

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 397 101**

51 Int. Cl.:

H01M 8/20 (2006.01)

H01M 8/04 (2006.01)

H01M 8/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.06.2007 E 07796260 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2012 EP 2130242**

54 Título: **Batería redox de vanadio que incorpora múltiples depósitos de electrolitos**

30 Prioridad:

26.03.2007 US 728521

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

04.03.2013

73 Titular/es:

**JD HOLDING INC (100.0%)
SCOTIA CENTRE, 4TH FLOOR P.O. BOX 2804
GEORGE TOWN, GRAND CAYMAN, KY**

72 Inventor/es:

**LEPP, GARY;
HARPER, MATTHEW ALBERT MACLENNAN;
KLASSEN, ANDY y
HENNESSY, TIMOTHY DAVID JOHN**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 397 101 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 redox de vanadio que incorpora múltiples depósitos de electrolitos.

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a sistemas y procedimientos para proporcionar una batería de flujo redox de vanadio que pueda presentar un funcionamiento eficiente y una capacidad modular de expansión, de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas.

10

La técnica anterior representativa incluye el documento JP-9283169-A (Sumitomo *et al.*).

Breve descripción de los dibujos

15 Los distintos aspectos y ventajas de la invención se describen a título de ejemplo en la descripción siguiente de varias formas de realización y de los dibujos adjuntos. Se deberá entender que los dibujos adjuntos solo muestran las formas de realización típicas y, como tales, no se deberán considerar limitativas del alcance de las reivindicaciones. Las formas de realización se describirán y explicarán con precisión y detalle haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

20

la figura 1 es un diagrama de bloques de una forma de realización de un sistema de almacenaje de energía de batería redox de vanadio según las enseñanzas de la presente invención;

25

la figura 2 es un diagrama de bloques de una forma de realización de un sistema de almacenaje de energía de batería redox de vanadio según las enseñanzas de la presente invención;

la figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de procesado para modificar la capacidad de un sistema de almacenaje de energía de batería redox de vanadio según las enseñanzas de la presente invención;

30

la figura 4 es una representación de una forma de realización de un sistema de almacenaje de energía de batería de flujo redox de vanadio según las enseñanzas de la presente invención; y

35

la figura 5 es una forma de realización de un mecanismo de tapa que se podría utilizar para permitir el uso de un contenedor intermedio para materiales a granel como un segundo depósito de electrolito en la presente invención.

Descripción detallada de las formas de realización preferidas

40 Los sistemas de almacenaje de energía como las baterías recargables son una parte importante de los sistemas de energía eléctrica, particularmente los sistemas de energía eléctrica suministrados por generadores de turbina eólica, células fotovoltaicas, o similares. Los sistemas de almacenaje de energía también se pueden utilizar en: permitir aplicaciones en el arbitraje de energía, la compra-venta de energía durante las horas valle; sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI); proporcionar energía de reserva; o aplicaciones de calidad de energía en conjunción con una fuente de energía principal.

45

Los sistemas de almacenaje de energía de batería de flujo redox de vanadio (en adelante denominados "VRB-ESS") son ideales para su uso en estas aplicaciones debido a que pueden responder con rapidez a cargas cambiantes (tal como se requiere en los SAI y en las aplicaciones de calidad de energía), y se pueden configurar de manera que presenten una gran capacidad (tal como se necesita en las aplicaciones de fuente de energía principal). En la patente US nº 4.786.567 de Skyllas-Kazacos *et al.* se describe una batería redox toda de vanadio.

50

Un VRB-ESS típicamente genera energía eléctrica haciendo pasar soluciones electrolíticas de ánolito y católito a través de una o más células. Un VRB-ESS puede incluir cualquier cantidad y configuración de células dependiendo de las demandas de energía instantánea del sistema. De forma similar, un VRB-ESS puede presentar varias cantidades de solución de electrolito disponibles dependiendo de las necesidades de capacidad energética del sistema. La cantidad y la zona transversal de las células en el VRB-ESS puede determinar la cantidad de energía instantánea que el VRB-ESS es capaz de producir, y el volumen de soluciones electrolíticas de ánolito y católito disponible para el VRB-ESS puede definir su capacidad de almacenaje y producción de energía. Un VRB-ESS provisto de una pila de células se describe en la patente US nº 6.475.661 de Pellegrí *et al.*

60

65 Cuando actúa como un SAI, o cualquier otra aplicación de baja capacidad, sería deseable reducir la cantidad de solución electrolítica que circula a través del VRB-ESS. Esto es para minimizar pérdidas de energía en el electrolito debidas a la autodescarga de electrolito y para reducir la pérdida de energía para bombear la solución de electrolito a través del sistema. Sin embargo, en aplicaciones de alta capacidad (es decir, aplicaciones de energía principales), puede resultar necesario incrementar la capacidad de almacenaje de energía del VRB-ESS proporcionando una solución de electrolito adicional al VRB-ESS a través de depósitos de electrolito mayores. Además, incluso en una

aplicación de SAI de capacidad baja, dicho VRB-ESS puede requerir una capacidad de energía adicional en el caso de un fallo en la fuente de energía principal.

Incluso dentro de estos modos de baja capacidad y alta capacidad, varias aplicaciones de VRB-ESS pueden presentar necesidades de capacidad muy divergentes. Por ejemplo, un VRB-ESS utilizado como un SAI para una sola planta de un edificio de oficinas puede requerir significativamente menos capacidad que un VRB-ESS utilizado como un SAI para la totalidad del edificio o grupo de edificios. Así, resulta difícil producir un VRB-ESS provisto de depósitos de electrolito que puedan proporcionar de forma eficiente dichos requisitos de capacidad altamente variables. Esto es particularmente cierto en aplicaciones de SAI en las que resulta más eficiente hacer funcionar el VRB-ESS utilizando un suministro de electrolito limitado, pero podría resultar necesario proporcionar una gran cantidad de electrolito por la posibilidad de un fallo a largo plazo en la fuente de energía principal.

