

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 998 657**

51 Int. Cl.:

H01M 8/18

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.04.2021 PCT/EP2021/059865**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.10.2021 WO21209585**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.04.2021 E 21718133 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2024 EP 4136694**

54 Título: **Batería de flujo redox con electrolito inmiscible y electrodo de flujo a través**

30 Prioridad:

17.04.2020 EP 20382311

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

21.02.2025

73 Titular/es:

**FUNDACIÓN IMDEA ENERGÍA (100.00%)
Avenida Ramón de la Sagra 3, Parque
Tecnológico de Móstoles
28935 Móstoles (Madrid), ES**

72 Inventor/es:

**MONTES GUTIÉRREZ, ICIAR;
MARCILLA GARCÍA, REBECA;
PALMA DEL VAL, JESÚS;
VENTOSA ARBAIZAR, EDGAR;
VERA COELLO, MARCOS;
SÁNCHEZ SÁNZ, MARIO y
IBÁÑEZ LEÓN, SANTIAGO ENRIQUE**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 998 657 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

Batería de flujo redox con electrolito inmiscible y electrodo de flujo a través

Campo técnico

5 La presente invención se refiere al campo de las baterías. Más específicamente, la presente invención se refiere al campo de baterías de flujo redox.

Antecedentes

10 Debido al aumento del consumo y demanda de energía en todo el mundo, la generación de energía renovable, tal como a partir de energía solar y eólica es altamente atractiva, pero su naturaleza intermitente es problemática. Para compensar este inconveniente, se ha seguido en gran medida el uso y desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía apropiados. Las tecnologías de almacenamiento de energía existentes se clasifican como

15 Consideradas adecuadas para el almacenamiento de energía a gran escala, las baterías de flujo redox (RFB) se han propuesto como opciones prometedoras para sistemas de almacenamiento a escala de red debido a las ventajas únicas que presentan, tales como su diseño flexible, modular y respuesta rápida (Wang *et al.* Adv Funct Mater, 2013, 23(8):970-986). El nombre "redox" se refiere a reacciones electroquímicas de reducción y oxidación a través de las cuales se almacena energía en electrolitos. Una configuración de batería de flujo redox común comprende un primer y un segundo electrodo en contacto con un primer y un segundo electrolito que comprenden especies activas redox (denominadas anolito y catolito). En esta configuración de batería de flujo redox, el anolito y el catolito habitualmente están separados por un separador tal como una membrana selectiva de iones. El separador mantiene la neutralidad eléctrica durante el funcionamiento y mitiga el cruce o la contaminación cruzada de especies activas redox entre catolito y anolito. Sin embargo, no está garantizada una separación completa de los electrolitos. Además, los separadores cuestan aproximadamente un 30 % del coste total de la batería y su durabilidad es limitada. Por tanto, los separadores necesitan una sustitución regular, lo que aumenta los costes de mantenimiento de las baterías. Por ejemplo, el documento US2019/058205A1 describe una batería de flujo redox que comprende un electrodo negativo sumergido en un anolito, un electrodo positivo sumergido en un catolito, y un separador permeable a cationes que separa el anolito del catolito.

30 El documento US2020099080A1 describe una batería de flujo redox que usa un líquido separador generalmente estacionario que separa el anolito del catolito en interfases líquido-líquido inmiscibles. El documento WO2017151647 describe una mezcla que incluye un mediador que tiene un primer potencial redox, un material activo no líquido que tiene un segundo potencial redox que es menor que el primer potencial redox, y un catión. El documento ES2633601A1 describe una batería redox sin membrana que comprende electrolitos inmiscibles. No se necesita separador en dicha batería redox y los dos electrolitos inmiscibles se separan mediante una interfase. La batería descrita más adelante en el documento ES2633601A1 trabaja en modo estático, no puede cargarse completamente, tiene una baja densidad de potencia y una baja densidad de energía que conducen a un alto coste energético durante el modo de carga y a una baja eficiencia energética. Además, este tipo de batería presenta una alta probabilidad de experimentar reacciones parásitas.

40 Por tanto, a pesar de los sistemas mencionados anteriormente, es deseable desarrollar alternativas de batería de flujo redox con densidad de energía, densidad de potencia, eficiencia energética y rendimiento general aumentados.

Breve descripción de la invención

45 Los autores de la presente invención han diseñado una batería de flujo redox basada en al menos un electrodo de flujo a través y electrolitos inmiscibles (es decir, electrolitos líquidos insolubles entre sí, que cuando entran en contacto forman dos fases). El uso de la batería redox de la invención tiene la ventaja de un coste operativo y de fabricación reducido en comparación con otras baterías redox del estado de la técnica (es decir, no es necesario un separador entre los electrolitos tales como membranas poliméricas o cerámicas). Además, la batería de la presente invención tiene una densidad de energía aumentada. Además, la batería de flujo redox de la invención es más robusta y duradera que las baterías de la técnica. Además, la batería de la presente invención puede trabajar en estado dinámico a altas velocidades de flujo. Además, la batería de flujo redox de la invención que tiene al menos un electrodo de flujo a través, tiene sobrepotenciales reducidos que las baterías con electrodos de flujo paralelo.

Por tanto, un primer aspecto de la invención se refiere a una batería de flujo redox (10) que comprende:

a) un compartimento (1) que comprende

- un electrodo positivo (2) y un electrodo negativo (3);

en la que al menos un electrodo es un electrodo de flujo a través; preferiblemente un electrodo de flujo a través poroso;

- un catolito (4) y un anolito (5);

5 en la que el catolito (4) y el anolito (5) son inmiscibles entre sí; y en la que el catolito y el anolito están en contacto a través de una interfase líquido-líquido entre las mismas; y en la que la interfase líquido-líquido entre el catolito y el anolito consiste en el catolito y el anolito;

b) al menos un recipiente de depósito (6, 7) conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través de el al menos un electrodo de flujo a través (2, 3); en la que el al menos un recipiente de depósito comprende el catolito (4) y/o el anolito (5);

10 en la que el al menos un electrodo de flujo a través comprende un eje longitudinal X-X'; y en la que la batería de flujo redox comprende medios para dirigir el catolito (4) o el anolito (5) a través del al menos un electrodo de flujo a través en una dirección perpendicular al eje longitudinal X-X'.

15 En un segundo aspecto, la invención se refiere a un sistema de suministro y/o almacenamiento de energía que comprende al menos una batería de flujo redox (10) según la presente invención en cualquiera de sus realizaciones particulares. En particular, la batería de flujo redox puede actuar una batería secundaria y/o recargable, es decir, la batería de flujo redox puede configurarse para cargarse y descargarse de manera reversible.

En un tercer aspecto, la presente invención se refiere a un método de almacenamiento de electricidad que comprende las etapas de:

a) proporcionar una batería de flujo redox (10) según la invención;

20 b) dejar fluir o bombear el electrolito

- desde el al menos un recipiente de depósito (6, 7) en el interior del compartimento (1) a través del al menos un electrodo de flujo a través; o
- desde el compartimento (1) hasta el al menos un recipiente de depósito (6, 7) a través del al menos un electrodo de flujo a través;

25 en el que el electrolito es el catolito (4) y/o el anolito (5); y

c) oxidar las especies activas redox del catolito en el electrodo positivo (2) al estado oxidado correspondientes, mientras que las especies activas redox del anolito se reducen al estado reducido correspondiente en el electrodo negativo (3); en el que el al menos un electrodo de flujo a través comprende un eje longitudinal X-X'; y en el que el electrolito de la etapa (b) fluye en una dirección perpendicular al eje longitudinal X-X'.

30 En otro aspecto, la presente invención se refiere a un método de suministro de electricidad que comprende las etapas de:

a) proporcionar una batería de flujo redox según la invención;

b) dejar fluir o bombear el electrolito

- 35
- desde el al menos un recipiente de depósito (6, 7) hasta el compartimento (1) a través del al menos un electrodo de flujo a través; o
 - desde el compartimento (1) hasta el al menos un recipiente de depósito (6, 7) a través del al menos un electrodo de flujo a través;

en el que el electrolito es el catolito (4) o el anolito (5); y

40 c) reducir las especies activas redox del catolito en el electrodo positivo (2) a su estado reducido mientras que las especies activas redox del anolito se oxidan al estado oxidado correspondiente en el electrodo negativo (3);

en el que el al menos un electrodo de flujo a través comprende un eje longitudinal X-X'; y en el que el electrolito de la etapa (b) fluye en una dirección perpendicular al eje longitudinal X-X'.

Aún otro aspecto de la presente invención se refiere al uso de la batería de flujo redox (10) de la presente invención para almacenar o suministrar electricidad.

45 **Figuras**

Figura 1. Esquema de una batería de flujo redox según una realización particular de la presente invención (batería A).

Figura 2. Esquema de una batería de flujo redox (batería B).

Figura 3. Esquema de una batería redox según una realización particular de la presente invención.

Figura 4. Resultados de la voltametría cíclica de especies activas redox.

Figura 5. Coeficientes de reparto de especies activas redox en los electrolitos inmiscibles.

5 Figura 6. Perfiles de tensión representativos durante la carga de una batería de flujo redox de flujo a través (batería A) cuando se carga a 11 mA cm^{-2} usando diferentes velocidades de flujo (B-E).

Figura 7. Perfil de tensión representativo durante la carga de una batería de flujo paralelo (batería B) cuando se carga a 11 mA cm^{-2} usando diferentes velocidades de flujo.

10 Figura 8. Perfil de tensión durante la carga de las baterías de flujo a través (batería A) y flujo paralelo (batería B) a la misma densidad de corriente (11 mA cm^{-2}) y usando la misma velocidad de flujo (flujo B).

Figura 9. Comparación de la tensión de batería durante la carga en baterías de flujo a través (batería A) y flujo paralelo (batería B) usando diferentes velocidades de flujo.

15 Figura 10. Perfiles de tensión representativos durante la carga de la batería de flujo redox A (de flujo a través) cuando se carga a diferentes densidades de corriente. La velocidad de flujo usada es el flujo B para $11, 15$ y 20 mA cm^{-2} y también flujo C para 20 mA cm^{-2} .

Figura 11. Perfiles de tensión representativos durante la carga de la batería de flujo paralelo B cuando se carga a diferentes densidades de corriente ($4,4, 6,6$ y 11 mA cm^{-2}). La velocidad de flujo usada es el flujo B en todos los experimentos.

Figura 12. Esquema de una batería de flujo redox según una realización particular de la presente invención.

20 Descripción detallada de la invención

En el contexto de la presente invención, el término "redox" se refiere a reacciones electroquímicas de reducción y oxidación que ayuda a almacenar energía en una batería durante la carga y suministrar energía durante la descarga.

25 La batería de flujo redox de la invención está configurada para actuar como un sistema de almacenamiento y suministro de energía. En particular, la batería de flujo redox es una batería secundaria o recargable, es decir, se configura para cargarse y descargarse de manera reversible.

Tal como se definió anteriormente, un primer aspecto de la invención se refiere a una batería de flujo redox (10) que comprende:

a) un compartimento (1) que comprende

- un electrodo positivo (2) y un electrodo negativo (3);

30 en la que al menos un electrodo es un electrodo de flujo a través; preferiblemente un electrodo de flujo a través poroso;

- un catolito (4) y un anolito (5);

35 en la que el catolito (4) y el anolito (5) son inmiscibles entre sí; y en la que el catolito y el anolito están en contacto a través de una interfase líquido-líquido entre las mismas; y en la que la interfase líquido-líquido entre el catolito y el anolito consiste en el catolito y el anolito;

b) al menos un recipiente de depósito (6, 7) conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través del al menos un electrodo de flujo a través (2, 3); en la que el al menos un recipiente de depósito comprende el catolito (4) y/o el anolito (5);

40 en la que el al menos un electrodo de flujo a través comprende un eje longitudinal X-X'; y en la que la batería de flujo redox comprende medios para dirigir el catolito (4) o el anolito (5) a través del al menos un electrodo de flujo a través en una dirección perpendicular al eje longitudinal X-X'.

Una realización a modo de ejemplo y no limitativa de la batería de flujo redox de la invención se ilustra en la figura 1 y la figura 3.

45 En una realización, la batería redox de la invención puede trabajar en un modo dinámico o estático; preferiblemente en un modo dinámico.

En una realización particular, la batería redox de la invención es una batería de flujo redox. En el contexto de la

presente invención, el término "batería de flujo" se refiere a un sistema de batería en el que los reactantes y productos se transportan al exterior y al exterior de la batería.

5 En una realización particular, la batería redox no comprende un separador entre el catolito (4) y el anolito (5), particularmente no comprende un separador físico. En una realización más particular, la batería redox de la invención es una batería de flujo redox sin membrana.

El catolito (4) y el anolito (5) forman dos fases inmiscibles. La batería redox no comprende una fase adicional entre el catolito (4) y el anolito (5).

En una realización particular, la batería de la presente invención no es una batería de microfluído; particularmente no es una batería de flujo redox de microfluído.

10 En una realización más particular, la batería de la presente invención puede trabajar en condiciones de flujo transitorio o turbulento (es decir, no en condiciones de flujo laminar). Sorprendentemente, los autores de la presente invención han observado que la batería de la presente invención no necesita condiciones de flujo laminar para poder trabajar. En el contexto de la presente invención la expresión "condiciones de flujo laminar" se entiende como
15 trayectorias homogéneas en capas, pasándose de manera homogénea cada capa de partículas de fluido a las capas adyacentes con poco o ningún mezclado.

Compartimento

Tal como se definió anteriormente, el compartimento (1) comprendido en la batería de flujo redox de la presente invención comprende:

20 un electrodo positivo (2) y un electrodo negativo (3);

en la que al menos un electrodo es un electrodo de flujo a través; preferiblemente en la que el electrodo positivo y los electrodos negativos son electrodos de flujo a través; más preferiblemente en la que el electrodo positivo y los electrodos negativos son electrodos de flujo a través porosos;

un catolito (4) y un anolito (5);

25 en la que el catolito (4) y el anolito (5) son inmiscibles entre sí; y en la que el catolito y el anolito están en contacto a través de una interfase líquido-líquido entre las mismas; y en la que la interfase líquido-líquido entre el catolito y el anolito consiste en el catolito y el anolito.

30 En particular, el compartimento (1) de la batería de flujo redox de la presente invención no comprende un separador entre el catolito (4) y el anolito (5); preferiblemente no comprende un separador físico tal como una membrana o un filtro entre el catolito y el anolito; más preferiblemente no comprende una membrana tal como membrana selectiva para iones o una membrana microporosa entre el catolito y el anolito.

En una realización particular, el compartimento (1) comprendido en la batería de flujo redox de la presente invención, es un reactor; preferiblemente un reactor electroquímico.

35 En otra realización particular, el compartimento (1) comprendido en la batería de flujo redox de la presente invención está configurado para ser modular, reemplazable, escalable y/o independiente del resto de los componentes de la batería.

En una realización particular, el compartimento (1) de la batería de flujo redox de la presente invención comprende al menos dos aberturas (es decir, una entrada y una salida); preferiblemente cuatro aberturas (es decir, dos entradas y dos salidas).

40 En una realización más particular, el compartimento (1) de la batería de flujo redox de la presente invención tiene una entrada y una salida; en el que una salida es un electrodo de flujo a través y en el que los electrodos están orientados uno hacia el otro.

