" no excluyen otros elementos o etapas, que las palabras "un" o "una" no excluyen una pluralidad, y que un elemento individual, tal como un sistema informático, un procesador u otra unidad integrada puede cumplir las funciones de varios medios expuestos en las reivindicaciones. Los signos de referencia en las reivindicaciones no se interpretarán como limitativos de las reivindicaciones respectivas en cuestión. Los términos "primero", "segundo", "tercero", "a", "b", "c" y similares, cuando se usan en la descripción o en las reivindicaciones, se introducen para distinguir entre elementos o pasos similares y no están describiendo necesariamente un orden secuencial o cronológico, del mismo modo que los términos "superior", "inferior", "sobre", "bajo" y similares se introducen con fines descriptivos y no necesariamente para designar posiciones relativas. Los términos así utilizados son intercambiables bajo circunstancias apropiadas y las realizaciones de la invención son capaces de funcionar de acuerdo con la presente invención en otras secuencias, o en orientaciones diferentes de la o las descritas o ilustradas anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Un ensamble (1) de baterías de flujo rédox de hidrógeno que comprende:
- una o más celdas (10) de batería, comprendiendo cada celda (10) de batería:
- 5
- una cámara (100) de hidrógeno configurada para alojar una trayectoria de flujo de gas hidrógeno (101) entre una entrada (5) de hidrógeno y una salida (6) de hidrógeno;
 - una cámara (110) de electrolito configurada para alojar una trayectoria de flujo de electrolito (111) líquido entre una entrada (7) de electrolito y una salida (8) de electrolito;
- 10
- un ensamble (120) de electrodos de membrana que comprende un electrodo (121) de hidrógeno conectado a dicha cámara (100) de hidrógeno y un electrodo (122) de electrolito conectado a dicha cámara (110) de electrolito y una membrana (123) situada entre dicha cámara (100) de hidrógeno y dicha cámara (110) de electrolito, configurándose dicho ensamble (120) de electrodos de membrana para permitir solamente una difusión de protones (200) a través de dicho ensamble (120) de electrodos de membrana entre dicho gas (101) de hidrógeno en dicha cámara (100) de hidrógeno y dicho electrolito (111) líquido en dicha cámara (110) de electrolito;
- 15
- un depósito (30) de hidrógeno conectado a dicha cámara (100) de hidrógeno de dicha una o más celdas (10) de batería y configurado para retener dicho gas (101) de hidrógeno; y
 - un depósito (31) de electrolito conectado a dicha cámara (110) de electrolito de una o más celdas (10) de batería y configurado para retener dicho electrolito (111) líquido;
- caracterizado por que
- 20
- dicho ensamble (1) de baterías de flujo rédox de hidrógeno está configurado además para permitir una diferencia de presión no controlada entre la presión en dicha cámara (100) de hidrógeno de dicha celda (10) de batería y la presión en dicha cámara (110) de electrolito de dicha batería (10), en el que dicha diferencia de presión se determina mediante dicha difusión de protones (200) a través de dicho ensamble (120) de electrodos de membrana durante una operación de carga (2) y/o descarga (3); y
- 25
- dichas una o más celdas (10) de batería de dicho ensamble (1) de baterías de flujo rédox de hidrógeno están completamente colocadas en dicho depósito (30) de hidrógeno.
2. Un ensamble (1) de batería de flujo rédox de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho electrolito (111) líquido comprende un elemento halógeno que comprende uno o más de los siguientes:
- flúor;
 - cloro;
- 30
- bromo;
 - yodo;
 - astato;
- o en el que dicho electrolito (111) líquido comprende hierro, cerio o vanadio.
3. Un ensamble (1) de baterías de flujo de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que:
- 35
- dicha cámara (100) de hidrógeno y dicho depósito (30) de hidrógeno están acoplados directamente entre sí sin un elemento regulador de presión, de modo que se permita que dicha presión en dicha cámara (100) de hidrógeno y la presión en dicho depósito (30) de hidrógeno fluctúen de manera incontrolada; y/o
- 40
- dicha cámara (110) de electrolito y dicho depósito (31) de electrolito están acoplados directamente entre sí sin un elemento de regulación de presión de tal manera que se permita que dicha presión en dicha cámara (110) de electrolito y la presión en dicho depósito (31) de electrolito fluctúen de manera incontrolada.
4. Un ensamble (1) de batería de flujo rédox de hidrógeno según las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho

ensamble (1) de batería de flujo rédox de hidrógeno está configurado adicionalmente para permitir una diferencia de presión no controlada entre dicho depósito (30) de hidrógeno y dicho depósito (31) de electrolito, en el que dicha diferencia de presión se determina mediante dicha difusión de protones (200) a través de dicho ensamble (120) de electrodos de membrana durante una operación de carga (2) y/o descarga (3).