La necesidad de atender requisitos de capacidad variables puede forzar a que los clientes utilicen un VRB-ESS que posea una capacidad significativamente mayor de lo necesario, lo que tiene como resultado un funcionamiento de baja eficiencia. De forma similar, un cliente limitado por un espacio restringido puede precisar comprar depósitos de electrolito con un tamaño personalizado, lo que incrementa significativamente el coste del sistema. Además, incluso en aplicaciones de SAI con una capacidad muy elevada, es preferible hacer funcionar el VRB-ESS con tan poco electrolito como sea posible durante la operación de espera, para mejorar la eficiencia y mantener la carga del electrolito no utilizado en caso de fallo en la fuente de energía principal.

El transporte y la instalación de un VRB-ESS pueden requerir mucho tiempo y pueden resultar peligrosos para el usuario final. Las soluciones electrolíticas utilizadas en los sistemas VRB-ESS se han clasificado por las Naciones Unidas (ONU) y el Departamento de transporte de los Estados Unidos (DoT) como materiales peligrosos. Como tal, las soluciones anólita y católita utilizadas en los VRB-ESS se deben transportar hasta el lugar de instalación del usuario final en un contenedor aprobado. Estos contenedores generalmente se denominan en la técnica como contenedores intermedios para materiales a granel (en adelante denominados como IBC). Dichos contenedores generalmente deben estar certificados para su uso con materiales peligrosos. Los IBC deben estar certificados para el transporte de líquidos peligrosos de acuerdo con las regulaciones del DoT y/o de la ONU. Los procedimientos de certificación para los IBC pueden resultar rigurosos, típicamente requieren muchos meses de trabajo y cientos de horas de ensayos. La totalidad de los contenedores IBC se debe probar y certificar, incluyendo cualquier mecanismo de tapa en dicho IBC.

Debido a que las soluciones de electrolito de los VRB-ESS pueden suponer un riesgo sustancial para la salud al usuario final, sería deseable minimizar el contacto directo de dicho usuario final con el electrolito. En la mayoría de sistemas VRB-ESS, las soluciones de anólito y católito se deben transferir desde el IBC utilizado para el transporte al depósito VRB-ESS. Esta transferencia puede resultar peligrosa para el usuario final y suponer el riesgo de permitir que el material potencialmente peligroso se derrame en el entorno. Sin embargo, dicha transferencia puede resultar necesaria debido a que el VRB-ESS puede no ser capaz de utilizar soluciones electrolíticas albergadas en un contenedor IBC estándar. Además, la transferencia puede resultar necesaria debido a que el mecanismo de tapa de transporte certificado en el IBC no puede crear un sello aceptable para permitir el flujo seguro y fiable del electrolito hacia y desde el IBC.

La presente invención da a conocer un sistema y un procedimiento para corregir muchos de dichos problemas. Se describe un VRB-ESS capaz de incorporar modularmente depósitos de electrolito adicionales para incrementar la capacidad energética del sistema. El VRB-ESS de la presente invención funciona de manera eficiente utilizando un primer volumen de solución de electrolito, al mismo tiempo que se mantiene un segundo volumen de solución de electrolito para el VRB-ESS cuando se requiera una capacidad adicional. Además, el VRB-ESS de la presente invención puede incorporar contenedores industriales IBC estándar, obviando la necesidad de transferencia de fluidos peligrosos, incrementando la seguridad y la flexibilidad de dichos VRB-ESS.

La figura 1 es un diagrama de bloques de una forma de realización de un VRB-ESS 100 que incorpora las enseñanzas de la presente invención. El VRB-ESS según la forma de realización 100 puede incluir una o más células 10. Cada célula 10 puede comprender un electrodo negativo 12 dispuesto en el compartimiento negativo 14 y un electrodo positivo 20 dispuesto en el compartimiento positivo 22. Los electrodos adecuados incluyen cualquier cantidad de componentes conocidos en la técnica y pueden incluir electrodos fabricados de acuerdo con las enseñanzas de la patente US nº 5.665.212 de Zhong *et al.*

El compartimiento negativo 14 puede incluir una solución anólita 16 en comunicación eléctrica con el electrodo negativo 12. Dicha solución anólita 16 puede ser un electrolito, que contenga iones de redox en un estado reducido y que se oxidizan durante el proceso de descarga de la célula 10, o en un estado oxidizado y que se reducen durante el proceso de carga de la célula 10, o que sean una mezcla de iones reducidos e iones para su reducción.

A título de ejemplo, en los VRB-ESS 100 la reacción redox de carga-descarga que tiene lugar en el electrodo negativo 12 en una solución anólita 16 se puede representar mediante la ecuación 1.1:



El compartimiento positivo 22 puede contener una solución catódica 24 en comunicación eléctrica con el electrodo positivo 20. Dicha solución catódica 24 puede ser un electrolito que contenga iones de redox específicos que se encuentren en un estado oxidado y que se deberán reducir durante el proceso de descarga de una célula 10, o se encuentren en un estado reducido y se vayan a oxidar durante el proceso de carga de la célula 10, o que sean una mezcla de dichos iones oxidados e iones que se van a oxidar. A título de ejemplo, la reacción redox de carga-descarga que tiene lugar en el electrodo positivo 20 en la solución catódica 24 se puede representar mediante la ecuación 1.2:



La solución anódica 16 y la solución catódica 24 se pueden preparar de acuerdo con las enseñanzas de las patentes US nº 4.786.567, nº 6.143.443, nº 6.468.688 y nº 6.562.514 o mediante otros procedimientos conocidos en la técnica.