45 En una realización más particular, el compartimento (1) de la batería de flujo redox de la presente invención tiene dos entradas y dos salidas; en el que las dos entradas son los dos electrodos de flujo a través y en el que los electrodos de flujo a través están orientados uno hacia el otro.

El compartimento (1) está en comunicación de fluido con al menos un recipiente de depósito (6, 7) a través del al menos un electrodo de flujo a través (2, 3); en el que el al menos un recipiente de depósito comprende el catolito (4) y/o el anolito (5); particularmente en el que el al menos un electrodo de flujo a través es una entrada o una salida.

50 En una realización, el al menos un electrodo de flujo a través de la batería de la invención es una entrada o una salida del compartimento (1).

Electrolitos

- Los electrolitos de la presente invención son inmiscibles entre sí. En particular, el catolito (4) y el anolito (5) son inmiscibles entre sí (es decir, son insolubles entre sí). Por tanto, cuando se ponen en contacto, el catolito (4) y el anolito (5) forman dos fases inmiscibles (es decir, no pueden formar una fase homogénea); preferiblemente dos fases líquidas inmiscibles. Por tanto, si se mezclan el catolito y el anolito de la invención, cuando se sedimenta la mezcla, puede producirse la separación de fases espontánea, formando dos fases inmiscibles (catolito y anolito) separadas por una interfase líquido-líquido; particularmente, en las que dicha interfase líquido-líquido es consecuencia de la inmiscibilidad del catolito (4) y el anolito (5); más particularmente, en las que dicha interfase líquido-líquido se forma mediante el catolito (4) y el anolito (5).
- En una realización particular el compartimento (1) de la batería de la invención comprende electrolitos que consisten en un catolito (4) y un anolito (5) que son inmiscibles entre sí; particularmente el catolito (4) y el anolito (5) forman dos fases líquidas inmiscibles; dichas dos fases inmiscibles están en contacto mediante una interfase líquido-líquido formada entre las mismas como consecuencia de su inmiscibilidad.
- En una realización, la composición de la interfase líquido-líquido consiste en el catolito y el anolito; preferiblemente la interfase líquido-líquido no comprende un compuesto o líquido adicional.
- En una realización, la interfase líquido-líquido comprende dos lados opuestos, uno en contacto con el anolito y el opuesto en contacto con el catolito.
- En otra realización, la interfase líquido-líquido no es un tercer líquido, ni un separador ni una membrana.
- En el contexto de la presente invención, el término "electrolitos" se refiere a un catolito (4) y/o a un anolito (5). Además, el término "electrolito" se refiere a un catolito (4) o a un anolito (5).
- En una realización, cada uno de los electrolitos (es decir, el anolito y el catolito) de la invención comprende:
- al menos un disolvente;
 - opcionalmente una sal; y
 - especies activas redox.
- En una realización particular, el al menos un disolvente de los electrolitos es un líquido iónico. El líquido iónico puede seleccionarse de compuestos que comprenden un catión seleccionado de triazol, sulfonio, oxazolio, pirazolio, amonio, piridinio, pirimidinio, pirrolidinio, imidazolio, piridazinio, piperidinio, fosfonio, y un anión seleccionado de BF_4^- , PF_6^- , AsF_6^- , SbF_6^- , AlCl_4^- , HSO_4^- , ClO_4^- , CH_3SO_3^- , CF_3CO_2^- , $(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}^-$, $(\text{FSO}_2)_2\text{N}^-$, Cl^- , Br^- , I^- , SO_4^{2-} , CF_3SO_3^- , $(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)_2\text{N}^-$, y $(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)(\text{CF}_3\text{SO}_2)\text{N}^-$.
- En una realización particular, el al menos un disolvente de los electrolitos es un disolvente polar, un disolvente no polar y/o mezclas de los mismos; particularmente un disolvente polar o mezclas de los mismos; más particularmente un disolvente acuoso.
- Teniendo en cuenta la presente divulgación, la selección de disolventes polares adecuados está dentro de los conocimientos del experto en la técnica. Ejemplos no limitativos de disolventes polares adecuados son agua, alcoholes (metanol, etanol, isopropanol, n-propanol, t-butanol, alcohol bencílico, etc.), carbonatos (por ejemplo, carbonato de etileno, carbonato de dimetil, carbonato de dietilo, carbonato de propileno, carbonato de vinileno), éteres (por ejemplo, tetrahidrofurano, metiltetrahidrofurano, dioxolano, dimetil éter, dimetoxietano, dimetil éter de dietilenglicol, dimetil éter de trietilenglicol, dimetil éter de tetraetilenglicol, polietilenglicol), sulfonas (por ejemplo, etilmetilsulfona, dimetilsulfona, tetrametilsulfona), sulfóxidos (por ejemplo, dimetilsulfóxido), amidas y sulfamidas (por ejemplo, dimetilformamida), nitrilos (por ejemplo, acetonitrilo), nitrobenzono y mezclas de los mismos.
- Teniendo en cuenta la presente divulgación, la selección de disolventes no polares adecuados está dentro de los conocimientos del experto en la técnica. En una realización, el disolvente no polar se selecciona del grupo que consiste en disolventes de hidrocarburo (por ejemplo, pentano, hexano, ciclohexano, heptano), tetracloruro de carbono, disolventes aromáticos (por ejemplo, tolueno, benceno, xileno) y algunos éteres (por ejemplo, dietil éter).
- En una realización más particular, los electrolitos (catolito y anolito) comprenden el mismo disolvente o la misma mezcla de disolventes. En otra realización particular, ambos electrolitos comprenden disolventes polares.
- En otra realización los electrolitos (catolito y anolito) comprenden un disolvente o mezcla de disolventes diferente. En otra realización particular un electrolito comprende un disolvente polar y el otro electrolito comprende un disolvente no polar.
- Cualquier tipo de sal puede ser adecuada para la presente invención. Ejemplos no limitativos de sales adecuadas para los electrolitos son LiTFSi ; TBAPF_6 ; LiClO_4 ; Bu_4BF_4 ; LiPF_6 ; Bu_4NClO_4 , K_3PO_4 , NaCl , KCl , Na_2SO_4 y/o mezclas de los mismos; preferiblemente NaCl , KCl , Na_2SO_4 y/o mezclas de los mismos.

En una realización particular, cada uno de los electrolitos (es decir, anolito y catolito) de la invención comprende además una base tales como NaOH y/o KOH; y/o un ácido tal como HCl, HBr, H₂SO₄ y/o HAc.

5 En otra realización particular, cada uno de los electrolitos (es decir, anolito y catolito) de la invención comprende además un glicol; preferiblemente poli(etilenglicol) (PEG); particularmente PEG con un peso molecular promedio de entre 10 y 10000; preferiblemente un peso molecular promedio de entre 100 y 8000; más preferiblemente de entre 200 y 6000; incluso más preferiblemente de alrededor de 1000. En el contexto de la presente invención, el "peso molecular" del ligando se calcula como peso molecular promedio \bar{z} tal como se mide mediante cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC).

En una realización particular los electrolitos (es decir, anolito y catolito) de la invención comprenden:

- 10
- agua;
 - poli(etilenglicol) (PEG)
 - una sal; preferiblemente una sal de sulfato, y
 - especies activas redox.

En una realización más particular, el catolito de la invención comprende:

15 a) una mezcla que comprende:

- agua;
 - poli(etilenglicol) (PEG) en una cantidad de entre el 15 y el 25 % en peso del peso total de la mezcla; preferiblemente entre el 18 y el 23 % en peso; más preferiblemente entre el 21 y el 22 % en peso;
 - una sal de sulfato en una cantidad de entre el 3 y el 10 % en peso del peso total de la mezcla; preferiblemente entre el 4 y el 8 % en peso; más preferiblemente alrededor del 5 % en peso; y
- 20

b) especies activas redox; y/o

el anolito de la invención comprende:

a) una mezcla que comprende:

- agua;
 - poli(etilenglicol) (PEG) en una cantidad de entre el 2 y el 10 % en peso del peso total de la mezcla; preferiblemente entre el 3 y el 6 % en peso; más preferiblemente aproximadamente el 4 % en peso;
 - una sal de sulfato en una cantidad de entre el 10 y el 25 % en peso del peso total de la mezcla; preferiblemente entre el 12 y el 20 % en peso; más preferiblemente alrededor del 14 % en peso; y
- 25

b) especies activas redox.

30 En una realización particular la sal de sulfato es una sal de sulfato alcalino; preferiblemente una sal de Na₂SO₄.

En una realización particular, el catolito y el anolito forman dos fases inmiscibles; preferiblemente en los que el catolito es la fase superior y el anolito es la fase inferior.

35 En el contexto de la presente invención "especies activas redox" se refiere a especies redox en la que una especie (el agente reductor) experimenta oxidación (perdiendo electrones) mientras que otra especie (el agente oxidante) experimenta reducción (gana electrones). Por ejemplo, las especies activas redox pueden ser parejas redox o pares redox tal como las conoce el experto en la técnica.

En otra realización particular, el catolito (4) y el anolito (5) comprenden especies activas redox diferentes o iguales; preferiblemente especies activas redox diferentes.

40 En una realización más particular, las especies activas redox usadas en la presente invención comprenden al menos un elemento seleccionado de Li, Na, Al, Ca, Mg, Pb, Ru, Fe, U, V, Cr, Ni, Mn, Cu, Ti, U, Ce, Zn y Co; preferiblemente seleccionado de Fe, Cr, Mg, Cu, Zn y Co; más preferiblemente seleccionado de Fe, Cr, Cu, Zn y Co.

45 En una realización particular, las especies activas redox usadas en la presente invención comprenden una pareja redox que comprende Fe²⁺/Fe³⁺; Cr²⁺/Cr³⁺; Ti²⁺/Ti³⁺; U³⁺/U⁴⁺; Ce³⁺/Ce⁴⁺; V²⁺/V³⁺; V⁴⁺/V⁵⁺; Cu⁺/Cu²⁺; Zn²⁺/Zn, Li⁺/Li, Na⁺/Na, Al³⁺/Al, Ca²⁺/Ca, Mg²⁺/Mg, Sn²⁺/Sn⁴⁺ o Pb²⁺/Pb; preferiblemente Fe²⁺/Fe³⁺; Cr²⁺/Cr³⁺; V²⁺/V³⁺; V⁴⁺/V⁵⁺ y Cu⁺/Cu²⁺.

En una realización particular, las especies activas redox usadas en la presente invención comprenden una pareja redox que comprende rutenio(III)/rutenio(II), s, uranio(IV) y (V), V(III)/V(II), cromo(III)/cromo(IV), Mn(III)/Mn(II) y Cu/Cu(II).

5 En otra realización particular, las especies activas redox usadas en la presente invención comprenden una pareja redox que comprende un grupo seleccionado de quinonas, viológenos, quinoxalinas, fenazinas, nitróxidos, piridinas, dioles, flavinas, fenotiazinas, derivados de piridino, derivados de benceno, ftalimidias, antraceno, tiadiazol, aloxacinas, naftoquinas, perileno-diimida, ciclopropenio, p-fenilendiamina, y especies organometálicas que comprenden elementos seleccionados de V, Fe, Co, Cu, Ru, Ni, Mn tal como derivados de ferroceno/ferrocianuros.

10 En otra realización particular, las especies activas redox usadas en la presente invención comprenden una pareja redox que comprende especies organometálicas que comprende elementos seleccionados de V, Fe, Co, Cu, Ru, Ni, y Mn.

15 En otra realización particular, las especies activas redox usadas en la presente invención comprenden una pareja redox que comprende un grupo seleccionado de quinonas, antraquinonas, viológenos, quinoxalinas, fenazinas, nitróxidos, piridinas, dioles, flavinas, fenotiazinas, derivados de piridino, derivados de benceno, ftalimidias, antraceno, tiadiazol, aloxacinas, naftoquinas, perileno-diimida, ciclopropenio, p-fenilendiamina y polímero a base de TEMPO (2,2,6,6-tetrametilpiperidin-1-oxilo); preferiblemente una pareja redox que comprende un grupo seleccionado de quinonas, viológenos, quinoxalinas, fenazinas, nitróxidos, piridinas, dioles, y especies organometálicas.

20 En una realización preferida, las especies activas redox usadas en la batería de flujo redox de la presente invención son metilviológeno (MV) y un resto a base de TEMPO (2,2,6,6-tetrametilpiperidina-1-oxilo); preferiblemente 4-hidroxi-2,2,6,6-tetrametilpiperidin-1-oxilo (OH-TEMPO).

25 En una realización más preferida, el anolito comprende metilviológeno (MV); y el catolito comprende además OH-TEMPO; particularmente el anolito comprende una disolución de al menos 0,01 M de MV y/o el catolito comprende una disolución de al menos 0,01 M de OH-TEMPO; más particularmente el anolito comprende entre 0,01 M y 1 M de MV y/o más particularmente el catolito comprende entre 0,01 M y 1 M de OH-TEMPO; incluso más particularmente el anolito comprende entre 0,05 M y 0,2 M de MV y/o más particularmente el catolito comprende entre 0,05 M y 0,2 M de OH-TEMPO.

30 El anolito y el catolito de la invención forman un sistema inmiscible bifásico en el que los compuestos de las especies activas redox tienen diferente solubilidad en cada una de las fases inmiscibles una vez que se ha alcanzado el equilibrio entre las fases. Por ejemplo, cuando se usan metilviológeno (MV) y 4-hidroxi-2,2,6,6-tetrametilpiperidin-1-oxilo (OH-TEMPO) como especies activas redox, entonces, OH-TEMPO se disuelve en su mayor parte en el catolito y MV se disuelve en su mayor parte en el anolito.

Electrodos

Tal como se definió anteriormente, el compartimento (1) comprendido en la batería de flujo redox de la presente invención comprende:

35 - un electrodo positivo (2) y un electrodo negativo (3);

en el que al menos un electrodo es un electrodo de flujo a través; preferiblemente en el que el electrodo positivo y los electrodos negativos son electrodos de flujo a través; más preferiblemente en el que el electrodo positivo y los electrodos negativos son electrodos de flujo a través porosos.

40 En el contexto de la presente invención el término "electrodos" se refiere a los electrodos positivos y negativos. Los electrodos (2, 3) son donde tiene lugar la oxidación o reducción de especies activas redox del electrolito. Los electrodos de la invención comprenden, al menos, un electrodo positivo (2) y un electrodo negativo (3). Ambos electrodos pueden tener terminales de conexión que pueden estar eléctricamente conectados entre sí mediante un cable de conexión a través del cual pueden desplazarse electrones.

45 En una realización particular, el electrodo positivo (2) y el electrodo negativo (3) están orientados uno hacia el otro; preferiblemente son paralelos y están orientados uno hacia el otro. En una realización particular, el electrodo positivo (2) y el electrodo negativo (3) están alineados. En otra realización particular, los electrodos son perpendicular entre sí. En otra realización particular el electrodo positivo y el electrodo negativo forman un ángulo angle entre 1 y 89 grados; preferiblemente entre 2 y 60 grados.

50 En una realización particular, el electrodo positivo y/o negativo de la batería de la presente invención son porosos; preferiblemente los electrodos positivo y/o negativo de la batería tienen una porosidad de entre el 30 % y el 97 %; preferiblemente de entre el 50 y el 96 %; más preferiblemente de entre el 80 y el 95 %; incluso más preferiblemente de aproximadamente el 94 %. La porosidad es una medida de los espacios huecos (es decir "vacíos") en un material, y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total, entre 0 y 1, o como un porcentaje entre el 0 % y el 100 %.