- 5 5. Un ensamble (1) de batería de flujo rédox de hidrógeno según las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicha presión en dicha cámara (100) de hidrógeno se deja fluctuar de una manera no controlada entre un valor de presión mínimo predeterminado cuando dicha celda (10) de batería está completamente descargada y un valor de presión máximo predeterminado cuando dicha celda (10) de batería está completamente cargada.
- 10 6. Un ensamble (1) de batería de flujo rédox de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 5, en el que dicho valor de presión mínimo predeterminado y dicho valor de presión máximo predeterminado pueden fluctuar entre 1,1 y 800 bar, preferiblemente entre 5 y 150 bar.
7. Un ensamble (1) de batería de flujo rédox de hidrógeno según las reivindicaciones 1 a 6, en el que cada celda (10) de batería comprende además:
- 15 - una membrana (123) plana que se extiende a lo largo de un plano (4) central y que comprende una superficie (20) de hidrógeno situada en un lado de dicho plano (4) central y una superficie (21) de electrolito situada en el lado opuesto de dicho plano (4) central, estando configurada dicha membrana (123) plana para permitir solamente dicha difusión de protones (200);
- una capa (124) de difusión de hidrógeno que comprende un lado (22) de membrana y un lado (23) de hidrógeno opuesto y configurado para cubrir dicha superficie (20) de hidrógeno con su lado (22) de membrana;
- 20 - comprendiendo además dicho electrodo (121) de hidrógeno una superficie (24) de contacto de electrodo de hidrógeno configurada para cubrir parcialmente dicho lado (23) de hidrógeno de dicha capa (124) de difusión de hidrógeno;
- dicha trayectoria (101) de flujo del gas de hidrógeno comprende una superficie (25) de contacto de trayectoria de flujo de hidrógeno configurada para cubrir parcialmente dicho lado (23) de hidrógeno de dicha capa (124) de difusión de hidrógeno;
- 25 - una capa (125) de difusión de electrolito que comprende un lado (26) de membrana y un lado (27) opuesto de electrolito y configurado para cubrir dicha superficie (21) de electrolito con su lado (26) de membrana;
- comprendiendo además dicho electrodo (122) de electrolito una superficie (28) de contacto de electrodo de electrolito configurada para cubrir parcialmente dicho lado (27) de electrolito de dicha capa (125) de difusión de electrolito; y
- 30 - dicha trayectoria de flujo del electrolito (111) líquido comprende una superficie (29) de contacto de trayectoria de flujo de electrolito configurada para cubrir parcialmente dicho lado (27) de electrolito de dicha capa (125) de difusión de electrolito.
- 35 8. Un ensamble (1) de baterías de flujo rédox de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 7, en el que dicho electrodo (122) de electrolito comprende además un soporte (140) mecánico hecho de un material con un valor de límite de elasticidad superior a un umbral de límite de elasticidad predeterminado tal que se puede garantizar una deformación máxima permisible de la membrana (123) plana cuando está en estado completamente cargado, comprendiendo dicho soporte (140) mecánico dicha superficie (28) de contacto del electrodo y alojando dicha superficie (29) de contacto de la trayectoria de flujo de electrolito.
- 40 9. Un ensamble (1) de batería de flujo rédox de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 8, en el que dicho umbral predeterminado de resistencia elástica es mayor que 30 MPa.
10. Un ensamble (1) de batería de flujo rédox de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 8, en el que dicho soporte (140) mecánico comprende:
- 45 - una superficie (141) de soporte de membrana en contacto con dicha capa (125) de difusión de electrolito y que comprende dicha superficie (28) de contacto de electrodo de electrolito;
- una superficie (142) de soporte opuesta que aloja dicho flujo de electrolito en la forma de un canal (143) de entrada de electrolito y un canal (144) de salida de electrolito que se extienden ambos dentro de dicho soporte (140) mecánico desde dicha superficie (142) de soporte opuesta;

- orificios (145) pasantes de alimentación que se extienden a través de dicho soporte (140) mecánico desde dicho canal (143) de entrada de electrolito y dicho canal (144) de salida de electrolito a dicha superficie (141) de soporte de membrana, formando de ese modo dicha superficie (29) de contacto de trayecto de flujo de electrolito.

5 11. Un ensamble (1) de batería de flujo rédox de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 10, en el que dicho canal (143) de entrada de electrolito y dicho canal (144) de salida de electrolito forman un trayecto de flujo interdigitado para dicho electrolito (111) líquido.

10 12. Un ensamble (1) de batería de flujo rédox de hidrógeno según las reivindicaciones 7 y 10, en el que la celda (10) de batería está configurada de modo que dicha superficie (28) de contacto de electrodo de electrolito sea más grande que dicha superficie (29) de contacto de trayecto de flujo de electrolito, preferiblemente dicha superficie (29) de contacto del electrodo de electrolito es 80% o más de la superficie (141) de soporte de membrana.