Cada célula 10 puede incluir una membrana conductora iónicamente 11 dispuesta entre el compartimiento positivo 22 y el compartimiento negativo 14 de la célula 10. Dicha membrana 11 puede estar en contacto fluido con la solución catódica 24 y la solución anódica 16, para proporcionar una comunicación iónica entre las mismas. La membrana 11 puede servir como una membrana de intercambio de protones. Dicha membrana 11 se puede formar como una membrana de anión o una membrana de catión y puede incluir un material de carbono que puede estar perfluorinado.

La solución anódica 16 se puede alojar en un primer depósito de ánodo 52. Dicho depósito de ánodo 52 puede estar realizado como un tanque, una cámara, un IBC, u otro contenedor que pueda alojar una solución anódica conocida en la técnica. El primer depósito de ánodo 52 puede estar en comunicación fluidica con el compartimiento negativo 14 a través de una conexión de suministro de ánodo 30 y la primera conexión de retorno de ánodo 32. En la forma de realización 100, la solución de ánodo alojada en el primer depósito de ánodo 52 puede fluir en el compartimiento negativo 14 de la célula 10 a través de la primera conexión de suministro de ánodo 30, y puede fluir al exterior del compartimiento negativo 14 de la célula 10 hacia el primer depósito de ánodo 52 a través de la primera conexión de retorno de ánodo 32. La primera conexión de suministro de ánodo 30 y la primera conexión de retorno de ánodo 32 pueden comprender cualquier tipo de conducto de fluido conocido en la técnica capaz de contener una solución anódica.

La solución catódica 24 se puede alojar en un primer depósito de cátodo 62. Dicho depósito de cátodo 62 puede estar realizado como un tanque, una cámara, un IBC, u otro contenedor que pueda alojar una solución catódica conocida en la técnica. El primer depósito de cátodo 62 puede estar en comunicación fluidica con el compartimiento positivo 22 a través de una primera conexión de suministro de cátodo 34 y la primera conexión de retorno de cátodo 36. En la forma de realización 100, la solución catódica alojada en el primer depósito de cátodo 62 puede fluir en el compartimiento positivo 22 de la célula 10 a través de la primera conexión de suministro de cátodo 34, y puede fluir al exterior del compartimiento positivo 22 de la célula 10 hacia el primer depósito de cátodo 62 a través de la primera conexión de retorno de cátodo 36. La primera conexión de suministro de ánodo 30 y la primera conexión de retorno de ánodo 32 pueden comprender cualquier tipo de conducto de fluido conocido en la técnica capaz de contener una solución anódica.

En la forma de realización 100, la primera conexión de suministro de ánodo 30 puede estar en comunicación fluidica con la bomba de ánodo 50. Dicha bomba de ánodo 50 puede regular y permitir el flujo de la solución de ánodo en el primer depósito de ánodo 52 a través de la conexión de suministro de ánodo 30 en el compartimiento negativo 14. La bomba de ánodo 50 también puede regular y permitir que el ánodo 16 fluya desde el compartimiento negativo 14 a través de la primera conexión de retorno de ánodo 32 en un depósito de ánodo 52. La bomba de ánodo 50 puede ser una bomba de caudal de flujo variable, en la que el caudal de la bomba de ánodo 50 determina el caudal de flujo de ánodo 16 a través del compartimiento negativo 14. La bomba de ánodo 50 puede estar acoplada de forma comunicativa al controlador del sistema 80. En la forma de realización 100, dicho controlador del sistema 80 puede regular el flujo de ánodo a través del compartimiento negativo 14 mediante el control del caudal de flujo de la bomba de ánodo 50.

En la forma de realización 100, la primera conexión de suministro de cátodo 34 puede estar en comunicación fluidica con la bomba de cátodo 60. Dicha bomba de cátodo 60 puede regular y permitir el flujo de la solución de cátodo en el primer depósito de cátodo 62 a través de la conexión de suministro de cátodo 34 en el compartimiento positivo 22. La bomba de cátodo 60 también puede regular y permitir que el cátodo 24 fluya desde el compartimiento positivo 22 a través de la primera conexión de retorno de cátodo 36 en un primer depósito de cátodo 62. La bomba de cátodo 60 puede ser una bomba de caudal de flujo variable, en la que el caudal de la bomba de cátodo 60 determina el caudal de flujo de cátodo 24 a través del compartimiento positivo 22. La bomba de cátodo 60 puede estar acoplada de forma comunicativa al controlador del sistema 80. En la forma de realización 100, dicho controlador del sistema 80 puede regular el flujo de cátodo a través del compartimiento positivo 22

mediante el control del caudal de flujo de la bomba de católito 60.

La forma de realización 100 puede comprender un segundo depósito de anólito 54. Dicho segundo depósito de anólito 54 puede estar realizado como un tanque, una cámara, un IBC, u otro contenedor conocido en la técnica que pueda alojar una solución anólitica. El segundo depósito de anólito 54 puede estar en comunicación fluidica con el primer depósito de anólito 52 a través de una segunda conexión de tubería de suministro de anólito 31. El segundo depósito de anólito 54 también puede estar en comunicación fluidica con el compartimiento negativo 14 a través de una segunda conexión de tubería de retorno de anólito 33.