En una realización particular, el electrodo positivo y/o negativo de la batería de la presente invención son electrodos de flujo a través porosos. En el contexto de la presente invención la expresión "de flujo a través" en cuanto a los electrodos, significa que un fluido fluye a través o pasa a través de dichos electrodos.

5 Ejemplos no limitativos de electrodos (2, 3) adecuados en la batería redox de la presente invención se seleccionan de una matriz de carbono o una matriz metálica; particularmente se selecciona de una matriz de carbono porosa o una matriz metálica porosa; más preferiblemente papel de carbono, fieltro de carbono, fieltro de grafito, malla metálica y espuma metálica. En una realización preferida, el electrodo positivo (2) y/o el electrodo negativo (3) están fabricados de grafito, más preferiblemente fieltro de grafito.

10 En una realización el electrodo positivo y/o negativo de la batería de la presente invención comprende una matriz metálica tal como una matriz de zinc, acero inoxidable, cobre, níquel, litio o sodio o una matriz de carbono tal como grafito. En otra realización particular, la matriz puede ser porosa o no porosa; preferiblemente la matriz es porosa y puede seleccionarse de una malla, un papel o un fieltro.

En una realización la matriz del electrodo de la presente invención es una matriz de flujo a través (es decir, un fluido puede pasar a través de la misma); en particular es un fieltro de grafito de flujo a través.

15 En una realización preferida, el electrodo positivo (o cátodo) (2) está fabricado de grafito, más preferiblemente es un fieltro de grafito.

En una realización preferida, el electrodo negativo (o ánodo) (3) está fabricado de grafito, más preferiblemente es un fieltro de grafito.

20 Cuando los electrodos de la batería redox de la invención son porosos, los electrolitos pueden o no pueden fluir a través de los mismos; preferiblemente el electrolito fluye a través de los mismos. En una realización, los electrodos actúan como entradas al compartimento (1); particularmente como entradas de flujo de líquido.

En una realización particular, el catolito puede fluir desde el depósito de catolito hasta el compartimento (1) a través del electrodo positivo y/o el anolito puede fluir desde el depósito de anolito hasta el compartimento (1) a través del electrodo negativo.

25 *Un electrodo poroso de flujo a través*

En una realización particular, el electrodo positivo (2) y/o el electrodo negativo (3) son electrodos de flujo a través; preferiblemente electrodos de flujo a través porosos.

30 En una realización particular, la batería de flujo redox (10) de la invención comprende además un recipiente de depósito de catolito (6); en la que el electrodo positivo (2) es un electrodo de flujo a través y en la que el recipiente de depósito de catolito (6) está conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través del electrodo positivo (2).

En una realización particular, la batería de flujo redox de la invención comprende un recipiente de depósito de catolito (6) y un recipiente de depósito de anolito (7);

35 en la que el electrodo positivo (2) es un electrodo de flujo a través; preferiblemente un electrodo de flujo a través poroso;

en la que el recipiente de depósito de catolito (6) está conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través del electrodo positivo (2); y

en la que el recipiente de depósito de anolito (7) está conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1).

40 En una realización particular, la batería redox (10) de la invención comprende además un recipiente de depósito de anolito (7); en la que el electrodo negativo (3) es un electrodo de flujo a través y en la que el recipiente de depósito de anolito (7) está conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través del electrodo negativo (3).

45 En una realización particular, la batería redox de la invención, comprende además un recipiente de depósito de catolito (6) y un recipiente de depósito de anolito (7); en la que el electrodo negativo (3) es un electrodo de flujo a través; preferiblemente un electrodo de flujo a través poroso; en la que el recipiente de depósito de anolito (7) está conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través del electrodo negativo (3); y en la que el recipiente de depósito de catolito (6) está conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1).

El al menos un electrodo de flujo a través comprende un eje longitudinal X-X'.

En una realización particular, el al menos un electrodo de flujo a través comprende dos lados opuestos.

50 La batería de flujo redox comprende medios para dirigir el catolito (4) o el anolito (5) a través del al menos un electrodo de flujo a través en una dirección perpendicular al eje longitudinal X-X' del al menos un electrodo de flujo a

través; preferiblemente en los que dichos medios pueden dirigir el catolito (4) o el anolito (5) al interior del compartimento (1) o fuera del compartimento (1).

En una realización más particular, la batería de flujo redox comprende medios para dirigir el catolito (4) o el anolito (5) a través del al menos un electrodo de flujo a través desde un lado hasta el lado opuesto de dicho electrodo.

5 *Dos electrodos porosos de flujo a través*

En una realización particular, el electrodo positivo (2) y el electrodo negativo (3) son electrodos de flujo a través; preferiblemente electrodos de flujo a través porosos.

10 En una realización particular, la batería redox (10) de la invención comprende además un recipiente de depósito de catolito (6) y un recipiente de depósito de anolito (7); en la que el electrodo positivo (2) y el electrodo negativo (3) son electrodos de flujo a través; preferiblemente electrodos de flujo a través porosos; en la que el recipiente de depósito de catolito (6) está conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través del electrodo positivo (2); y en la que el recipiente de depósito de anolito (7) está conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través del electrodo negativo (3).

15 En una realización particular, el compartimento (1) de la batería de flujo redox de la presente invención comprende aberturas.

En una realización particular, el compartimento (1) de la batería de flujo redox de la presente invención comprende cuatro aberturas (tal como dos entradas y dos salidas). En otra realización particular, al menos una de las aberturas del compartimento de la batería se cubre mediante el electrodo de flujo a través, preferiblemente mediante electrodo de flujo a través poroso.

20 En otra realización particular, dos aberturas del compartimento (1) de la batería de flujo redox se cubren mediante electrodos de flujo a través; particularmente las dos aberturas están orientadas una hacia la otra; más particularmente las dos aberturas son paralelas y están orientadas una hacia la otra.

25 En una realización particular, el al menos un electrodo de flujo a través la batería de flujo redox de la invención comprende un eje longitudinal X-X'; preferiblemente comprende un eje de simetría longitudinal; particularmente, la batería de flujo redox comprende medios para dirigir el catolito (4) y el anolito (5) a través del al menos un electrodo de flujo a través en una dirección perpendicular al eje longitudinal X-X'.

En una realización particular, el catolito (4) y/o el anolito (5) pueden sólo entrar o salir del compartimento (1) a través del al menos un electrodo de flujo a través. En una realización, el catolito (4) y/o el anolito (5) fluye desde o al interior del compartimento (1) sólo a través del al menos un electrodo de flujo a través.

30 Podrían producirse deformaciones, perturbaciones y/o distorsiones de la interfase entre los dos electrolitos inmiscibles debido a que el catolito y/o anolito fluye (por ejemplo, cuando los electrolitos entran en el compartimento) provocando el mezclado de los electrolitos y, por tanto, un rendimiento deficiente de la batería (baja eficiencia). Sorprendentemente, los autores de la presente invención han hallado que cuando los electrolitos inmiscibles entran en el compartimento (1) estando orientados el uno hacia el otro, se estira la interfase y entonces, es más estable en un intervalo más amplio de velocidades de flujo. Por tanto, dicha interfase experimenta menos deformaciones, perturbaciones y/o distorsiones.

Distribuidor

40 En una realización, la batería redox de la invención comprende además un distribuidor (11), preferiblemente un distribuidor de flujo, más preferiblemente un distribuidor de flujo líquido. En una realización particular, el distribuidor de flujo (11) de la invención comprende al menos una entrada y al menos una salida; preferiblemente una entrada y varias salidas.

45 En una realización, el recipiente de depósito de catolito (6) está en comunicación de fluido con el electrodo positivo (2) a través del distribuidor (11). Particularmente, el depósito de catolito comprende una entrada y una salida y el distribuidor de flujo comprende una entrada; en el que la salida del recipiente de depósito de catolito (6) está acoplada con la entrada del distribuidor (11). En una realización particular, el distribuidor (11) está acoplado con el compartimento (1) (es decir, con el electrodo positivo).

50 En otra realización particular, el recipiente de depósito de anolito (7) está en comunicación de fluido con el electrodo negativo (3) a través del distribuidor (11). Particularmente, el depósito de anolito comprende una entrada y una salida y el distribuidor de flujo comprende una entrada; en el que la salida del recipiente de depósito de anolito (7) está acoplada con la entrada del distribuidor (11). Más particularmente, la salida del distribuidor (11) está acoplada con la entrada del compartimento (1) (es decir, con el electrodo negativo).

En una realización particular, el catolito de la presente invención puede fluir desde el depósito de catolito hasta el compartimento (1) a través del electrodo positivo y desde el compartimento (1) hasta el recipiente de depósito de catolito (6) a través de una abertura (salida) del compartimento, y, al mismo tiempo, el anolito puede fluir desde el

depósito de anolito (7) hasta el compartimento (1) a través del electrodo negativo (3) y desde el compartimento (1) hasta el recipiente de depósito de anolito (7) a través de una segunda abertura (salida) del compartimento.

5 Particularmente, durante el procedimiento de carga de la batería de la presente invención (es decir, el almacenamiento de electricidad), el anolito fluye a través del electrodo negativo y las especies redox del anolito se reducen en el mismo y/o el catolito fluye a través del electrodo positivo y las especies activas redox del catolito se oxidan en el mismo.

10 Particularmente, durante el procedimiento de descarga de la batería de la presente invención (es decir, el suministro de electricidad), el anolito fluye a través del electrodo negativo y las especies redox del anolito se oxidan en el mismo y/o el catolito fluye a través del electrodo positivo y las especies activas redox del catolito se reducen en el mismo.

15 En una realización particular, el catolito de la presente invención puede fluir desde el depósito de catolito hasta el compartimento (1) a través de una abertura (tal como una entrada) y desde el compartimento (1) hasta el recipiente de depósito de catolito (6) a través del electrodo positivo (2) (es decir, actuando como una salida) del compartimento, y, al mismo tiempo, el anolito puede fluir desde el depósito de anolito (7) hasta el compartimento (1) a través de una abertura (tal como entrada) y desde el compartimento (1) hasta el recipiente de depósito de anolito (7) a través del electrodo negativo (3) del compartimento.

20 Particularmente, durante el procedimiento de carga de la batería de la presente invención (es decir, el almacenamiento de electricidad), el anolito fluye a través de una abertura en el interior del compartimento, y sale del compartimento fluyendo a través del electrodo negativo en el que se reducen las especies redox del anolito y/o el catolito fluye a través de una abertura en el interior del compartimento, luego sale del compartimento que fluye a través del electrodo positivo en el que se oxidan las especies activas redox del catolito.

25 Particularmente, durante el procedimiento de descarga de la batería de la presente invención (es decir, el suministro de electricidad), el anolito fluye a través de una abertura en el interior del compartimento, y sale del compartimento que fluye a través del electrodo negativo en el que se oxidan las especies redox del anolito y/o el catolito fluye a través de una abertura en el interior del compartimento, luego sale del compartimento que fluye a través del electrodo positivo en el que se reducen las especies activas redox del catolito.

30 En la presente invención al menos un electrolito fluye a través de un electrodo cuando entra en el compartimento (1) o cuando sale del compartimento (1). En el contexto de la invención, la expresión "de flujo a través" se refiere a cruzando o pasando a través del electrodo. Puesto que los electrodos de la invención podrían ser porosos la porosidad de los electrodos aumenta el área de contacto entre los electrolitos (catolito o anolito) y el electrodo.

Recipiente de depósito

35 Los autores de la presente invención han observado, que el anolito y catolito pueden almacenarse simultáneamente en el mismo depósito puesto que son inmiscibles entre sí. Por tanto, en una realización, la batería de flujo redox (10) de la presente invención comprende un tanque o recipiente de depósito configurado para almacenar, enviar y/o recibir catolito y anolito desde el compartimento (1). En una realización particular, el recipiente de depósito comprende al menos una entrada y al menos una salida; preferiblemente al menos dos entradas y al menos dos salidas. En una realización, el un tanque o recipiente de depósito está conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través de al menos dos conductos (por ejemplo, uno para el catolito y el otro para el anolito).

40 En otra realización, la batería de flujo redox (10) de la presente invención comprende un recipiente o tanque de depósito de catolito (6) configurado para almacenar, enviar y/o recibir catolito desde el compartimento (1) y/o un tanque o recipiente de depósito de anolito (7) configurado para almacenar, enviar y/o recibir anolito desde el compartimento (1).

45 En una realización, el recipiente de depósito de catolito (6) y el recipiente de depósito de anolito (7) están conectados en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través de al menos un conducto. Por tanto, en una realización, durante el funcionamiento de la batería, el recipiente de depósito de catolito (6) puede enviar y recibir catolito (compartimento (1)). Además, durante el funcionamiento de la batería, el recipiente de depósito de anolito (7) puede enviar y recibir anolito (compartimento (1)).

50 En una realización particular, el recipiente de depósito de catolito (6) y/o el recipiente de depósito de anolito (7) están fabricados de un material plástico (por ejemplo, polipropileno, polietileno, etc.) o un material de acero recubierto (por ejemplo, un tanque de acero recubierto con plástico o recubierto con caucho) para evitar sustancialmente la corrosión debido al acoplamiento galvánico. En otra realización particular, el recipiente de depósito de catolito (6) y/o el recipiente de depósito de anolito (7) está fabricado de cualquier material metálico que evite la corrosión, tal como acero inoxidable, titanio, níquel o aleaciones de níquel; preferiblemente acero inoxidable, níquel o aleaciones de níquel.

55 En una realización particular, el recipiente de depósito de catolito (6) y/o el recipiente de depósito de anolito (7) comprenden al menos una entrada y una salida; preferiblemente al menos una entrada de flujo líquido y una salida

de flujo líquido.

En una realización particular, el compartimento (1) puede estar acoplado a múltiples recipientes de depósito de catolito (6) o recipientes de depósito de anolito (7), proporcionando de ese modo una capacidad de almacenamiento aumentada.

- 5 Preferiblemente, el depósito (6, 7), el recipiente de depósito de catolito (6) y/o el recipiente de depósito de anolito (7) pueden estar dispuestos adyacentes al compartimento (1) o ubicados a una distancia desde el compartimento (1), para que el recipiente de depósito de catolito (6) o el recipiente de depósito de anolito (7) esté en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través de al menos un conducto o una tubería.

Carga de potencia/fuente

- 10 La batería de flujo redox de la presente invención puede comprender una fuente de potencia/carga. La fuente de potencia/carga es cualquier dispositivo eléctrico externo tal como una red eléctrica, un vehículo eléctrico, un electrodoméstico o un sensor, que extrae/transfiere energía desde/hasta la batería. En general, la fuente de potencia/carga tiene suministros o captaciones de tensiones y/o corriente controlables.

Sistema de almacenamiento y/o suministro de energía

- 15 En otro aspecto, la invención se refiere a un sistema de almacenamiento y/o suministro de energía que comprende al menos una batería de flujo redox (10) según la presente invención en cualquiera de sus realizaciones particulares. En particular, la batería de flujo redox puede actuar como una batería secundaria y/o recargable, es decir, la batería de flujo redox puede configurarse para cargarse y descargarse de manera reversible.