13. Un ensamble (1) de batería de flujo rédox de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 1, en el que:

- dicho ensamble (1) de baterías de flujo rédox de hidrógeno comprende una pluralidad de celdas (10) de batería; y

- dicho electrodo (121) de hidrógeno de al menos una de dichas celdas (10) de batería está acoplado a dicho electrodo (122) de electrolito de una siguiente de dichas celdas (10) de batería.

15 14. Un ensamble (1) de batería de flujo rédox de hidrógeno de acuerdo con la reivindicación 13, en el que dicho electrodo (121) de hidrógeno y dicho electrodo (122) de electrolito de dichas celdas (10) de batería acopladas están formados como una unidad única.

20 15. Un ensamble (1) de batería de flujo rédox de hidrógeno según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho depósito (31) de electrolito de dicho ensamble (1) de baterías de flujo rédox de hidrógeno está completamente posicionado en dicho depósito (30) de hidrógeno.

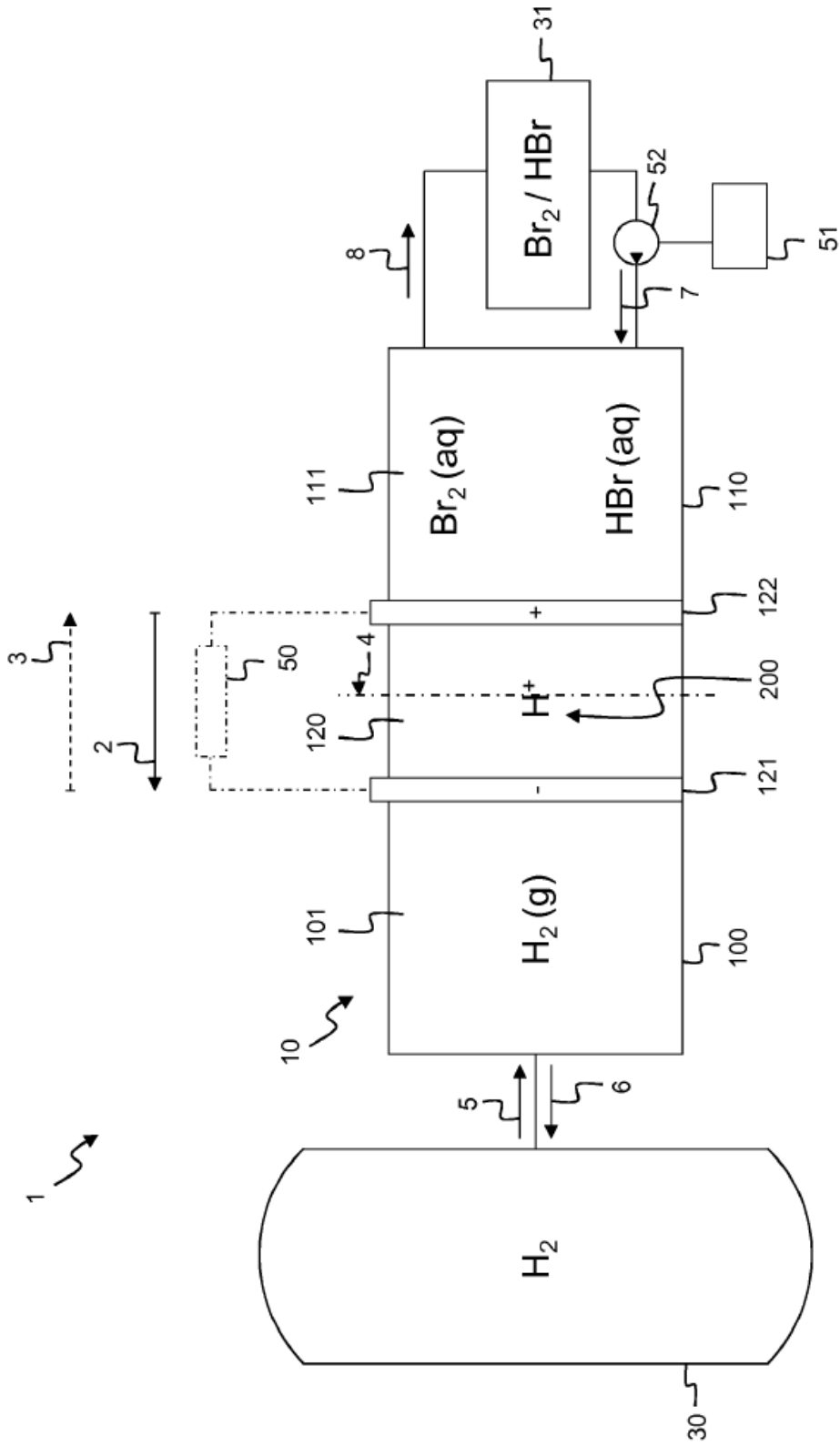


Fig. 1

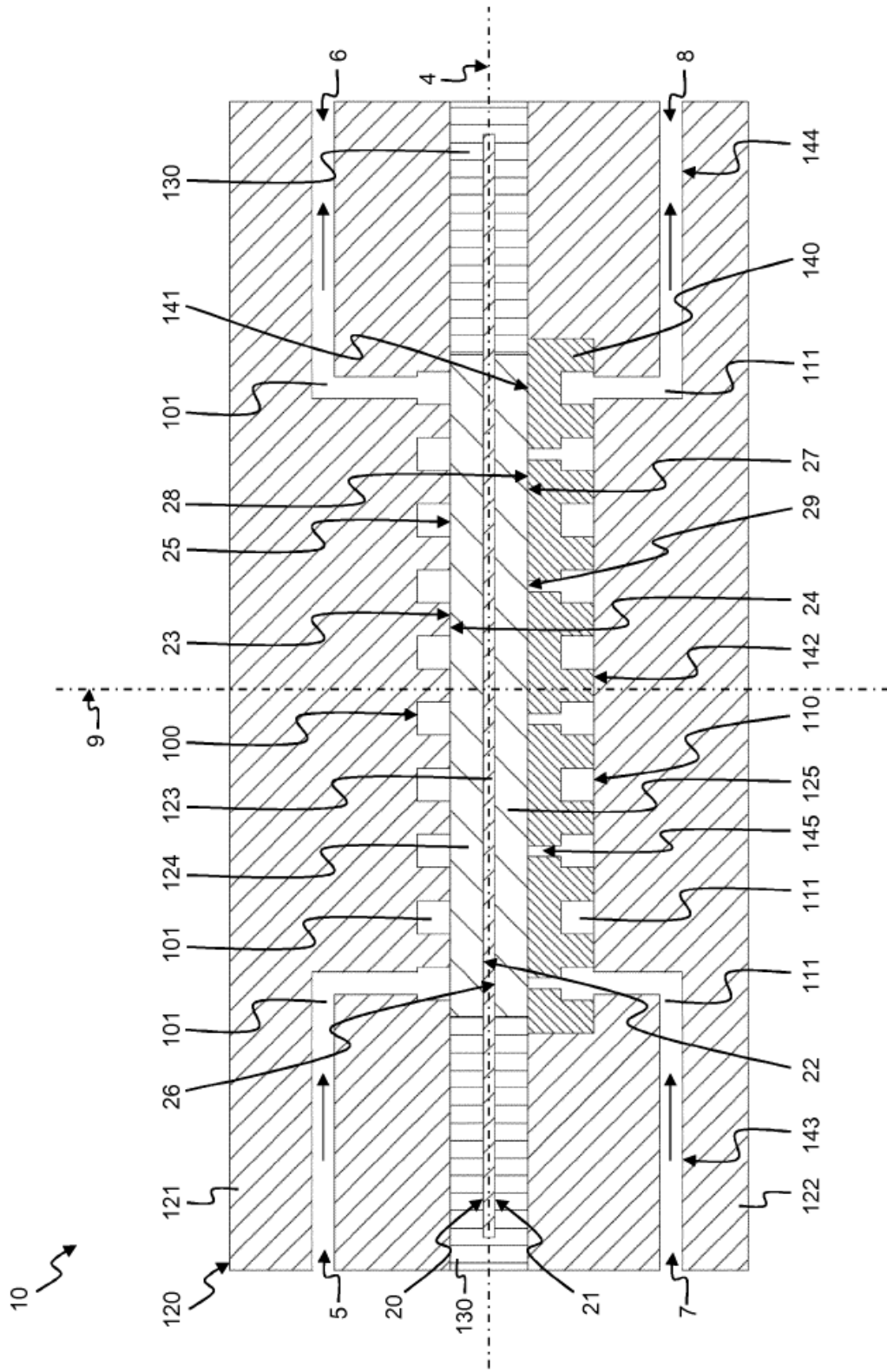


Fig. 2

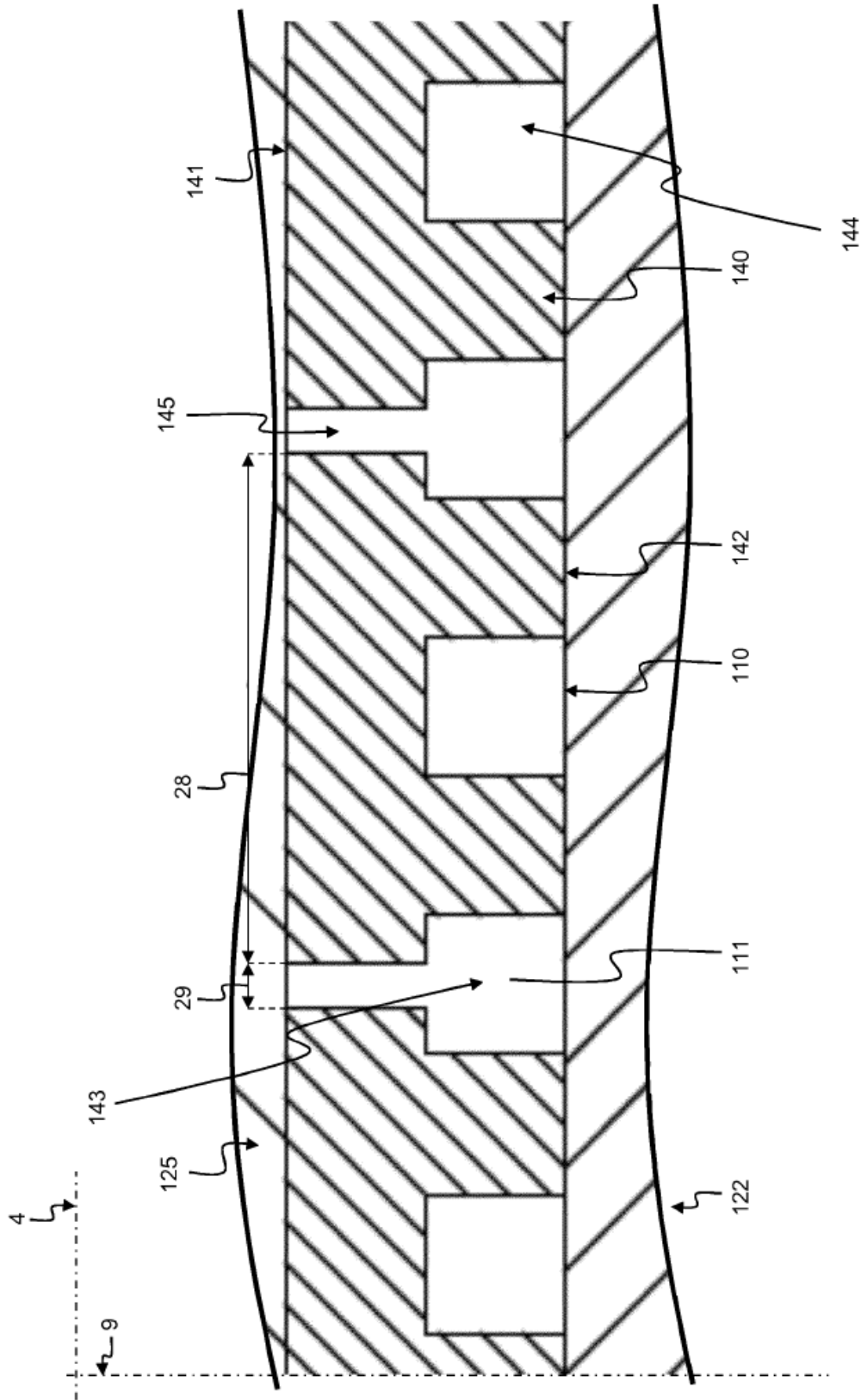