La forma de realización 100 puede comprender un segundo depósito de católito 64. Dicho segundo depósito de católito 64 puede estar realizado como un tanque, una cámara, un IBC, u otro contenedor conocido en la técnica que pueda alojar una solución católitica. El segundo depósito de católito 64 puede estar en comunicación fluidica con el primer depósito de católito 62 a través de una segunda conexión de tubería de suministro de católito 35. El segundo depósito de católito 64 también puede estar en comunicación fluidica con el compartimiento positivo 22 a través de una segunda conexión de tubería de retorno de católito 37.

Los electrodos negativos 12 y los electrodos positivos 20 pueden estar en comunicación directa con un módulo de conmutación 70. Dicho módulo de conmutación 70 puede ser capaz de acoplar eléctricamente el electrodo negativo 12 y el electrodo positivo 20 a la fuente de energía 72 (que no se muestra) o carga 74 (que no se muestra). El módulo de conmutación 70 se puede disponer en serie entre la fuente de energía 72 y cada electrodo negativo 12. El módulo de conmutación 70 también se puede disponer en serie entre la carga 74 y cada electrodo negativo 12. Esta disposición de circuito permite que el módulo de conmutación 70 conecte de forma selectiva el VRB-ESS 100 a la fuente de energía 72 o a la carga 74. En una forma de realización 100, el módulo de conmutación 70 está acoplado de forma comunicativa al controlador de sistema 80, permitiendo que dicho controlador de sistema 80 conecte de forma selectiva la célula 10 con la fuente de energía 72 o la carga 74. Un experto en la materia apreciará que se pueden realizar disposiciones y configuraciones de circuito alternativas, por ello, la forma de realización de la figura 1 se proporciona únicamente a título ilustrativo.

La forma de realización 100 se puede configurar para la hacer circular únicamente soluciones electrolíticas alojadas en el primer depósito de anólito 52 y el primer depósito de católito 62. Cuando se configura de este modo, se puede decir que el VRB-ESS de la forma de realización 100 funciona en modo "volumen bajo". Alternativamente, la forma de realización 100 se puede configurar de manera que se hagan circular soluciones electrolíticas alojadas tanto en el primer como en el segundo depósito de anólito 52, 54 y el primer y el segundo depósito de católito 62, 64. Cuando se configura de este modo, el VRB-ESS de la forma de realización 100 se puede decir que funciona en un modo "volumen completo".

Tal como se utiliza en la presente memoria, dichas segunda conexión de tubería de suministro anólitico 31, segunda conexión de tubería de retorno anólitico 33, segunda conexión de tubería de suministro católito 35 y segunda conexión de tubería de retorno católito 37, o una conexión de fluido como la conexión de suministro anólito 30, la conexión de retorno anólito 32, la conexión de suministro católito 34 y la conexión de retorno católito 36 pueden estar formadas en cualquier conducto de fluido capaz de alojar una solución electrolítica. Dicho conducto de fluido puede comprender: tuberías de plástico reforzadas con una malla; tuberías de caucho reforzadas de fibra; una manguera de compuesto multicapas; tuberías polietileno; tuberías de caucho reforzadas; o similares. Los expertos en la materia entenderán que se puede utilizar cualquier cantidad de materiales de conducto de fluido diferentes sin apartarse de las enseñanzas de la presente invención.

Con el fin de configurar la forma de realización 100 en el modo "volumen completo", se pueden disponer una primera válvula de retorno de anólito 59 y una primera válvula de retorno de católito 69 en un estado cerrado. Esto podría evitar que el anólito que fluye del compartimiento negativo 14 de la célula 10 a través de la conexión 32 fluya en el primer depósito de anólito 52; al contrario, en esta configuración, el anólito que fluye a través de la primera conexión de retorno de anólito 32 fluye en el segundo depósito de anólito 54 a través de la segunda conexión de tubería de retorno de anólito 33. Cuando el anólito fluye en el segundo depósito de anólito 54, dicho segundo depósito de anólito 54 se puede llenar, creando una condición de sobreflujo en dicho segundo depósito de anólito 54. Esta condición de sobreflujo puede provocar que el anólito fluya al exterior del segundo depósito de anólito 54 en el primer depósito de anólito 52 a través de una segunda conexión de tubería de suministro de anólito 31. En una forma de realización alternativa, el VRB-ESS se puede configurar en el modo "volumen completo" abriendo una válvula de suministro de anólito (que no se muestra) en conexión de fluido 31 y disponiendo la conexión de fluido 31 próxima a la parte inferior del depósito 54 de manera que siempre se encuentre en contacto con el anólito independientemente de cómo esté de lleno el depósito.

En el modo "volumen completo", el cierre de la primera válvula de retorno de católito 69 puede evitar que dicho católito que fluye del compartimiento positivo 22 de la célula 10 a través de la conexión 36 fluya en el primer depósito de católito 62; al contrario, en esta configuración, el católito que fluye a través de la primera conexión de retorno de católito 36 puede fluir en el segundo depósito de católito 64 a través de la segunda conexión de tubería de retorno de católito 37. Cuando el católito fluye en el segundo depósito de católito 64, dicho segundo depósito de católito 64 se puede llenar, creando una condición de sobreflujo en dicho segundo depósito de católito 64. Esta

condición de sobreflujo puede provocar que el católito fluya al exterior del segundo depósito de católito 64 en el primer depósito de católito 62 a través de una segunda conexión de tubería de suministro de católito 35. Así, en el modo “volumen completo” el anólito en el segundo depósito de anólito 54 puede fluir en serie a través del primer depósito de anólito 52 y el católito en el segundo depósito de católito 64 puede fluir en serie a través del primer depósito de católito 62. Así, en el modo “volumen completo” la totalidad del electrolito contenido en los depósitos 52, 54, 62, 64 puede circular a través del VRB-ESS 100.