Métodos de funcionamiento de la batería

- 20 Tal como se mencionó anteriormente, la batería de flujo redox de la presente invención en cualquiera de sus realizaciones particulares está configurada para actuar como un sistema de almacenamiento y suministro de energía, es decir, está configurada para cargarse y descargarse de manera reversible.

Método de almacenamiento de electricidad

- 25 Por tanto, otro aspecto de la presente invención se refiere a un método de almacenamiento de electricidad que comprende las etapas de:

a) proporcionar la batería de flujo redox (10) de la invención en cualquiera de sus realizaciones particulares;

b) dejar fluir o bombear el electrolito:

- desde el al menos un recipiente de depósito (6, 7) hasta el compartimento (1) a través del al menos un electrodo de flujo a través; preferiblemente un electrodo de flujo a través poroso; o
- 30 - desde el compartimento (1) hasta el al menos un recipiente de depósito (6, 7) a través del al menos un electrodo de flujo a través;

en el que el electrolito es el catolito (4) o el anolito (5);

- 35 d) oxidar las especies activas redox del catolito en el electrodo positivo (2) al estado oxidado correspondiente, mientras que las especies activas redox del anolito se reducen al estado reducido correspondiente en el electrodo negativo (3);

en el que el al menos un electrodo de flujo a través comprende un eje longitudinal X-X'; y en el que el electrolito de la etapa (b) fluye en una dirección perpendicular al eje longitudinal X-X'.

En otra realización particular el método de almacenamiento de electricidad que comprende las etapas de:

- 40 a) proporcionar la batería de flujo redox (10) de la invención en cualquiera de sus realizaciones particulares; en la que el catolito (4) y el anolito (5) se almacenan simultáneamente en el al menos un recipiente de depósito (6, 7);

b) dejar fluir o bombear el catolito (4) y el anolito (5)

- desde el al menos un recipiente de depósito (6, 7) hasta el compartimento (1) a través de al menos uno de los electrodos de flujo a través; o
- 45 - desde el compartimento (1) hasta el al menos un recipiente de depósito (6, 7) a través del al menos un electrodo de flujo a través;

en el que el catolito (4) entra o sale del compartimento (1) a través del electrodo de flujo a través positivo (2) y/o el anolito (5) entra o sale del compartimento (1) a través del electrodo de flujo a través negativo (3);

c) oxidar las especies activas redox del catolito en el electrodo positivo (2) al estado oxidado correspondiente, mientras que las especies activas redox del anolito se reducen al estado reducido correspondiente en el electrodo negativo (3); y

5 d) opcionalmente, dejar fluir o bombear el catolito de la etapa (c) y el anolito de la etapa (c) en el interior de al menos un recipiente de depósito (6, 7).

En una realización particular, el método de almacenar electricidad comprende las etapas de:

10 a) proporcionar la batería redox (10) de la presente invención en cualquiera de sus realizaciones particulares; en la que la batería comprende un recipiente de depósito de catolito (6) y un recipiente de depósito de anolito (7); en la que el electrodo positivo (2) y/o el electrodo negativo (3) son electrodos de flujo a través; preferiblemente electrodos de flujo a través porosos;

b) dejar fluir o bombear el catolito desde el al menos un recipiente de depósito de catolito (6) hasta el compartimento (1) a través del electrodo positivo (2) y/o bombear el anolito desde el recipiente de depósito de anolito (7) hasta el compartimento (1) a través del electrodo negativo (3);

15 c) oxidar las especies activas redox del catolito en el electrodo positivo (2) al estado oxidado correspondiente, mientras que las especies activas redox del anolito se reducen al estado reducido correspondiente en el electrodo negativo (3); y

d) opcionalmente, dejar fluir o bombear el catolito de la etapa (c) al interior del recipiente de depósito de catolito (6) y el anolito de la etapa (c) al interior del recipiente de depósito de anolito (7).

20 En una realización particular, la etapa (b) del método de almacenamiento de electricidad de la presente invención comprende dejar fluir o bombear el catolito desde el recipiente de depósito de catolito (6) hasta el compartimento (1) a través de un distribuidor de flujo (11) y/o dejar fluir o bombear el anolito desde el recipiente de depósito de anolito (7) hasta el compartimento (1) a través del electrodo negativo (3); en el que el electrodo positivo (2) y/o el electrodo negativo (3) son electrodos de flujo a través; preferiblemente electrodos de flujo a través porosos.

25 En una realización más particular, la etapa (b) del método de almacenamiento de electricidad de la presente invención comprende bombear el catolito desde el recipiente de depósito de catolito (6) hasta el compartimento (1) a través de un distribuidor de flujo (11) y luego a través del electrodo positivo (2) y/o bombear el anolito desde el recipiente de depósito de anolito (7) hasta el compartimento (1) a través de un distribuidor de flujo (11) y luego a través del electrodo negativo (3); en el que el electrodo positivo (2) y/o el electrodo negativo (3) son electrodos de flujo a través; preferiblemente electrodos de flujo a través porosos.

30 En una realización, la etapa (b) del método de almacenamiento de electricidad de la presente invención comprende dejar fluir o bombear el catolito desde el compartimento (1) hasta el recipiente de depósito de catolito (6) a través del electrodo positivo (2) y/o dejar fluir o bombear el anolito desde el compartimento (1) hasta el recipiente de depósito de anolito (7) a través del electrodo negativo (3).

35 En una realización, el catolito y/o el anolito fluyen a través del distribuidor de flujo de manera perpendicular a la interfase entre los electrolitos.

En otra realización particular, el catolito y/o el anolito entran en el compartimento (1) de manera perpendicular a la interfase entre los electrolitos y están orientados el uno hacia el otro.

40 Un ejemplo no limitativo ilustrativo de una realización de la batería de flujo redox de la invención que trabaja como sistema de almacenamiento (modo de carga) se describe de la siguiente manera: durante el procedimiento de carga de una realización de la batería de la presente invención, el catolito fluye a través del electrodo positivo y se oxidan las especies activas redox del catolito. Luego, los electrones liberados en el electrodo positivo de la batería de la presente invención se mueven a través de un circuito externo, es decir, la fuente de potencia/carga, para realizar un trabajo útil. Al mismo tiempo, el anolito fluye a través del electrodo negativo y las especies activas redox del anolito se reducen (capturan electrones) al estado reducido correspondiente en el electrodo negativo. El catolito y el anolito forman dos fases inmiscibles separadas por una interfase. Durante el procedimiento de carga, los iones migran desde una fase a la otra cruzando la interfase para mantener la electroneutralidad entre las mismas. Después de las reacciones, el catolito y anolito se extraen al mismo o a diferentes recipientes de depósito.

Método de suministro de electricidad

50 Por tanto, otro aspecto de la presente invención se refiere a un método de suministro de electricidad que comprende las etapas de:

a) proporcionar la batería de flujo redox (10) de la invención en cualquiera de sus realizaciones particulares;

b) dejar fluir o bombear el electrolito

- desde el al menos un recipiente de depósito (6,7) hasta el compartimento (1) a través del electrodo de flujo a través o
- desde el compartimento (1) hasta el al menos un recipiente de depósito (6, 7) a través del al menos un electrodo de flujo a través;

5 preferiblemente un electrodo de flujo a través poroso;

en el que el electrolito es el catolito (4) o el anolito (5);

c) reducir las especies activas redox del catolito en el electrodo positivo (2) a su estado reducido mientras que las especies activas redox del anolito se oxidan al estado oxidado correspondiente en el electrodo negativo (3);

10 en el que el al menos un electrodo de flujo a través comprende un eje longitudinal X-X'; y en el que el electrolito de la etapa (b) fluye en una dirección perpendicular al eje longitudinal X-X'.

En una realización particular, el método de suministro de electricidad de la invención comprende las etapas de:

a) proporcionar la batería redox (10) de la presente invención en cualquiera de sus realizaciones particulares; en la que el catolito (4) y el anolito (5) y el anolito se almacenan simultáneamente en el al menos un recipiente de depósito (6, 7);

15 b) dejar fluir o bombear el catolito (4) y el anolito (5) desde

el al menos un recipiente de depósito (6, 7) hasta el compartimento (1) a través de al menos uno de los electrodos de flujo a través en el que el catolito (4) entra en el compartimento (1) a través del electrodo de flujo a través positivo (2) y/o el anolito (5) entra en el compartimento (1) a través del electrodo de flujo a través negativo (3); o

20 desde el compartimento (1) hasta el al menos un recipiente de depósito (6, 7) a través del al menos un electrodo de flujo a través;

c) reducir las especies activas redox del catolito en el electrodo positivo (2) a su estado reducido mientras que las especies activas redox del anolito se oxidan al estado oxidado correspondiente en el electrodo negativo (3); y

d) opcionalmente, dejar fluir o bombear el catolito de la etapa (b) en el interior del recipiente de depósito de catolito (6) y el anolito de la etapa (b) en el interior del recipiente de depósito de anolito (7).

25 En una realización particular, el método de suministro de electricidad de la invención comprende las etapas de:

a) proporcionar la batería redox (10) de la presente invención en cualquiera de sus realizaciones particulares; en el que la batería comprende un recipiente de depósito de catolito (6) y un recipiente de depósito de anolito (7); en el que el electrodo positivo (2) y/o el electrodo negativo (3) son electrodos de flujo a través; preferiblemente electrodos de flujo a través porosos;

30 b) dejar fluir o bombear el catolito desde el recipiente de depósito de catolito (6) hasta el compartimento (1) a través del electrodo positivo (2) y/o bombear el anolito desde el recipiente de depósito de anolito (7) hasta el compartimento (1) a través del electrodo negativo (3);

c) reducir las especies activas redox del catolito en el electrodo positivo (2) a su estado reducido mientras que las especies activas redox del anolito se oxidan al estado oxidado correspondiente en el electrodo negativo (3); y

35 d) opcionalmente, dejar fluir o bombear el catolito de la etapa (b) al interior del recipiente de depósito de catolito (6) y el anolito de la etapa (b) al interior del recipiente de depósito de anolito (7).

En una realización particular, la etapa (b) del método de suministro de electricidad de la presente invención comprende bombear el catolito desde el recipiente de depósito de catolito (6) hasta el compartimento (1) a través del electrodo positivo (2) y/o bombear el anolito desde el recipiente de depósito de anolito (7) hasta el compartimento (1) a través del electrodo negativo (3); en el que el electrodo positivo (2) y/o el electrodo negativo (3) son electrodos de flujo a través; preferiblemente electrodos de flujo a través porosos.

40 En una realización particular, la etapa (b) del método de suministro de electricidad de la presente invención comprende bombear el catolito desde el recipiente de depósito de catolito (6) hasta el compartimento (1) a través de un distribuidor de flujo (11) y luego a través del electrodo positivo (2) y/o bombear el anolito desde el recipiente de depósito de anolito (7) hasta el compartimento (1) a través de un distribuidor de flujo (11) y luego a través del electrodo negativo (3); en el que el electrodo positivo (2) y/o el electrodo negativo (3) son electrodos de flujo a través; preferiblemente electrodos de flujo a través porosos.

45 En una realización, la etapa (b) del método de suministro de electricidad de la presente invención comprende dejar fluir o bombear el catolito desde el compartimento (1) hasta el recipiente de depósito de catolito (6) a través del electrodo positivo (2) y/o dejar fluir o bombear el anolito desde el compartimento (1) hasta el recipiente de depósito

50

de anolito (7) a través del electrodo negativo (3).

En una realización, el catolito y/o el anolito fluyen a través del distribuidor de flujo de manera perpendicular a la interfase entre los electrolitos.

5 En otra realización particular, el catolito y/o el anolito entran en el compartimento (1) de manera perpendicular a la interfase entre los electrolitos y están orientadas uno hacia el otro.

10 Un ejemplo ilustrativo de cómo la batería de flujo redox de la invención trabaja como sistema de suministro (modo de descarga) se describe de la siguiente manera: Durante el procedimiento de descarga de una realización de la batería de la presente invención, el catolito y/o el anolito fluyen desde un recipiente hasta el compartimento principal a través de un electrodo. Luego, se reducen las especies activas redox del catolito. Al mismo tiempo, las especies activas redox del anolito se oxidan al estado oxidado correspondiente en el electrodo negativo. Después de las reacciones, el catolito y el anolito se extraen al mismo o a diferentes recipientes de depósito. El catolito y el anolito forman dos fases inmiscibles separadas por una interfase. Durante el procedimiento de descarga, los iones migran desde una fase a la otra cruzando la interfase para mantener la electroneutralidad entre las mismas.

15 En una realización, el electrodo positivo (2) y/o el electrodo negativo (3) son electrodos de flujo a través; y el catolito puede
 fluir desde el recipiente de depósito (6,7) al interior del compartimento (1) a través del electrodo positivo, o
 fluir fuera del compartimento (1) al recipiente de depósito (6,7) a través del electrodo positivo; y/o
 en los que el anolito puede
 20 fluir desde el recipiente de depósito (6,7) al interior del compartimento (1) a través del electrodo negativo; o
 fluir fuera del compartimento (1) al recipiente de depósito (6,7) a través del electrodo negativo.

Sistema de almacenamiento y/o suministro de energía

25 Otro aspecto adicional de la invención se refiere a un sistema de almacenamiento y/o suministro de energía que comprende al menos una batería redox (10).

Aplicaciones

30 Aspectos adicionales de la presente invención se refieren al uso de la batería de flujo redox tal como se definió anteriormente en cualquiera de sus realizaciones particulares, para almacenar y/o suministrar energía. Con este fin, la batería de flujo redox de la presente invención puede usarse individualmente, como sistema modular de baterías de flujo redox, o en combinación con otras tecnologías de almacenamiento de energía (por ejemplo, supercondensadores, etc.) y puede integrarse en o con diversos sistemas y/o dispositivos para mejorar la eficiencia, abordar demandas de energía, etc.

35 Además, la batería redox de la invención puede usarse en una variedad de aplicaciones que tienen diferentes necesidades de suministro y/o almacenamiento de energía, incluyendo, pero sin limitarse a, aplicaciones a muy gran escala (por ejemplo, servicios que funcionan como fuente de energía ecológica para una red inteligente, en almacenamiento de energía para su uso en combinación con recursos de energía renovable tales como energía eólica y solar, etc.) y aplicaciones más pequeñas (por ejemplo, energía de respaldo, energía residencial, sector de electromovilidad, etc.).

40 La presente invención se describirá con mayor detalle con referencia a los siguientes ejemplos. Estos ejemplos son únicamente con fines ilustrativos y no pretenden limitar el alcance de la presente invención.

Ejemplos

EJEMPLO 1: Rendimiento de baterías de flujo redox.