Fig. 3

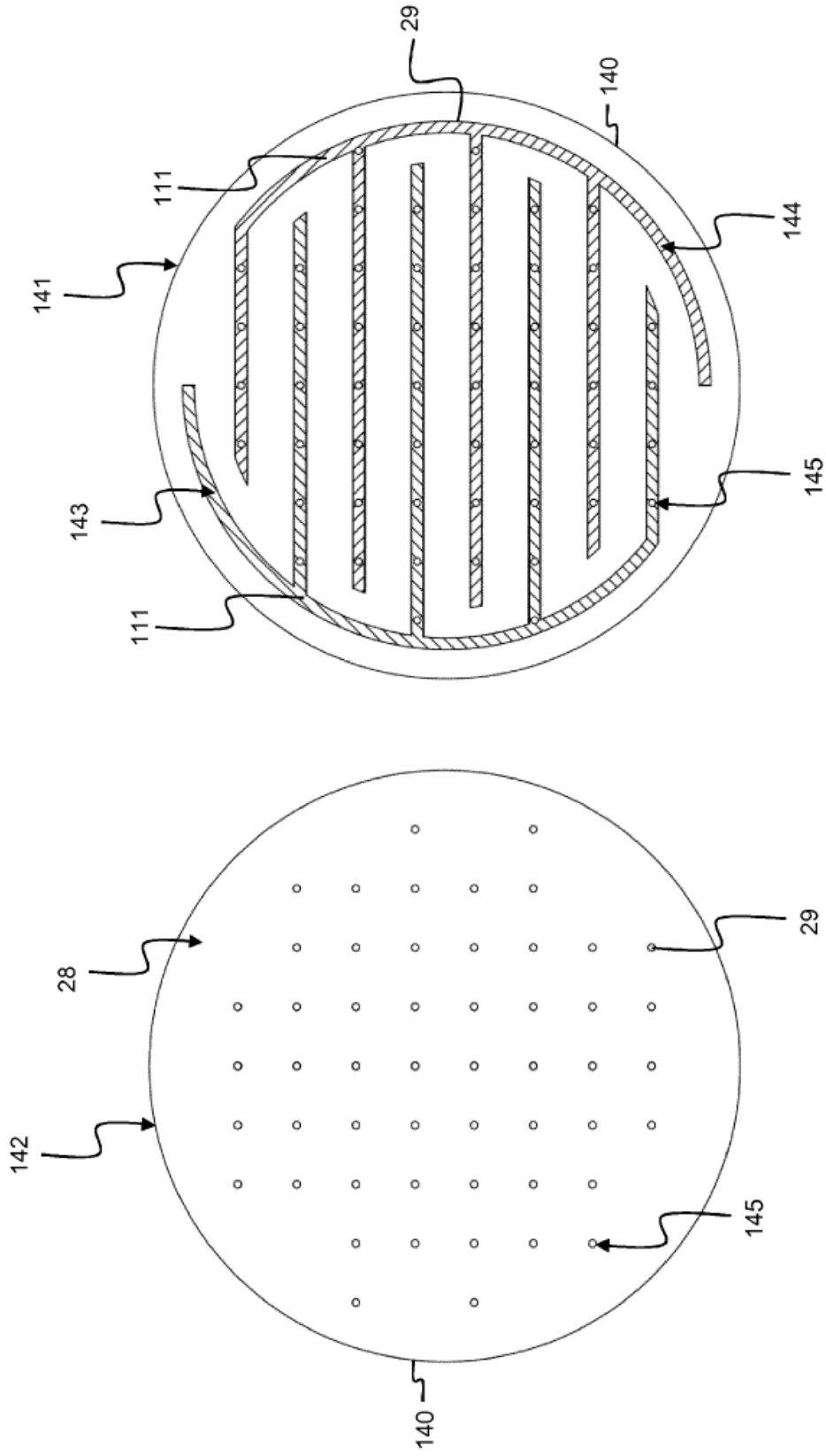


Fig. 4B

Fig. 4A

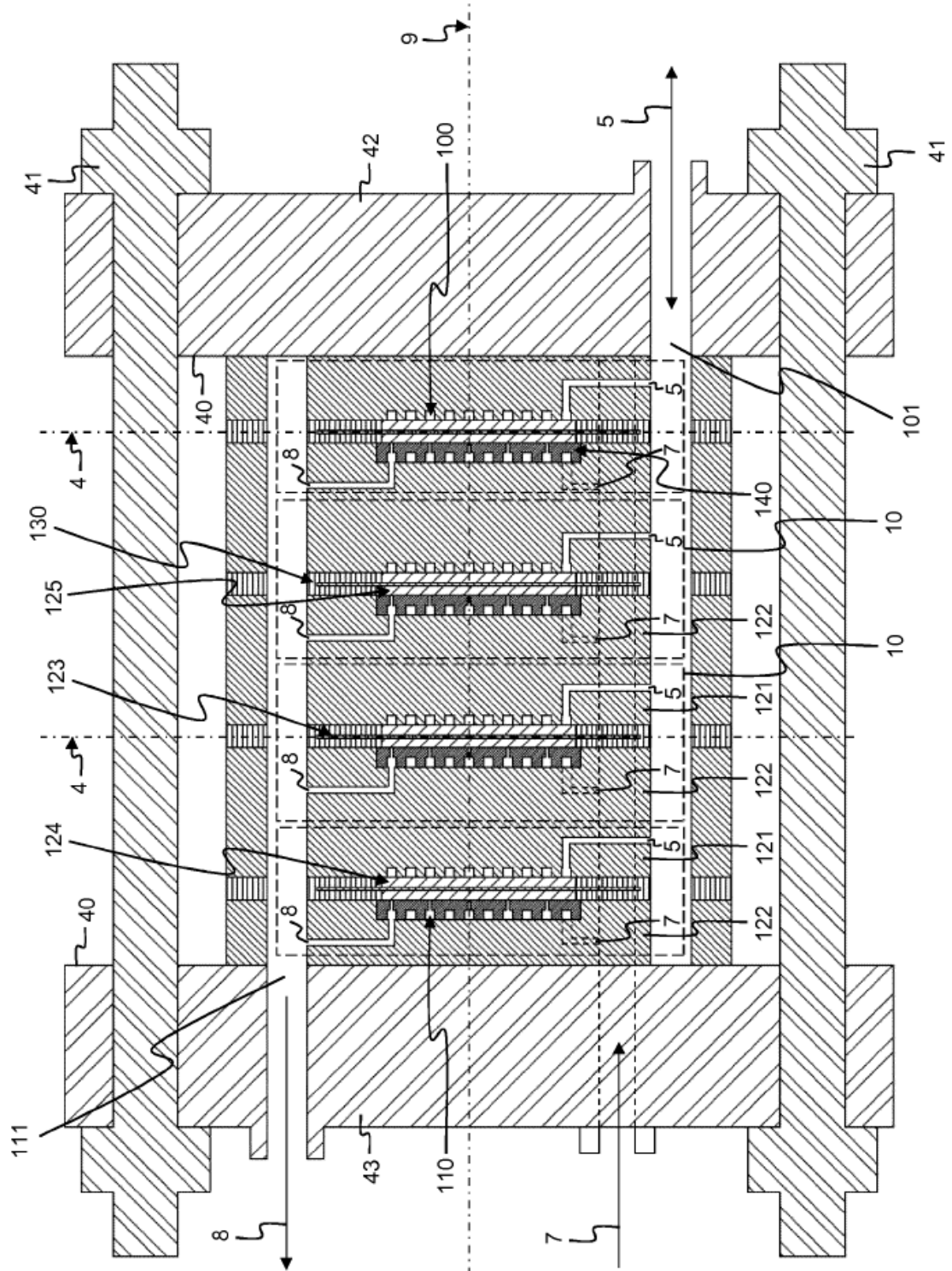


Fig. 5

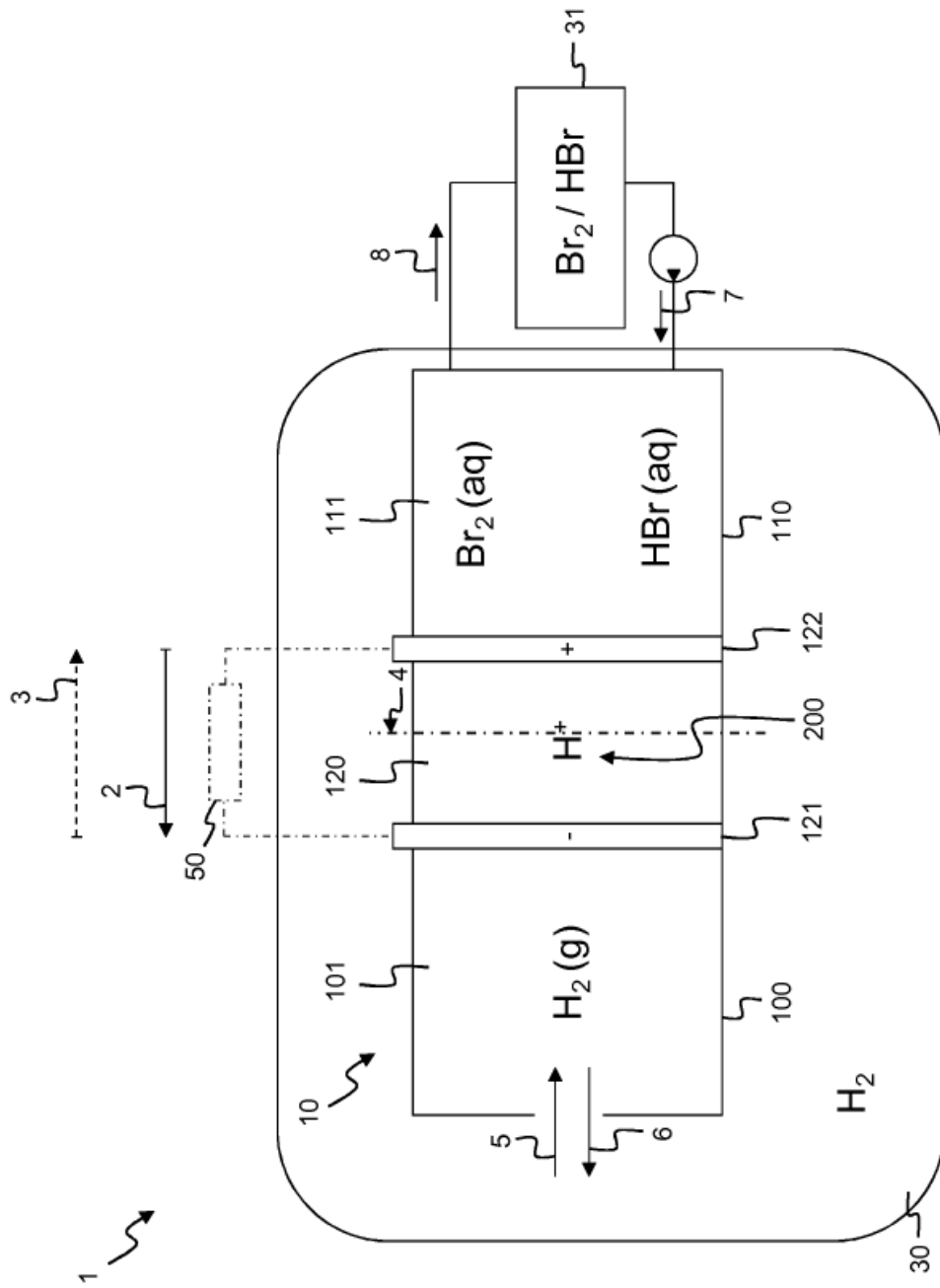


Fig. 6

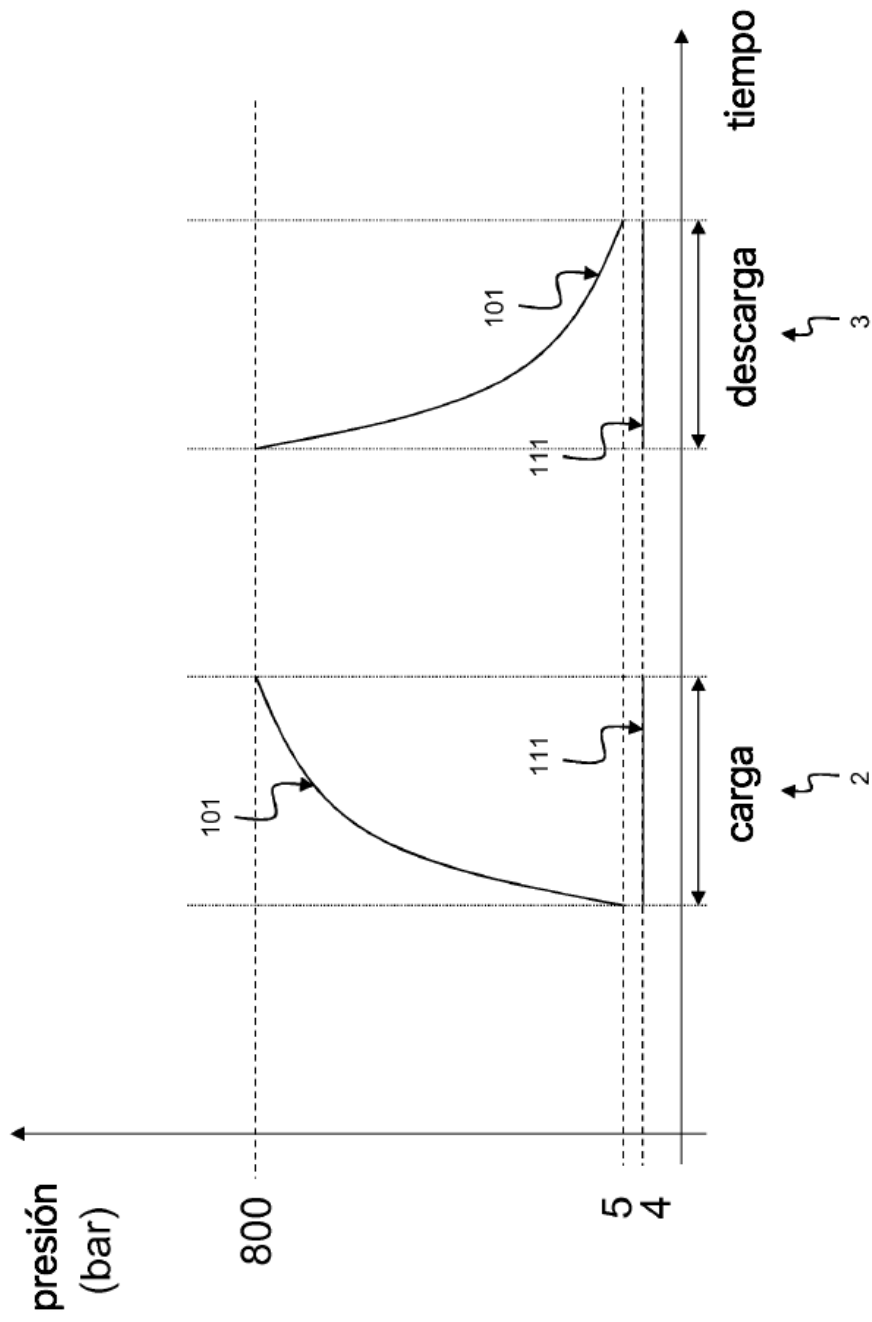


Fig. 7