Con el fin de configurar la forma de realización 100 en el modo “volumen bajo”, se pueden abrir la primera válvula de retorno de anólito 59 y la primera válvula de retorno de católito 69. En esta configuración, el anólito que fluye del compartimiento negativo 14 de la célula 10 a través de la conexión de retorno de anólito 32 puede fluir en el primer depósito de anólito 52. En una forma de realización, la segunda conexión de tubería de retorno de anólito 33 se puede elevar con respecto a la primera conexión de retorno de anólito 32 o célula 10. Este diferencial puede evitar que el anólito que fluye desde el compartimiento negativo 14 a través de la primera conexión de retorno de anólito 32 fluya en el segundo depósito de anólito 54 cuando la primera válvula de retorno de anólito 59 se encuentre en una posición abierta. En una forma de realización alternativa, la segunda conexión de tubería de retorno de anólito 33 puede comprender una segunda válvula de retorno de anólito (que no se muestra), para evitar que el anólito fluya en el segundo depósito de anólito 54 en el modo “volumen bajo”. De acuerdo con esto, en el modo “volumen bajo” no se puede crear la condición de sobreflujo en el segundo depósito de anólito 54. Así, en el modo “volumen bajo”, el anólito puede no fluir desde el segundo depósito de anólito 54 hasta el primer depósito de anólito 52 a través de la segunda conexión de tubería de suministro de anólito 31.

En el modo “volumen bajo”, el católito que fluye desde el compartimiento positivo 22 de la célula 10 a través de la conexión de retorno de católito 36 puede fluir en el primer depósito de católito 62. En una forma de realización, la segunda conexión de tubería de retorno de católito 37 se puede elevar con respecto a la primera conexión de retorno de católito 36 o célula 10. Este diferencial puede evitar que el católito que fluye desde el compartimiento positivo 22 a través de la primera conexión de retorno de católito 36 fluya en el segundo depósito de católito 36 cuando la primera válvula de retorno de católito 69 se encuentre en una posición abierta. En una forma de realización alternativa, la segunda conexión de tubería de retorno de católito 33 puede comprender una segunda válvula de retorno de católito (que no se muestra), para evitar que el católito fluya en el segundo depósito de católito 64 en el modo “volumen bajo”. De acuerdo con esto, en el modo “volumen bajo” no se puede crear la condición de sobreflujo en el segundo depósito de católito 64. Así, en el modo “volumen bajo”, el católito puede no fluir desde el segundo depósito de católito 64 al primer depósito de católito 62 a través de la segunda conexión de tubería de suministro de católito 35. De esta manera, en el modo “volumen bajo”, la solución de electrolito contenida en el segundo depósito de anólito 54 y en el segundo depósito de católito 64 se puede aislar sustancialmente del VRB-ESS 100.

Las soluciones electrolíticas de anólito y católito del VRB-ESS 100 se pueden cargar configurando el módulo de conmutación 70 para conectar la fuente de energía 72 (que no se muestra) al electrodo negativo 12 y al electrodo positivo 20 de la célula 10. La energía eléctrica suministrada a través del electrodo negativo 12 puede producir iones de vanadio divalentes en la solución de anólito 16, tal como se representa mediante la ecuación 1.3:



La energía eléctrica suministrada a través del electrodo positivo 20 puede producir iones de vanadio pentavalentes en la solución de católito 24, tal como se representa mediante la ecuación 1.4:



Cuando se carga, cada una de las células puede proporcionar una tensión de circuito abierto de aproximadamente 1,41V a 25°C.

El módulo de conmutación 70 se puede configurar para extraer energía eléctrica de la célula 10 conectando dicha célula 10 a la carga 74 (que no se muestra). Esto provoca que la carga 72 (que no se muestra) extraiga energía eléctrica de la solución de anólito 16 del compartimiento negativo 14 y de la solución de católito 24 del compartimiento positivo 22. Esta extracción de energía eléctrica puede producir iones de vanadio trivalentes en la solución de anólito 16, tal como se representa mediante la ecuación 1.5 y puede producir iones de vanadio tetravalentes en la solución de católito 24 en el compartimiento positivo 22, tal como se representa mediante la ecuación 1.6:



Cuando se extrae la energía eléctrica de la célula 10, la solución de anólito 16 en el compartimiento negativo 14 y la solución de católito 24 en el compartimiento positivo 22 se pueden descargar. Así, se podría utilizar la bomba de

anólito 50 para hacer circular anólito adicional en el compartimiento negativo 14 a través de la conexión de suministro de anólito 30, expulsando anólito 16 del interior del compartimiento negativo 14 a través de la primera conexión de retorno de anólito 32. La bomba de católito 60 se podría utilizar para bombear católito a través de la conexión de suministro de católito 34 al interior del compartimiento positivo 22, forzando el católito 24 del compartimiento positivo 22 para que fluya al exterior de dicho compartimiento positivo 22 a través de la primera conexión de retorno de católito 36.

La figura 2 muestra otra forma de realización 200 de la presente invención en la que el primer depósito de anólito 52 de la figura 1 se encuentra en el depósito 52a y 52b. En esta forma de realización 200, el primer depósito de anólito 52a puede contener anólito sustancialmente cargado, y el primer depósito de anólito 52b puede contener anólito sustancialmente descargado. De forma similar, el depósito 62 de la figura 1 puede estar compuesto por dos depósitos 62a y 62b. En esta forma de realización, el primer depósito de católito 62a puede contener católito sustancialmente cargado y el primer depósito de católito 62b puede contener católito sustancialmente descargado.