45 Se sometió a prueba el rendimiento de una batería de flujo redox que comprende dos electrodos de flujo a través porosos y un compartimento principal que contenía un par de electrolitos inmiscibles (concretamente la batería A). Además, el rendimiento de la batería A se comparó con el rendimiento de una batería de flujo paralelo que comprende el mismo par de electrolitos inmiscibles (concretamente la batería B). La batería A y B eran de la siguiente manera:

50 La batería A era una batería de flujo redox que comprendía dos electrodos de flujo a través porosos (batería de flujo a través) y un compartimento principal que contenía un par de electrolitos inmiscibles. La batería A no tenía un separador entre los electrolitos. Los electrodos de la batería estaban orientados el uno hacia el otro. Además, los

electrodos se colocaron paralelos a la interfase entre los dos electrolitos inmiscibles (véase la figura 1) y, puesto que eran electrodos de flujo a través, actuaban como entradas/salidas del compartimento principal. La batería de flujo redox A comprende dos depósitos externos que contienen los electrolitos. Cada electrolito estaba en comunicación de fluido con su depósito y con el compartimento principal a través de un electrodo. Por tanto, los electrolitos podían fluir a través de los electrodos (es decir, los electrodos de flujo a través porosos actuaban como entradas/salidas del compartimento principal). Además, la batería comprendía distribuidores de flujo colocados entre los electrodos de flujo a través porosos y los depósitos. Además, los electrolitos podían fluir desde y hasta el compartimento principal bombeándose mediante bombas peristálticas.

La batería B era una batería de flujo redox que comprendía dos electrodos de flujo paralelo (batería de flujo paralelo) y un compartimento principal que contenía un par de electrolitos inmiscibles. La batería B no tenía ningún separador entre los electrolitos. Los electrodos de la batería eran paralelos a la interfase entre los dos electrolitos inmiscibles y estaban orientados el uno hacia el otro (véase la figura 2). La batería de flujo redox comprende dos depósitos externos que contiene los electrolitos. Cada electrolito estaba en comunicación de fluido con su depósito y con el compartimento principal a través de aberturas (entradas y/o salidas) en el compartimento principal. Además, los electrolitos pueden fluir desde y hasta las entradas/salidas del compartimento principal bombeándose mediante bombas. Cada electrolito puede fluir por la superficie de un electrodo (paralelo al electrodo y a la interfase) siguiendo el campo de flujo.

La batería A y la batería B usaron el mismo par de electrolitos inmiscibles. No se empleó membrana o separador en ninguna de estas baterías para separar los electrolitos.

Las baterías A y B se ensamblaron usando los mismos fieltros de grafito poroso (grupo SGL Carbon) como electrodo positivo y negativo. Sin embargo, sólo en la batería A los electrodos actuaron como entradas/salidas del compartimento principal dejando que los electrolitos pasen a través de los mismos (véase la figura 1). Se pretrataron fieltros de grafito en un horno a 500 °C durante 2 h para mejorar su hidrofilia. En ambos casos los dos electrodos estaban orientados uno hacia el otro en una posición paralela y estaban separados una distancia de 3 mm. Los prototipos de celdas se diseñaron en el laboratorio y se molieron en polioximetileno (POM-C).

Para la preparación del par de electrolitos se preparó de manera gravimétrica un sistema bifásico acuoso (ABS) usando PEG1000, Na₂SO₄ y agua. Una vez que se alcanzó el equilibrio termodinámico, se separaron las dos fases inmiscibles del sistema bifásico acuoso. La composición de cada fase se muestra a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Composición de los electrolitos

	Na ₂ SO ₄ (% en peso)	PEG ₁₀₀₀ (% en peso)	H ₂ O (% en peso)	Conductividad (mS/cm)
Fase superior (catolito)	5,23 (0,43 M)	21,40	73,37	21,8
Fase inferior (anolito)	14,19 (1,18 M)	3,86	81,95	71,0

Después de la separación de las fases inmiscibles, se añadieron especies activas redox (moléculas redox) a cada fase. Las especies activas redox usadas en los electrolitos fueron 4-hidroxi-2,2,6,6-tetrametilpiperidin-1-oxilo (OH-TEMPO) en la fase superior (catolito) (concentración de 0,1 M) y metilviológeno (MV) en la fase inferior (anolito) (concentración de 0,1 M). Los electrolitos se purgaron con argón antes de usarse, y los depósitos (tanque de almacenamiento) se mantuvieron con una sobrepresión de argón durante la carga.

Los autores han observado que los coeficientes de reparto tanto de MV como de OH-TEMPO entre los dos electrolitos inmiscibles eran adecuados para garantizar la selectividad y un cruce o contaminación cruzada mínimos (véase la figura 5).

Además, los potenciales redox de estas dos especies activas fueron muy diferentes, por lo que su combinación en una batería dio como resultado una batería con una alta tensión teórica de 1,3 V. Los potenciales redox de las especies activas se midieron mediante voltametría cíclica de celdas electroquímicas de 3 electrodos a una velocidad de barrido de 20 mV/s y a una concentración de OH-TEMPO de 0,1 M (véase la figura 4 (a)) y de MV²⁺ de 0,1 M (véase la figura 4 (b)).

El rendimiento electroquímico de ambas baterías de flujo redox A y B se investigó durante la etapa de carga. Las baterías de flujo redox se cargaron en condiciones galvanostáticas (corriente constante) a temperatura ambiente usando un potenciostato Biologic VPM3. Durante la carga, las moléculas de MV se redujeron en el electrodo negativo y las moléculas de OH-TEMPO se oxidaron en el electrodo positivo. Se llevaron a cabo diferentes experimentos galvanostáticos usando diferentes densidades de corriente que oscilaban entre 4,4 y 20 mAcm⁻² y diferentes velocidades de flujo (véase la tabla 2 a continuación). Se impuso un límite de tensión de 1,7 V en los experimentos para evitar reacciones parásitas que se producen a tensiones más altas.

Tabla 2. Velocidades de flujo empleadas para cada electrolito en las dos baterías de flujo redox.

Velocidad de flujo (batería B)	A	B	C	Velocidad de flujo (batería A)	B	C	D	E
Fase superior (ml/min)	6,5	13	28	Fase superior (ml/min)	12	26	46	73
Fase inferior (ml/min)	13	26	37	Fase inferior (ml/min)	16	33	64	97

Efecto de la velocidad de flujo en el rendimiento de la batería:

La figura 6 muestra el perfil de carga de tensión de la batería A durante la carga galvanostática a 11 mAcm^{-2} . Diferentes líneas representan experimentos a diferentes velocidades de flujo según la tabla 2. Cuando la batería A se hace funcionar en modo estático (figura 6), su tensión de batería cargada en el medio es de aproximadamente 1,6 V alcanzando el límite de corte de tensión (1,7 V) antes de conseguir el 20 % de la capacidad (SOC). El transporte de masa por difusión fue el factor limitante en el modo estático porque sólo las moléculas de MV y OH-TEMPO suficientemente cercanas al electrodo fueron capaces de experimentar reacciones de reducción u oxidación, respectivamente. Esto significa que, en la práctica, sólo el electrolito en contacto o muy cerca del electrodo poroso podría usarse para almacenar energía en modo estático. Curiosamente, la figura 6 muestra que los potenciales de carga disminuyen significativamente cuando la batería está funcionando en condiciones de flujo. De hecho, cuanto más rápido sea la velocidad de flujo, menor será el sobrepotencial. Obsérvese que la tensión de carga es próxima a 1,3 V (tensión teórica de esta batería) a velocidad de flujo alta (flujo E), lo que significa que, en estas condiciones de flujo, el sobrepotencial relacionado con la limitación del transporte de masa es despreciable. Los experimentos de la figura 6 demostraron que los electrolitos fluían a través de los electrodos de la batería A renovando las especies activas a una velocidad suficiente para disminuir significativamente la limitación del transporte de masa por difusión. Puesto que el sobrepotencial se redujo drásticamente, también se demostró que en la batería A (batería de flujo a través) fue posible lograr un estado de carga (SOC) mucho mayor haciendo fluir los electrolitos en comparación con el modo estático (véase el flujo B y el flujo C en la figura 6).

La figura 7 muestra el perfil de carga de tensión de la batería B (batería de flujo paralelo) durante la carga galvanostática a la misma densidad de corriente (11 mAcm^{-2}). Cuando la batería B funciona en modo estático, su tensión de batería cargada en el medio es de aproximadamente 1,6 V alcanzando el límite de corte de tensión (1,7 V) antes de lograr el 20 % del SOC. Este resultado fue similar al obtenido para la batería A que funcionaba en modo estático. De nuevo, el transporte de masa por difusión fue el factor limitante en el modo estático. Sin embargo, el comportamiento en condiciones de flujo es totalmente diferente entre las dos baterías A y B. En la batería de flujo paralelo B, los electrolitos no pasan "a través" de los electrodos, pero están pasando "por" los electrodos. La figura 7 muestra que el efecto de la velocidad de flujo sobre la tensión de carga de la batería de flujo paralelo B es irrelevante y sólo se observa una ligera disminución del sobrepotencial.

Además, los autores de la presente invención han observado que a mayores velocidades de flujo (mayores que el flujo C) la formación de la interfase entre los dos electrolitos inmiscibles era inestable en la batería de flujo paralelo B. Por tanto, no fue posible cargar la batería a velocidades de flujo altas.

Con fines comparativos, la figura 8 muestra el perfil de tensión de la batería de flujo a través A y de la batería de flujo paralelo B a la misma densidad de corriente (11 mA cm^{-2}) y velocidad de flujo (flujo B). Los resultados mostraron que la batería de flujo a través A podía alcanzar un mayor SOC (~75 %) que la batería de flujo paralelo (18 %) en condiciones experimentales similares. Por tanto, la batería A alcanzó mayor densidad de energía que la batería B.

La figura 9 representa la tensión de carga de medio obtenida de las curvas representadas en las figuras 6 y 7 en función de la velocidad de flujo para las dos baterías diferentes A y B. Se demostró que ambas baterías presentan la misma tensión de carga de medio en modo estático o con velocidades de flujo muy bajas (flujos denominados A-B en las figuras 6 y 7). Sin embargo, a velocidades de medio (flujo C en la figura 9), las tensiones de carga de medio de la batería de flujo a través A son significativamente menores que las de la batería de flujo paralelo B. Como se ha explicado anteriormente, en la batería A, los electrolitos se fuerzan a pasar "a través de" los electrodos reduciendo el sobrepotencial asociado al transporte de masa por difusión. De hecho, la tensión de carga de medio presentada por la batería de flujo a través a altas velocidades (flujo D y flujo E) disminuyó rápidamente debido a la mínima contribución de la limitación del transporte por difusión al sobrepotencial general de la batería A.

Sorprendentemente, otra ventaja tecnológica de la batería A es que la interfase líquido-líquido permanece estable incluso a altas velocidades de flujo. Por consiguiente, podrían aplicarse mayores velocidades de flujo a la batería A, haciendo posible cargar la batería a una tensión muy próxima a la teórica (véase la figura 9). Por el contrario, a altas velocidades de flujo (flujo D y E) la batería de flujo paralelo B (flujo paralelo) no pudo cargarse porque la interfase entre los dos electrolitos no fue lo suficientemente estable.

Efecto de la densidad de corriente en el rendimiento de la batería:

5 La figura 10 muestra el perfil de tensión de la batería A cuando se carga a diferentes corrientes (11, 15 y 20 mA cm⁻²). A la misma velocidad de flujo (flujo B en la figura), un aumento en la densidad de corriente provocó un aumento en el sobrepotencial lo que eventualmente dio como resultado una mayor tensión de carga (desde ~1,5 V a 11 mA cm⁻² hasta ~1,7 V a 20 mA cm⁻²). La figura 10 también muestra que la batería A se vio afectada por la velocidad de flujo. Al aumentar la velocidad de flujo desde el flujo B hasta el flujo D, disminuye el sobrepotencial debido a la limitación de difusión de masa y también disminuye la tensión de carga de la batería; desde ~1,7 V hasta ~1,6 V cuando la densidad de corriente se mantuvo constante a 20 mA cm⁻². Este experimento demostró que la densidad de corriente, que está directamente relacionada con la densidad de energía de la batería, puede aumentarse aumentando la velocidad de flujo en la batería A.

10 La figura 11 muestra el perfil de carga de tensión (tensión (V) frente a capacidad (Ah/l) de la batería de flujo paralelo B a diferentes corrientes. La tensión de la batería B era mayor que la de la batería A en todos los casos. Además, los resultados muestran que los valores de tensión aumentaron rápidamente para la batería B debido a la saturación de especies cargadas en los electrodos de flujo paralelo. Mientras que las especies cargadas se renovaban continuamente en los electrodos de flujo a través, las especies activas se acumulan cerca de los electrodos de flujo paralelo en la batería B provocando grandes sobrepotenciales.

15 La figura 11 muestra que cuando aumenta la corriente, se aumentó el sobrepotencial. El estado máximo de carga de la batería B era del aproximadamente el 38 % del SOC para 4,4 mA cm⁻² y aproximadamente el 18 % del SOC para 11 mA cm⁻². La densidad de corriente útil más alta fue de 11 mA cm⁻² para la batería B, que era notablemente aproximadamente la mitad de la corriente en la batería A (20 mA cm⁻²) a la misma velocidad de flujo.

20 Ventajosamente, las especies activas redox de la batería A cruzan a través de los electrodos de flujo a través de dicha batería, renovándose continuamente. Por consiguiente, la batería A presenta menos sobrepotenciales que la batería de flujo paralelo B.

25 En resumen, la batería de flujo a través A puede funcionar a altas densidades de corriente y altas velocidades de flujo. La batería A también alcanza altos estados de carga (SOC). Además, la batería A tiene un rendimiento mejorado sobre diseños previos tales la como batería de flujo paralelo B.

Ejemplo 2.

30 La batería C (figura 12) es una batería de flujo redox que comprende dos electrodos de flujo a través porosos (batería de flujo a través) y un compartimento principal que contiene un par de electrolitos inmiscibles. La batería C no tiene ningún separador entre los electrolitos de cualquier tipo. Los electrodos de la batería están orientados uno hacia el otro. Además, los electrodos están colocados paralelos a la interfase entre los dos electrolitos inmiscibles (véase la figura 1) y, puesto que son electrodos de flujo a través, actúan como salidas del compartimento principal. La batería de flujo redox C comprende dos depósitos externos que contienen los electrolitos. Cada electrolito está en comunicación de fluido con su depósito y con el compartimento principal a través de un conducto y a través de un electrodo de flujo a través. Por tanto, los electrolitos pueden fluir a través de los electrodos (es decir, los electrodos de flujo a través porosos actúan como salidas del compartimento principal). Además, la batería comprende dos 35 entradas, cada una de las mismas colocadas en el centro de cada uno de los electrodos. Además, los electrolitos pueden fluir desde y hasta el compartimento principal bombeándose mediante bombas peristálticas.

40 La batería C muestra una reducción de los procedimientos de descarga no deseados que tengan lugar en la interfase formada entre las dos fases inmiscibles de los electrolitos.