De forma similar, el segundo depósito de anólito 54 de la figura 1 puede estar compuesto de los depósitos 54a y 54b, pudiendo dicho segundo depósito de anólito 54a contener sustancialmente anólito cargado, y el segundo depósito de anólito 54b puede contener sustancialmente anólito descargado. De forma similar, el segundo depósito de católito 64 de la figura 1 puede estar compuesto por los depósitos 64a y 64b, pudiendo dicho segundo depósito de católito 64a contener católito sustancialmente descargado y el segundo depósito de católito 64b puede contener católito sustancialmente descargado.

Al igual que en la forma de realización 100, el VRB-ESS de la forma de realización 200 puede funcionar en un modo de "volumen bajo", en el que solo las soluciones electrolíticas contenidas en el primer depósito de anólito 52a, 52b y el primer depósito de católito 62a, 62b pueden fluir a través de la célula 10. De forma alternativa, el VRB-ESS de la forma de realización 200 se puede hacer funcionar en un modo "volumen completo", en el que las soluciones de electrolito albergadas en el primer depósito de anólito 52a, 52b, el segundo depósito de anólito 54a, 54b, el primer católito 62a, 62b y el segundo depósito de católito 64a, 64b pueden circular a través de la célula 10.

La energía eléctrica se puede almacenar en el VRB-ESS de la forma de realización 200 haciendo que el módulo de conmutación 70 conecte a la célula 10 a la fuente de energía 72 (que no se muestra), creando una conexión eléctrica entre la fuente de energía 72 y el electrodo negativo 12 y el electrodo positivo 20 de la célula 10. En esta configuración, el anólito 16 del interior del compartimiento negativo 14 y el católito 24 del interior del compartimiento positivo 22 se pueden cargar tal como se ha descrito anteriormente en conjunción con la figura 1. Con el fin de cargar el electrolito adicional, se puede utilizar una bomba de anólito reversible 51 para hacer circular el anólito en el compartimiento negativo 14 de la célula 10, y se puede utilizar una bomba de católito reversible 61 para hacer circular el católito en el compartimiento positivo 22 de la célula 10. El movimiento del fluido provocado por la bomba de anólito reversible 51 puede provocar que la solución de anólito de los primeros depósitos de anólito sustancialmente descargados 52b, 54b se transfiera a los primeros depósitos de anólito sustancialmente cargados 52a, 54a. De forma similar, el movimiento del fluido del católito provocado por la bomba de católito reversible 61 puede provocar que la solución de católito del interior de los primeros depósitos de católito sustancialmente descargados 62b, 64b se transfiera a los primeros depósitos de anólito sustancialmente cargados 62a, 64a. En una forma de realización el flujo creado por la bomba de anólito reversible 51 y la bomba de católito reversible 61 puede retornar dependiendo de si el VRB-ESS 200 está cargando o descargando.

La energía eléctrica se puede extraer del VRB-ESS de la forma de realización 200 haciendo que el módulo de conmutación 70 conecte la célula 10 a la carga 74 (que no se muestra), creando una conexión eléctrica entre la carga 74 y el electrodo negativo 12 y el electrodo positivo 20 de la célula 10. En esta configuración, la energía se extrae del anólito 16 del compartimiento negativo 14 y del católito 24 del compartimiento positivo 22, tal como se ha descrito con anterioridad en conjunción con la figura 1. Después de la extracción de energía eléctrica del anólito 16 y el católito 24, podría resultar necesaria energía eléctrica adicional. Con el fin de proporcionar dicha energía eléctrica, se puede hacer circular electrolito adicional a través del sistema. Se puede utilizar la bomba de anólito reversible 51 para hacer circular dicho anólito en el compartimiento negativo 14 de la célula 10, y se puede utilizar la bomba de católito reversible 61 para hacer circular el católito en el compartimiento positivo 22 de la célula 10. El movimiento del fluido provocado por la bomba de anólito reversible 51 puede provocar que el anólito del interior de los primeros depósitos de anólito sustancialmente cargado 52a, 62a fluya a través de la conexión de suministro de anólito 30 al compartimiento negativo 14 de la célula 10; este flujo también puede provocar que el anólito 16 del compartimiento negativo 14 fluya al exterior de la célula 10 a través de la conexión de retorno de anólito 32. El movimiento del fluido provocado por la bomba de católito reversible 61 puede provocar que el católito de los primeros depósitos de católito sustancialmente cargado 62a, 64a fluya a través de la conexión de suministro de católito 34 al compartimiento positivo 22 de la célula 10; este flujo también puede provocar que el católito 24 del interior del compartimiento positivo 22 fluya al exterior de la célula 10 a través de la conexión de retorno de católito 36.

El VRB-ESS de la forma de realización 200 puede funcionar utilizando solo el primer depósito de anólito 52a, 52b y el primer depósito de católito 62a, 62b. Esta configuración se puede denominar como un modo de "volumen bajo" de la forma de realización 200. De forma alternativa, la forma de realización 200 puede funcionar utilizando los primeros y los segundos depósitos de anólito 52a, 52b, 64a, 64b y los primeros y los segundos depósitos de católito 62a, 62b,

64a, 64b. Esta configuración se puede denominar como un moco de “volumen completo” de la forma de realización 200. En una forma de realización 200, el volumen del segundo depósito de ánolito 54a, 54b puede ser sustancialmente mayor que el volumen del primer depósito de ánolito 52a, 52b, y el volumen del segundo depósito de católito 64a, 64b puede ser sustancialmente mayor que el volumen del primer depósito de católito 62a, 62b. En esta configuración, el VRB-ESS 200 puede funcionar de forma eficiente en el modo “volumen bajo”, minimizando las pérdidas debidas a la autodescarga de electrolito y a la energía de bombeo, al mismo tiempo que se mantiene un volumen sustancialmente mayor de electrolito para su uso según sea necesario.

La forma de realización 200 se puede disponer en un modo de “volumen bajo” disponiendo la segunda válvula de suministro de ánolito 56, la segunda válvula de retorno de ánolito 58, la segunda válvula de suministro de católito 66 y la segunda válvula de retorno de católito 68 en una posición cerrada y disponiendo la primera válvula de retorno de ánolito 59 y la primera válvula de retorno de católito 69 en una posición abierta. En esta configuración, se evita que el ánolito contenido en el segundo depósito de ánolito sustancialmente cargado 54a fluya al primer depósito de ánolito sustancialmente cargado 52a o compartimiento negativo 14 de la célula 10, y se evita que el católito contenido en el segundo depósito de católito sustancialmente cargado 64a fluya al depósito de católito sustancialmente cargado 62a o compartimiento positivo 22 de la célula 10. Adicionalmente, en esta configuración, se evita que el ánolito que fluye desde el compartimiento negativo 14 de la célula 10 fluya en el segundo depósito de ánolito sustancialmente descargado 54b y se evita que el católito que fluye desde el compartimiento positivo 22 de la célula 10 fluya en el segundo depósito de católito sustancialmente descargado 64b.

La forma de realización 200 se puede disponer en un modo de “volumen completo” disponiendo la segunda válvula de suministro de ánolito 56, la segunda válvula de retorno de ánolito 58, la segunda válvula de suministro de católito 66 y la segunda válvula de retorno de católito 68 en una posición abierta. En esta configuración, el ánolito contenido en el segundo depósito de ánolito sustancialmente cargado 54a puede fluir al primer depósito de ánolito sustancialmente cargado 52a y al compartimiento negativo 14 de la célula 10, y el católito contenido en el segundo depósito de católito sustancialmente cargado 64a puede fluir al primer depósito de católito sustancialmente cargado 62a y al compartimiento positivo 22 de la célula 10. Adicionalmente, en esta configuración, la primera válvula de retorno de ánolito 59 y la primera válvula de retorno de católito 69 se pueden disponer en una posición cerrada, y la segunda válvula de retorno de ánolito 58 y la segunda válvula de retorno de católito 68 se pueden disponer en una posición abierta. En esta configuración, el ánolito que fluye desde el compartimiento negativo 14 de la célula 10 fluye en el segundo depósito de ánolito sustancialmente descargado 54b y el católito que fluye desde el compartimiento positivo 22 de la célula 10 fluye en el segundo depósito de católito sustancialmente descargado 64b.

En la forma de realización 200, el primer depósito de ánolito 52a, 52b, el segundo depósito de ánolito 54a, 54b, el primer depósito de católito 62a, 62b y el segundo depósito de católito 64a, 64b pueden estar acoplados de forma que se comuniquen con el controlador de sistema 80, de manera que dicho controlador de sistema 80 puede controlar el nivel de volumen de cada uno de los depósitos 52, 54, 62, 64. En esta forma de realización, el controlador de sistema 80 puede determinar el volumen de electrolito contenido en el primer depósito de ánolito 52a, 52b, el primer depósito de católito 62a, 62b, el segundo depósito de ánolito 54a, 54b y el segundo depósito de católito 64a, 64b.

En esta forma de realización, mientras que el VRB-ESS 200 se carga en el modo “volumen completo”, el controlador de sistema 80 puede hacer que la primera válvula de retorno de ánolito 59 se disponga en un estado abierto y la segunda válvula de retorno de ánolito 58 se disponga en un estado cerrado hasta que sustancialmente la totalidad del ánolito alojado en el primer depósito de ánolito sustancialmente descargado 52b haya circulado a través del compartimiento negativo 14 de la célula 10. Después de detectar esta condición, el controlador de sistema 80 puede hacer que la primera válvula de retorno de ánolito 59 se disponga en una posición cerrada y la segunda válvula de retorno de ánolito 58 se disponga en una posición abierta, permitiendo que el ánolito del segundo depósito de ánolito sustancialmente descargado 54b fluya a través del compartimiento negativo 14 de la célula 10. De forma similar, durante la carga en el modo “volumen completo”, el controlador de sistema 80 puede hacer que la primera válvula de retorno de católito 69 se disponga en un estado abierto y la segunda válvula de retorno de católito 68 se disponga en un estado cerrado hasta que sustancialmente la totalidad del católito alojado en el interior del primer depósito de católito sustancialmente descargado 62b haya circulado a través del compartimiento positivo 22 de la célula 10. Después de detectar esta condición, el controlador de sistema 80 puede hacer que la primera válvula de retorno de católito 69 se disponga en una posición cerrada y la segunda válvula de retorno de ánolito 58 se disponga en una posición abierta, permitiendo que el católito del segundo depósito de católito sustancialmente descargado 64b fluya a través del compartimiento positivo 22 de la célula 10.