REIVINDICACIONES

1. Batería de flujo redox (10) que comprende:
 - a) un compartimento (1) que comprende
 - un electrodo positivo (2) y un electrodo negativo (3);
 - 5 en la que al menos un electrodo es un electrodo de flujo a través; preferiblemente un electrodo de flujo a través poroso;
 - un catolito (4) y un anolito (5);
 - 10 en la que el catolito (4) y el anolito (5) son inmiscibles entre sí; y en la que el catolito y el anolito están en contacto a través de una interfase líquido-líquido entre ellos; y en la que la interfase líquido-líquido entre el catolito y el anolito consiste en el catolito y el anolito;
 - b) al menos un recipiente de depósito (6, 7) conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través de al menos un electrodo de flujo a través (2, 3);
 - en la que dicho al menos un recipiente de depósito comprende el catolito (4) y/o el anolito (5);
 - 15 en la que el al menos un electrodo de flujo a través comprende un eje longitudinal X-X'; y en la que la batería de flujo redox comprende medios para dirigir el catolito (4) o el anolito (5) a través del al menos un electrodo de flujo a través en una dirección perpendicular al eje longitudinal X-X'.
2. Batería de flujo redox según la reivindicación 1, en la que hay un distribuidor de flujo (11) entre el al menos un recipiente de depósito (6, 7) y el al menos un electrodo de flujo a través.
3. Batería de flujo redox según una cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, en la que el electrodo positivo (2) y el electrodo negativo (3) son electrodos de flujo a través, y/o en la que el electrodo positivo (2) y el electrodo negativo (3) están orientados uno hacia el otro; preferiblemente en la que el electrodo positivo (2) y el electrodo negativo (3) son paralelos.
4. Batería de flujo redox según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que el electrodo positivo (2) y el electrodo negativo (3) se seleccionan de una matriz de carbono o una matriz metálica; particularmente se seleccionan de papel de carbono, fieltro de carbono, fieltro de grafito, malla metálica y/o espuma metálica.
5. Batería de flujo redox según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que el catolito (4) y el anolito (5) comprenden especies activas redox diferentes o iguales; preferiblemente especies activas redox diferentes, más preferiblemente en la que las especies activas redox son parejas redox orgánicas que comprenden un grupo seleccionado de quinonas, viológenos, quinoxalinas, fenazinas, nitróxidos, piridinas, dioles, y especies organometálicas.
6. Batería de flujo redox según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que la batería de flujo redox comprende al menos una bomba (8, 9).
7. Batería de flujo redox según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que la batería de flujo redox comprende medios para dirigir el catolito (4) o el anolito (5) al interior del compartimento (1) o fuera del compartimento (1).
8. Batería de flujo redox según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el al menos un electrodo de flujo a través es una entrada o una salida del compartimento (1).
9. Batería de flujo redox según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que están presentes al menos un recipiente de depósito de catolito (6) y un recipiente de depósito de anolito (7); y en la que el recipiente de depósito de catolito (6) está conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través del electrodo positivo (2) y en la que el recipiente de depósito de anolito (7) está conectado en comunicación de fluido con el compartimento (1) a través del electrodo negativo (3).
10. Batería de flujo redox según la reivindicación 9, en la que la batería redox comprende al menos una bomba (8) en comunicación de fluido con el recipiente de depósito de catolito (6) y con el compartimento (1) y/o al menos una bomba (9) en comunicación de fluido con el recipiente de depósito de anolito (7) y con el compartimento (1).
11. Batería de flujo redox según la reivindicación 10, en la que los electrodos de flujo a través son salidas del compartimento (1) y en la que el compartimento (1) comprende además dos entradas; preferiblemente en la que cada una de las entradas está colocada en el centro de uno de los electrodos; o en la que los

electrodos de flujo a través son entradas del compartimento (1) y en la que el compartimento (1) comprende además al menos dos salidas.

12. Sistema de almacenamiento y/o suministro de energía que comprende al menos una batería de flujo redox (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.
- 5 13. Método de almacenamiento de electricidad que comprende las etapas de:
- a) proporcionar una batería de flujo redox (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11;
- b) dejar fluir o bombear el electrolito
- desde el al menos un recipiente de depósito (6, 7) al interior del compartimento (1) a través del al menos un electrodo de flujo a través; o
- 10 - desde el compartimento (1) hasta el al menos un recipiente de depósito (6, 7) a través del al menos un electrodo de flujo a través;
- en el que el electrolito es el catolito (4) y/o el anolito (5); y
- c) oxidar las especies activas redox del catolito en el electrodo positivo (2) al estado oxidado correspondiente, mientras que las especies activas redox del anolito se reducen al estado reducido correspondiente en el electrodo negativo (3);
- 15 en el que el al menos un electrodo de flujo a través comprende un eje longitudinal X-X'; y en el que el electrolito de la etapa (b) fluye en una dirección perpendicular al eje longitudinal X-X'.
14. Método de suministro de electricidad que comprende las etapas de:
- a) proporcionar una batería de flujo redox según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11;
- 20 b) dejar fluir o bombear el electrolito
- desde el al menos un recipiente de depósito (6, 7) hasta el compartimento (1) a través del al menos un electrodo de flujo a través; o
 - desde el compartimento (1) hasta el al menos un recipiente de depósito (6, 7) a través del al menos un electrodo de flujo a través;
- 25 en el que el electrolito es el catolito (4) o el anolito (5); y
- c) reducir las especies activas redox del catolito en el electrodo positivo (2) a su estado reducido mientras que las especies activas redox del anolito se oxidan al estado oxidado correspondiente en el electrodo negativo (3);
- 30 en el que el al menos un electrodo de flujo a través comprende un eje longitudinal X-X'; y en el que el electrolito de la etapa (b) fluye en una dirección perpendicular al eje longitudinal X-X'.
15. Uso de la batería de flujo redox (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, para almacenar y/o suministrar electricidad.

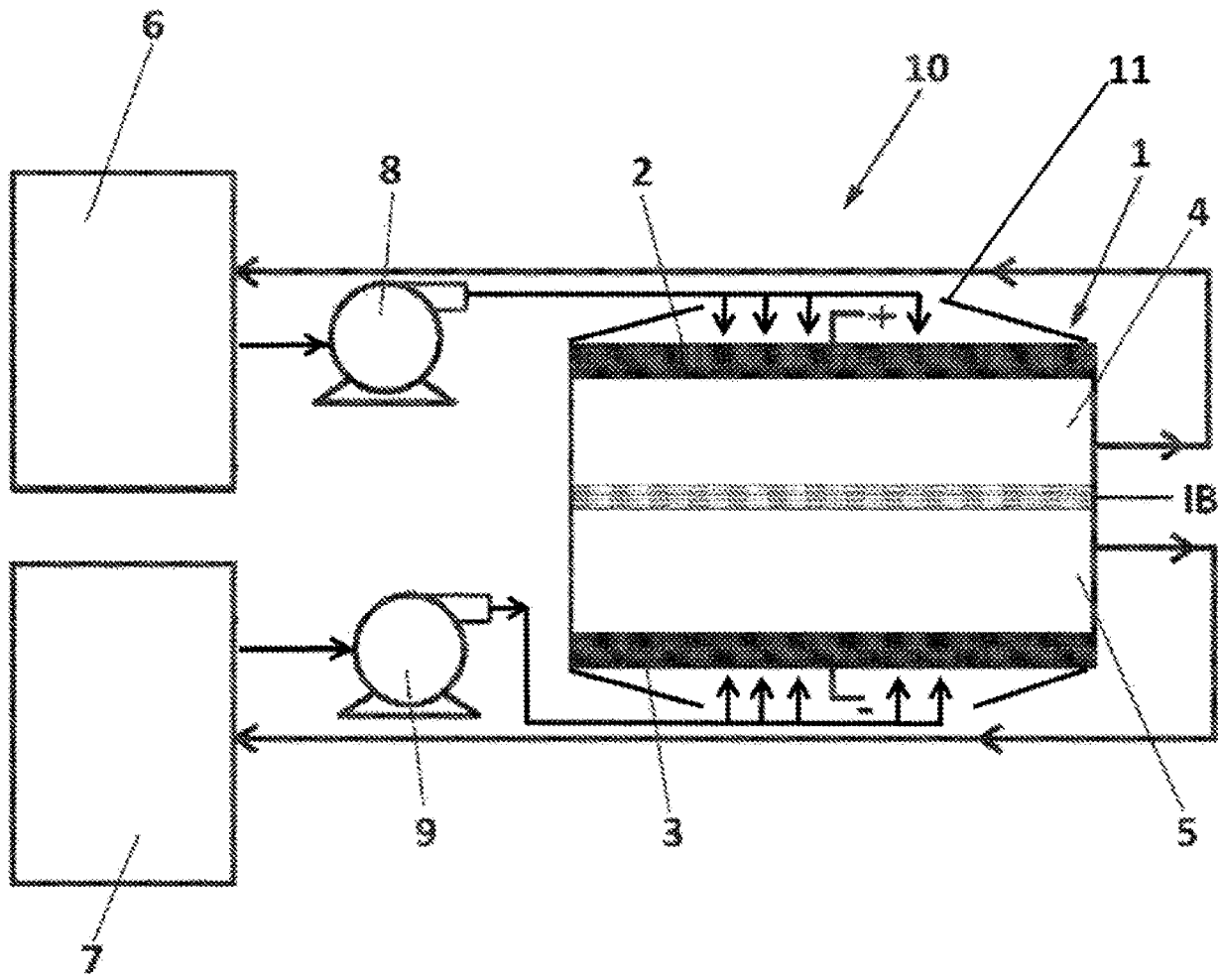


Figura 1

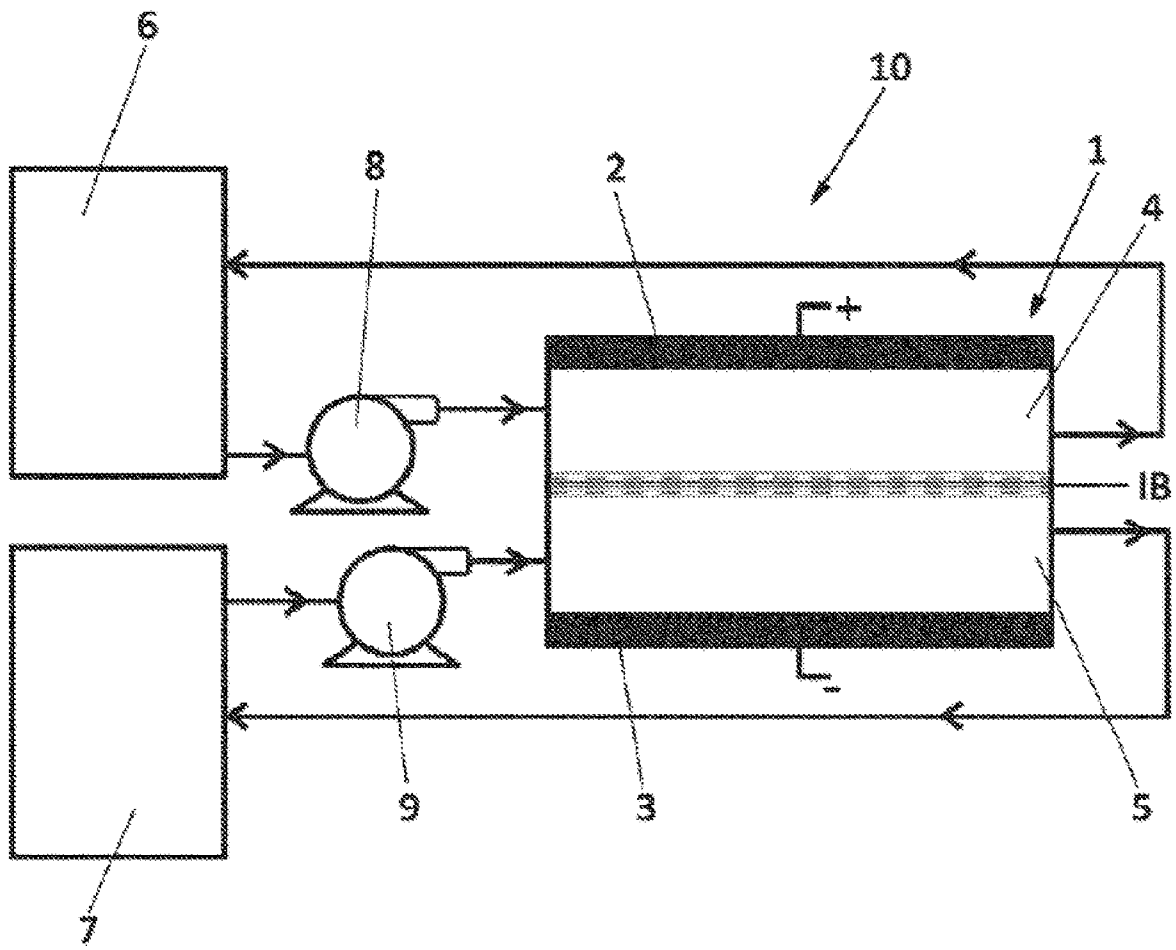


Figura 2

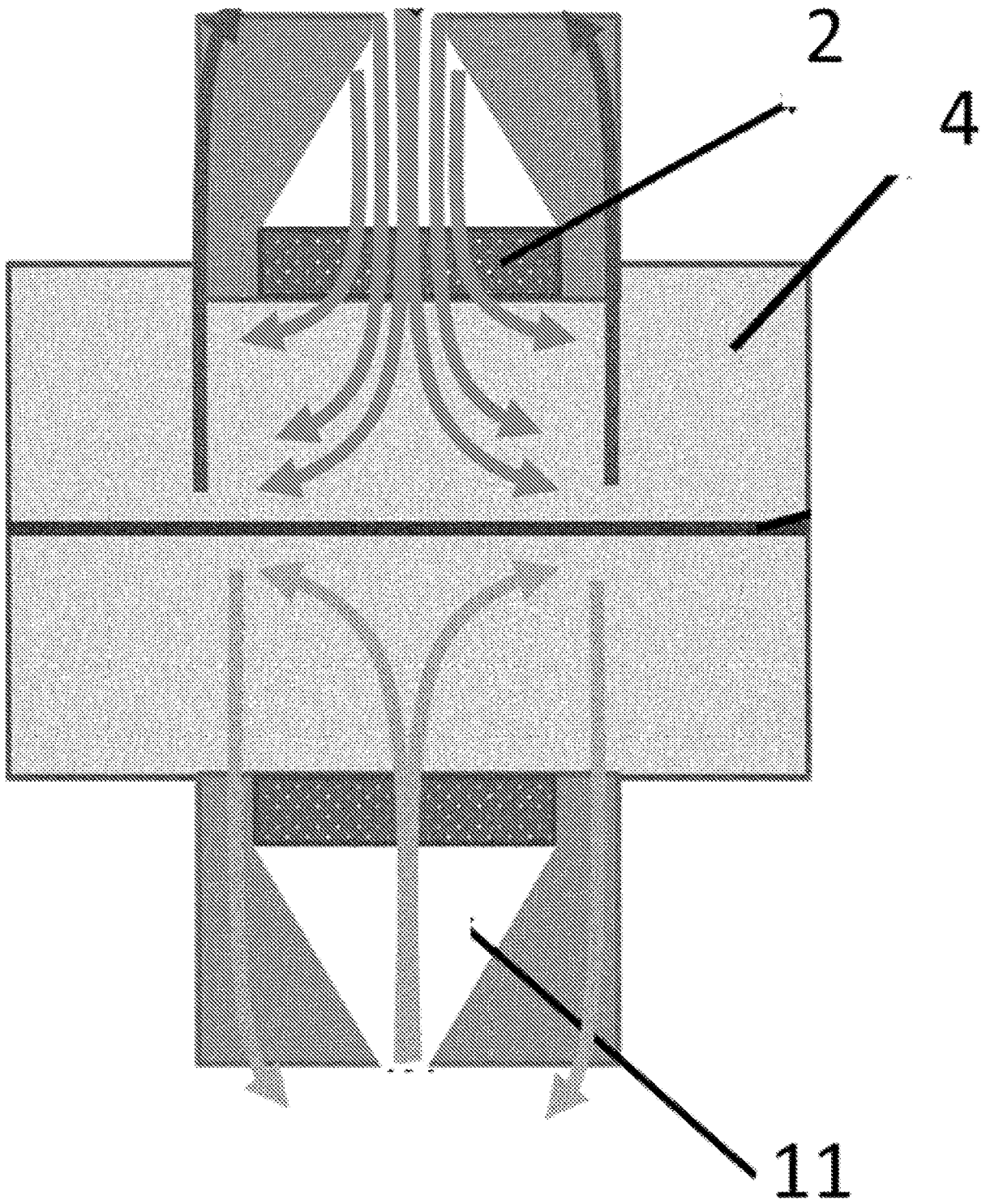


Figura 3

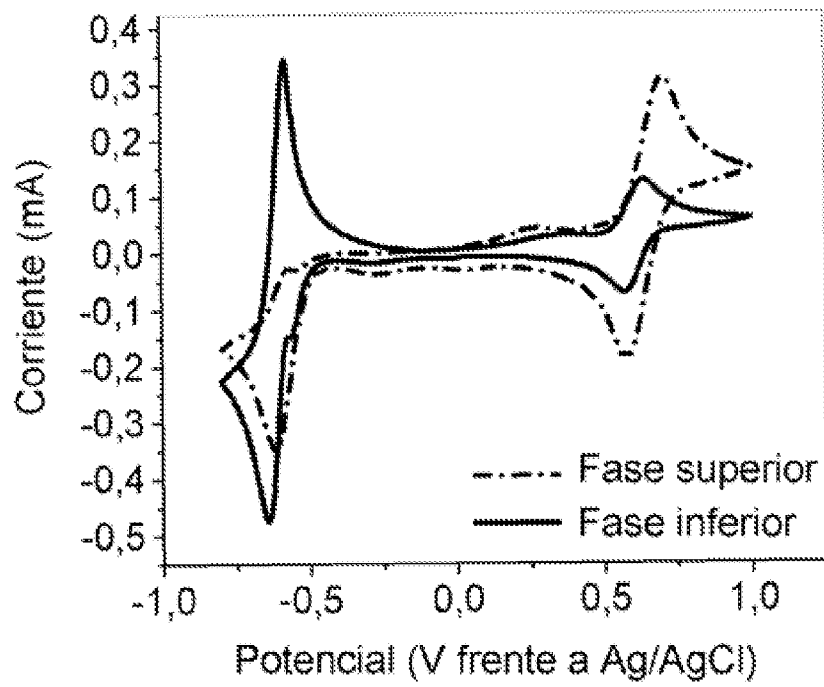


Figura 4

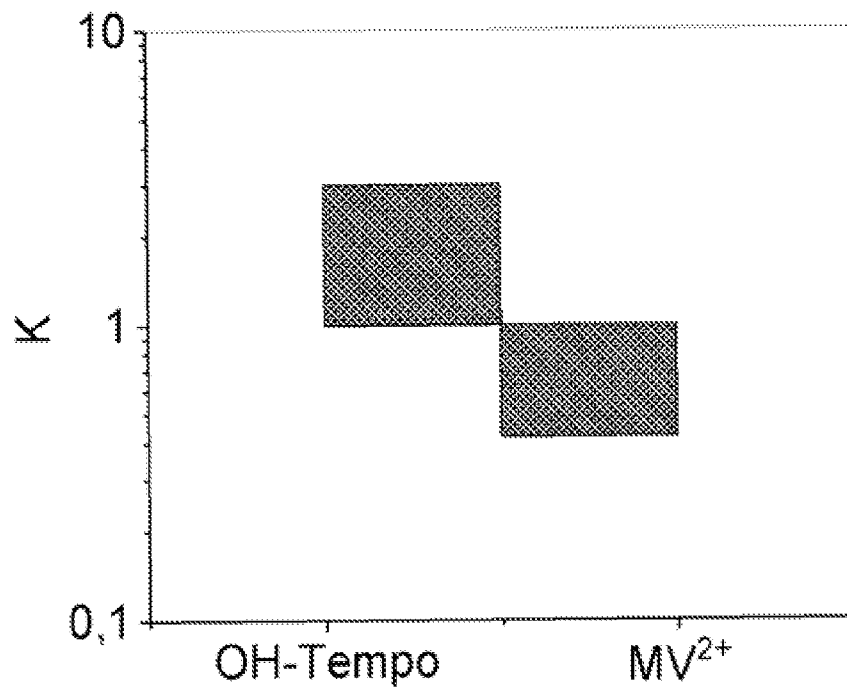


Figura 5

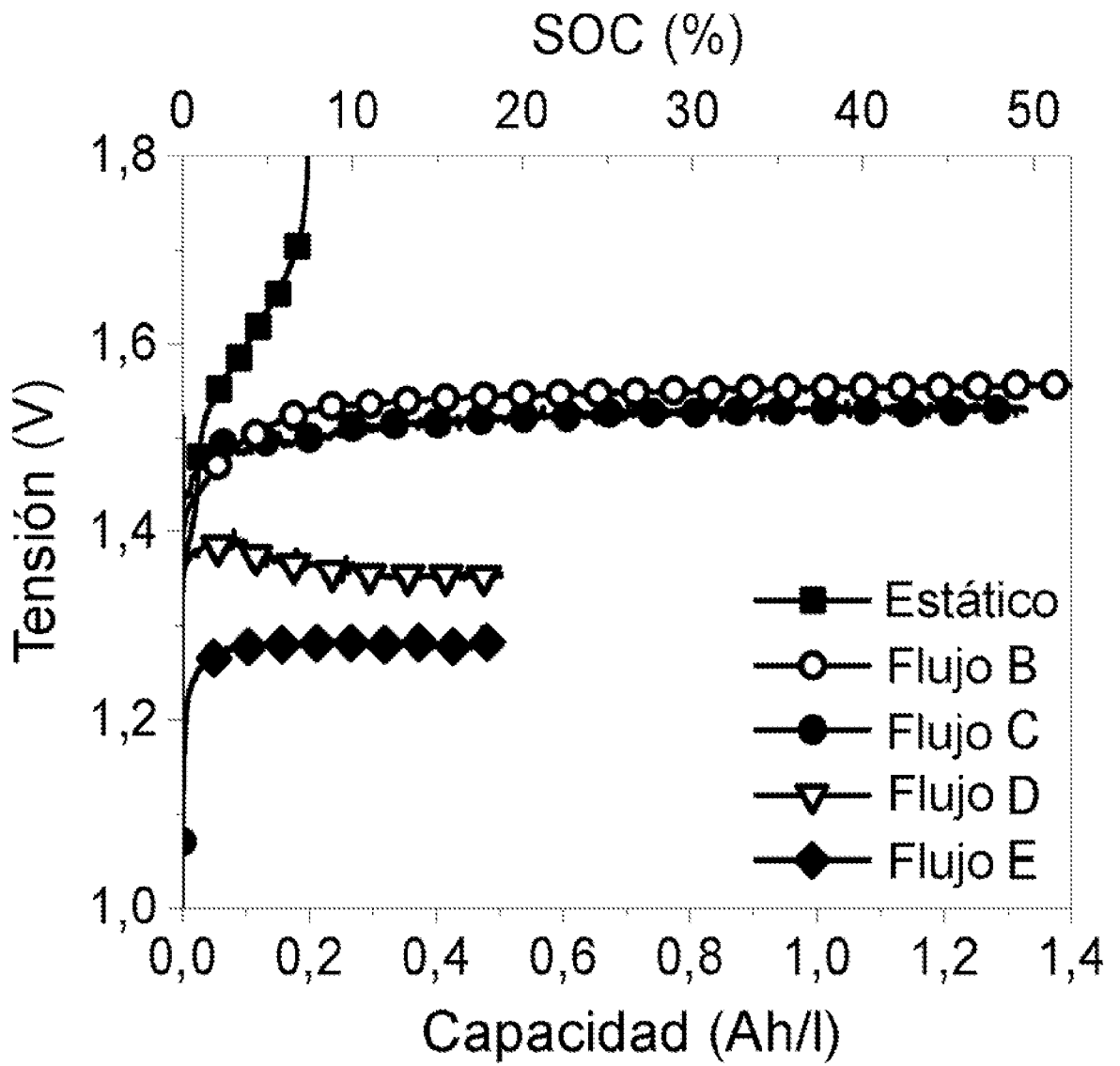


Figura 6

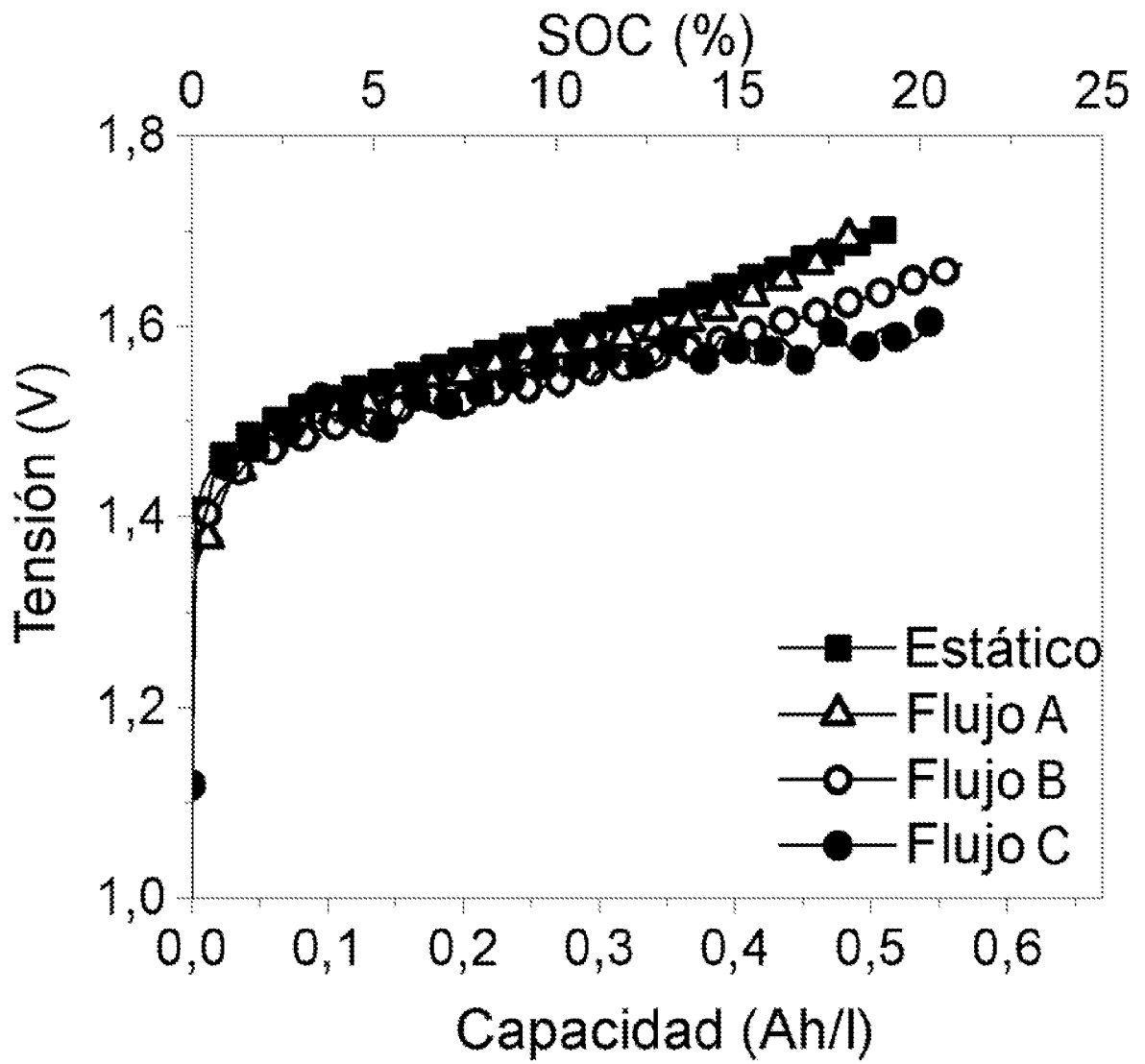


Figura 7

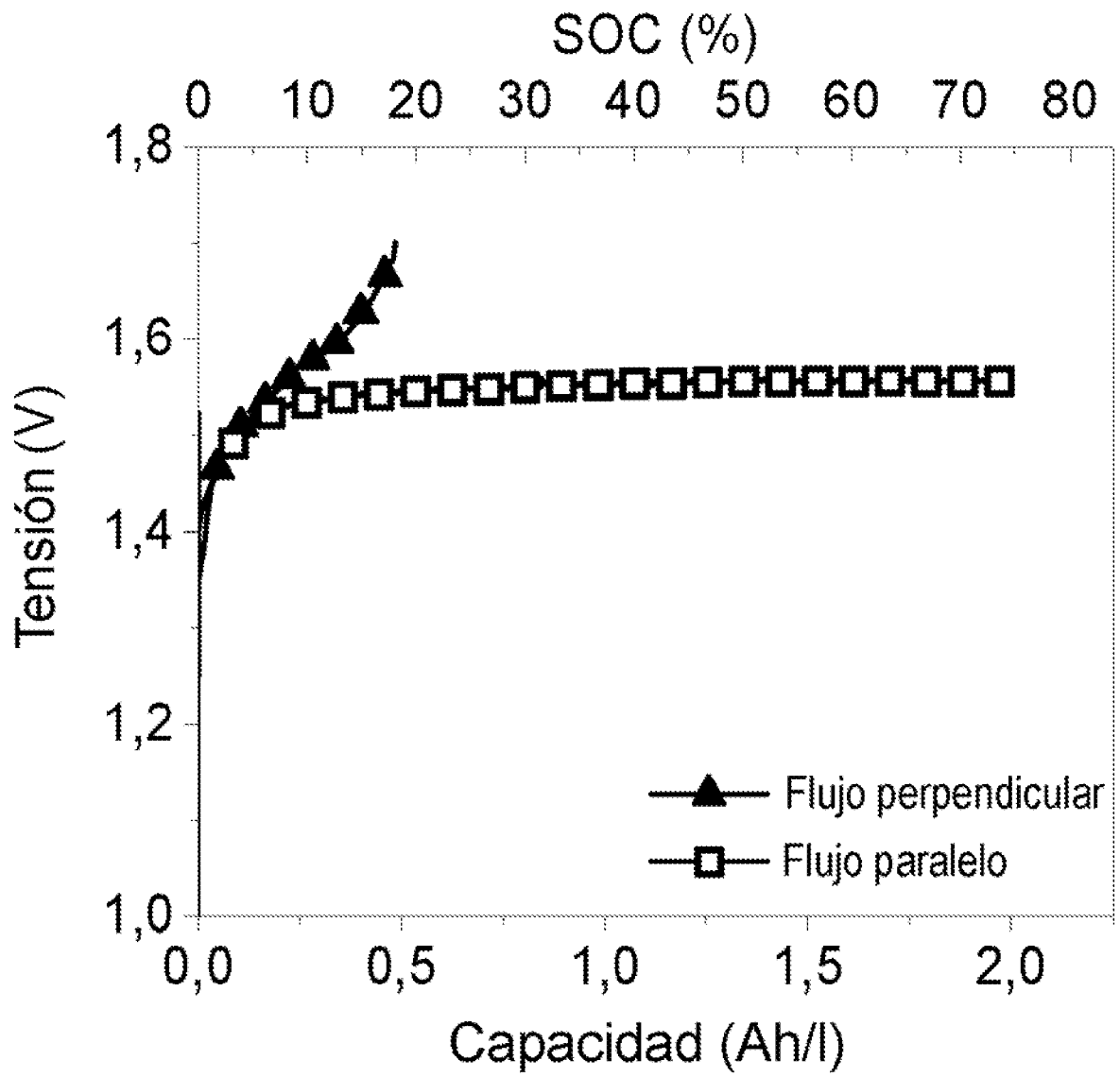


Figura 8

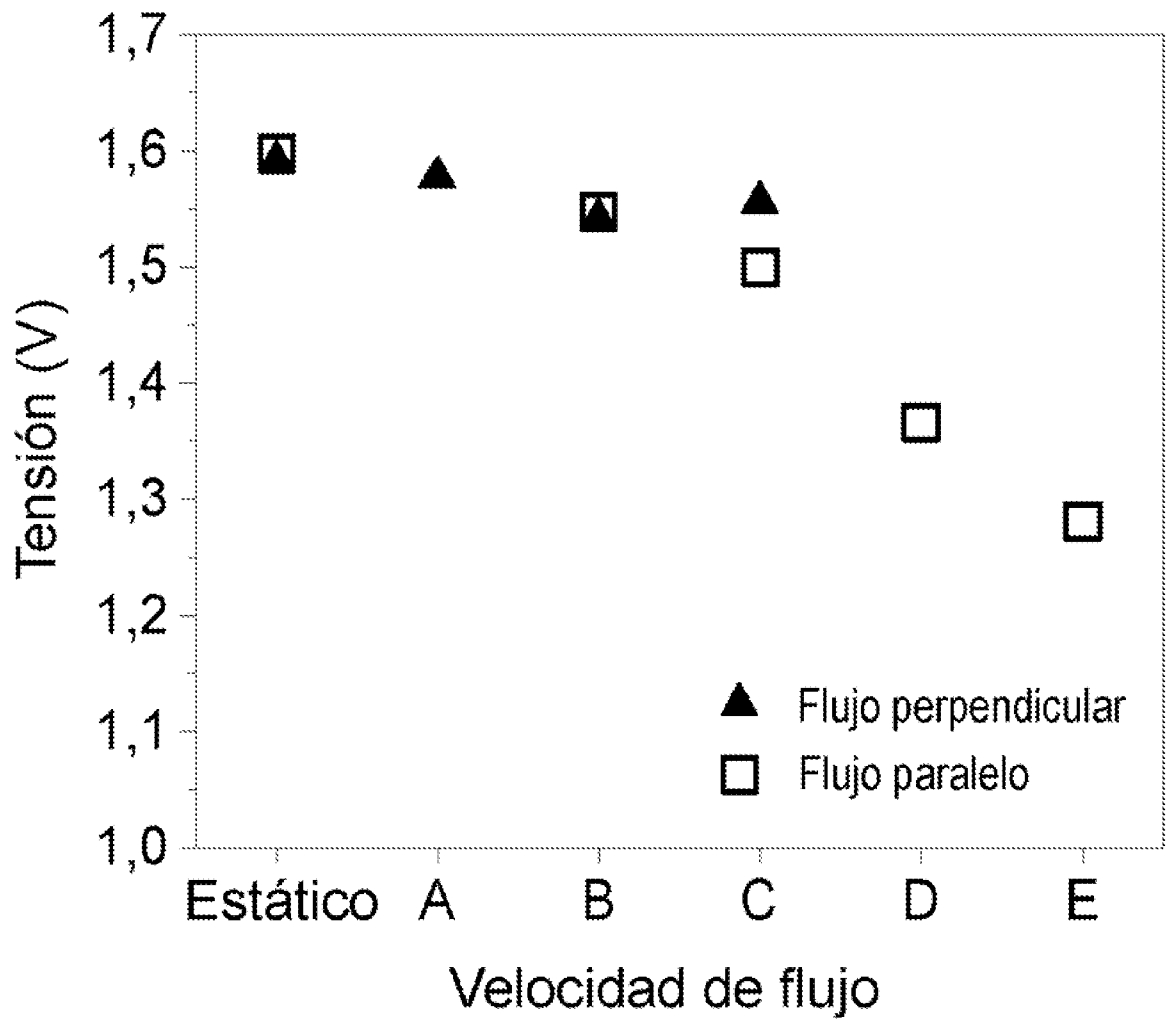


Figura 9

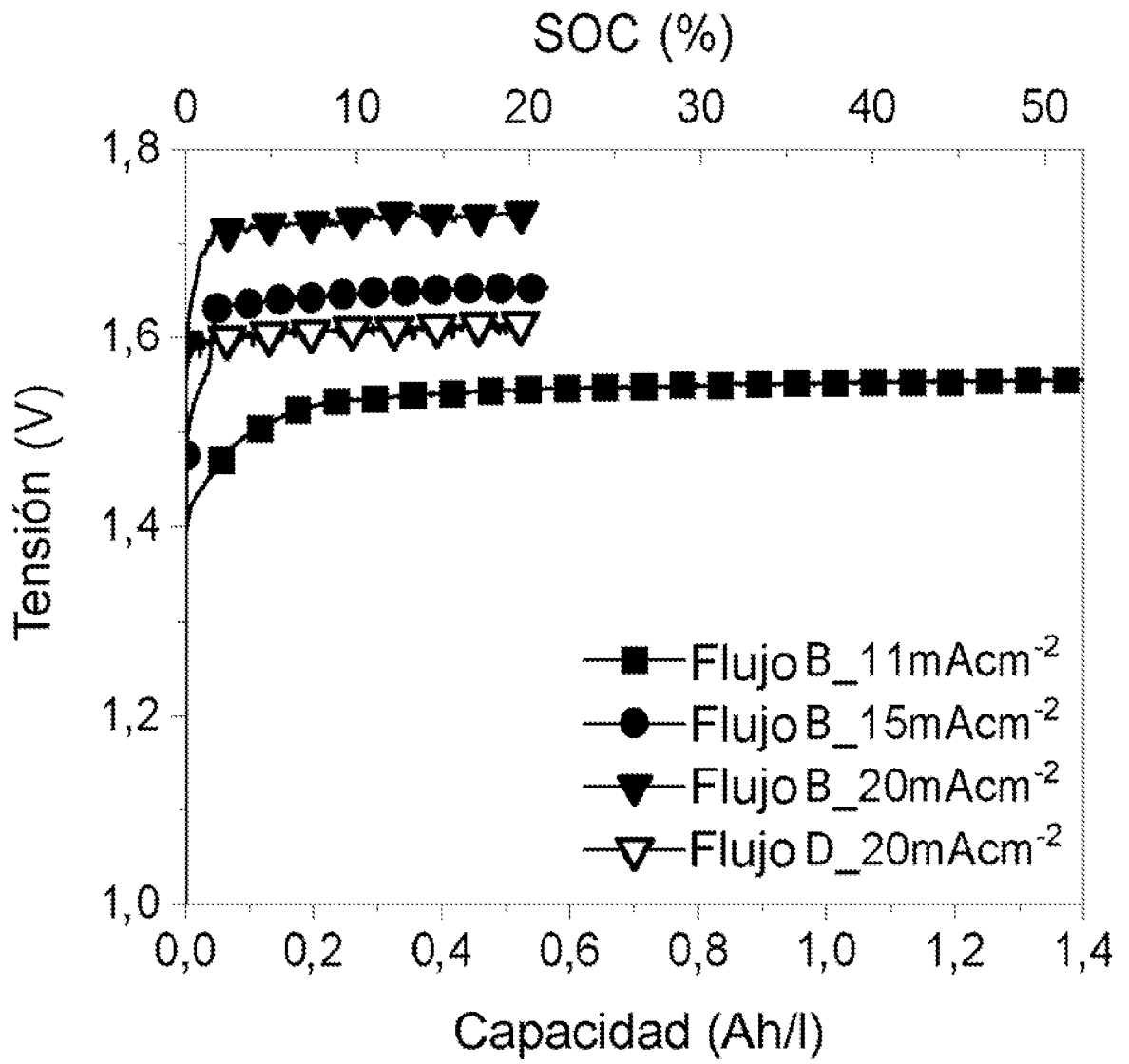


Figura 10

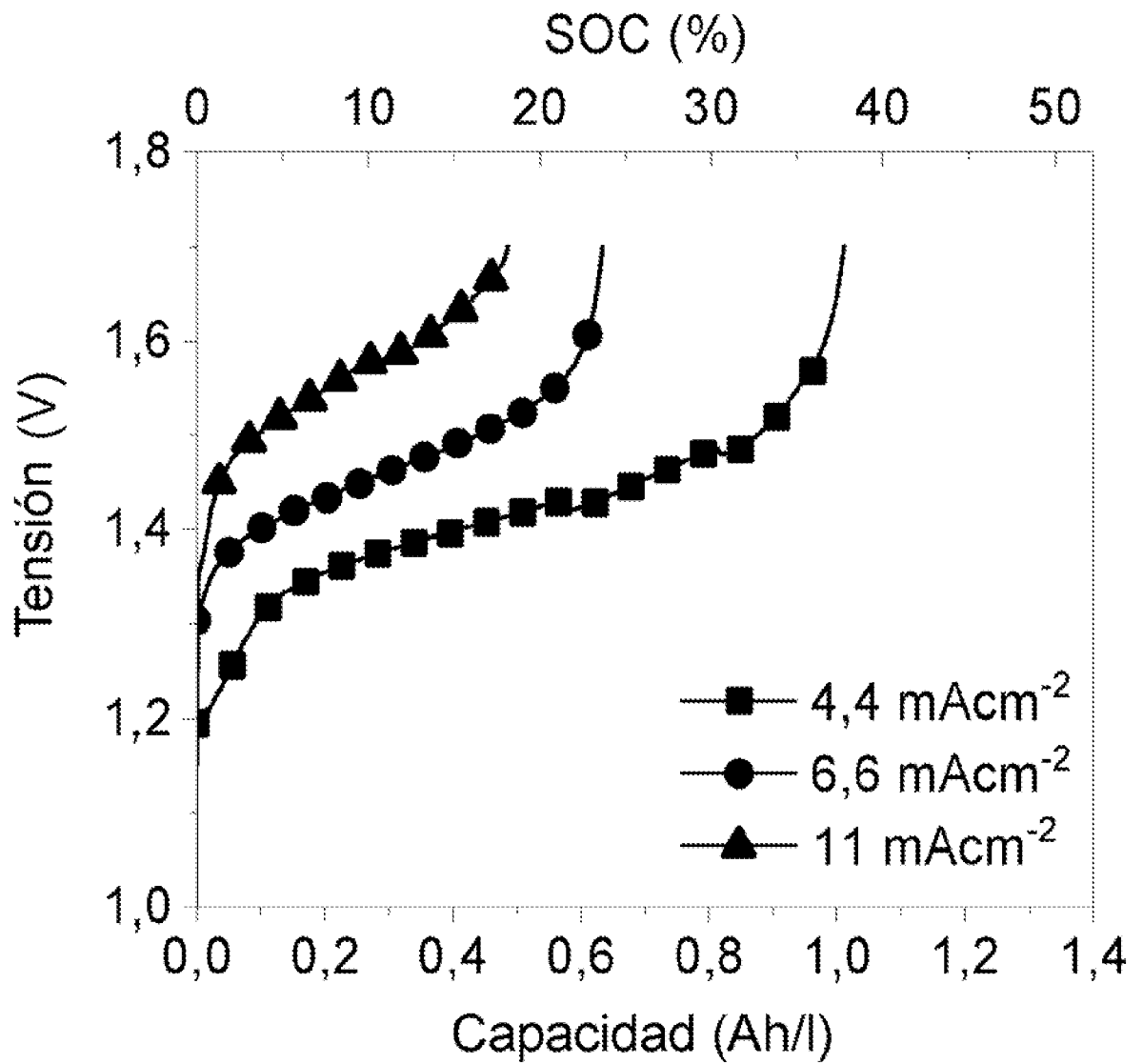


Figura 11

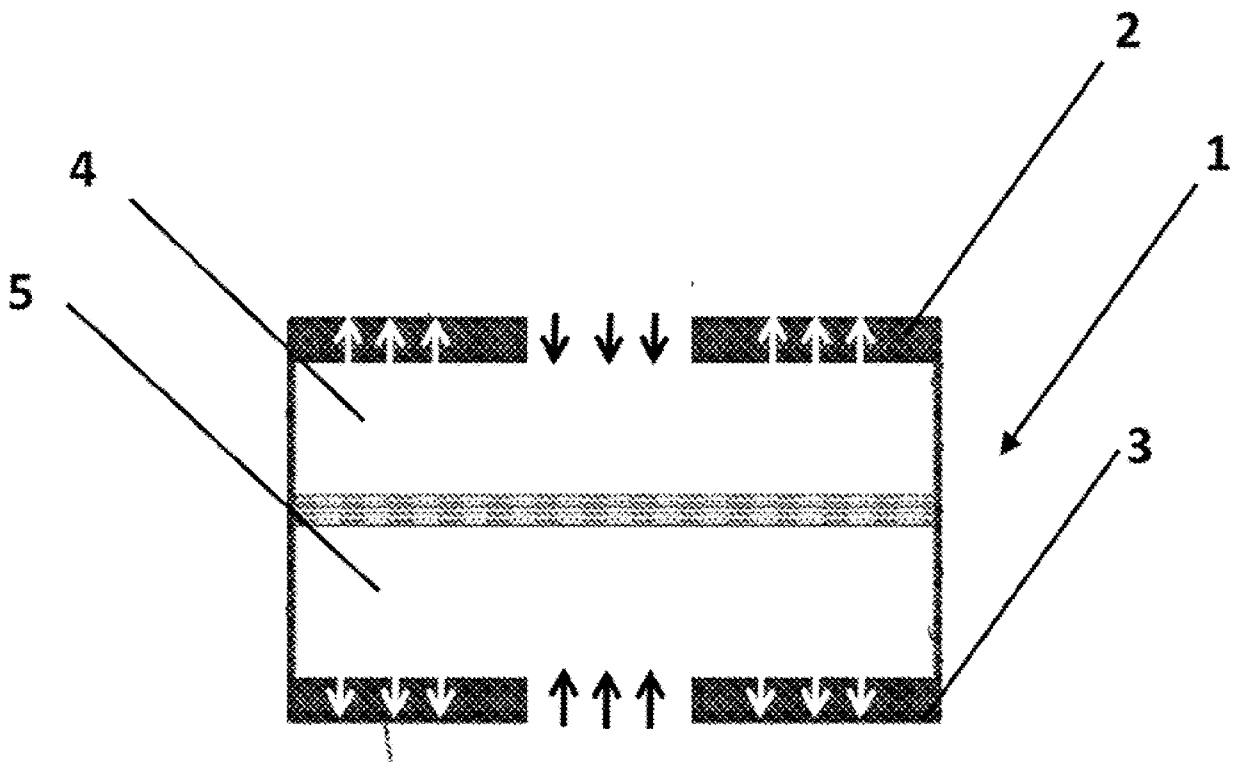


Figura 12