En la forma de realización 200, mientras que el VRB-ESS 200 se descarga en el modo “volumen completo”, el controlador de sistema 80 puede hacer que la primera válvula de retorno de ánolito 59 se disponga en una posición abierta y la segunda válvula de retorno de ánolito 58 se disponga en una posición cerrada hasta que el primer depósito de ánolito sustancialmente descargado 52b contenga un volumen de ánolito sustancialmente equivalente al que se contenía originariamente en el primer depósito sustancialmente cargado 52a. Después de detectar esta condición, el controlador de sistema 80 puede hacer que la primera válvula de retorno de ánolito 59 se disponga en una posición cerrada y la segunda válvula de retorno de ánolito 58 se disponga en una posición abierta, permitiendo que el ánolito fluya en el interior del segundo depósito de ánolito sustancialmente descargado 54b. De forma similar,

el controlador de sistema 80 puede hacer que la primera válvula de retorno de católito 69 se disponga en una posición abierta y la segunda válvula de retorno de anólito 58 se disponga en una posición cerrada hasta que el primer depósito de católito sustancialmente descargado 62b contenga un volumen de católito sustancialmente equivalente al que se contenía originariamente en el primer depósito de católito sustancialmente cargado 62a.

5 Después de detectar esta condición, el controlador de sistema 80 puede hacer que la primera válvula de retorno de católito 69 se disponga en una posición cerrada y la segunda válvula de retorno de anólito 58 se disponga en una posición abierta, permitiendo que el católito fluya al interior del segundo depósito de católito sustancialmente descargado 64b.

10 Volviendo a la figura 3, tal como se ha descrito anteriormente, las formas de realización 100 y 200 se pueden configurar para que funcionen en un modo de "volumen bajo" o en un modo de "volumen completo". En una forma de realización, el volumen de los depósitos de anólito y de católito 52 y 62 puede ser relativamente pequeño en comparación con el volumen de los segundos depósitos de anólito y de católito 54 y 64. En esta configuración, el VRB-ESS de la presente invención puede funcionar de manera eficiente utilizando un modo de volumen

15 relativamente pequeño de solución de electrolito ("volumen bajo"), al mismo tiempo que mantiene un volumen mayor de electrolito según se necesite. El funcionamiento con "volumen bajo" del VRB-ESS 100 puede minimizar pérdidas debidas a la autodescarga de electrolito y al bombeo. Además, el funcionamiento con "volumen bajo" puede permitir que una solución electrolítica contenida en los segundos depósitos de electrolito 54, 64 se mantenga en un nivel elevado de carga para su uso según resulte necesario.

20 Tal como se ha descrito anteriormente, el controlador de sistema 80 de la forma de realización 100, 200 puede estar acoplado de forma comunicativa con la célula 10. En esta configuración, el controlador de sistema 80 puede controlar el estado electroquímico de la célula 10. Este control puede comprender: medición de una tensión generada por la célula 10; medición de una corriente eléctrica que fluye a o de la célula 10; medición de la

25 temperatura de la célula 10 y/o medición del nivel de carga del electrolito en la célula 10. Durante el funcionamiento, el controlador de sistema 80 puede controlar la célula 10 y cambiar la configuración del VRB-ESS 100, 200 en respuesta a las condiciones en la célula 10. Adicionalmente, el controlador de sistema 80 puede cambiar la configuración del VRB-ESS 100, 200 de acuerdo con una señal de control generada externamente. El gráfico de flujo 300 proporciona un diagrama de flujo de un procedimiento de control y una configuración de un VRB-ESS que

30 incorpora las enseñanzas de la presente invención.

En la etapa 310, el controlador de sistema puede controlar una o más propiedades electroquímicas de cada célula 10 en un VRB-ESS. La medición realizada en 310 puede ser periódica, de manera que dicha medición 310 puede tener lugar a intervalos establecidos regularmente. En una forma de realización, este periodo de control puede

35 cambiar dependiendo del modo de funcionamiento del VRB-ESS, o puede cambiar en respuesta a una señal de control generada externamente. En la etapa 320, el flujo se puede dividir dependiendo del modo de funcionamiento de la corriente del VRB-ESS. En una forma de realización, la etapa 320 se puede dividir dependiendo de si el VRB-ESS está funcionando en ese momento en modo "volumen bajo", o en modo "volumen completo". En la etapa 320, si el VRB-ESS está funcionando en el modo "volumen bajo", el flujo continua hasta 330, si el VRB-ESS está

40 funcionando en modo "volumen completo", el flujo continua hasta 340.

En 330, se puede realizar la comparación de "volumen bajo" 332. Dicha comparación de "volumen bajo" 332 puede comparar el estado electroquímico de la célula 10 medido en 310 en una condición de umbral. Por ejemplo, en una

45 forma de realización, durante la descarga del VRB-ESS dicha comparación podría comprender la comparación de la tensión generada por la célula 10 con respecto a una tensión de umbral. En esta forma de realización, si la comparación 332 determina que la tensión de la célula medida en 310 se encuentra por encima de la tensión de umbral de 332, el flujo puede continuar en 310. Sin embargo, en esta forma de realización, si la comparación 332 determina que la tensión de la célula medida en 310 se encuentra por debajo de la tensión de umbral 332, el flujo puede proceder hasta 334. En otra forma de realización, la comparación de "volumen bajo" 332 puede comparar la

50 corriente que fluye desde la célula 10 o el estado de carga del electrolito en la célula 10 con respecto a un valor de umbral. En esta forma de realización, si la corriente que fluye de la célula 10 se encuentra sobre un valor de umbral, o el estado de la carga del electrolito en la célula 10 ha caído por debajo de un valor de umbral, el flujo puede continuar hasta 334. En una forma de realización, la comparación 332 puede comprender un componente de tiempo, de manera que el flujo solo proceda hasta 334 si el estado electroquímico de la célula 10 medido en 310 se ha

55 mantenido durante un periodo de tiempo especificado. Adicionalmente, la comparación 332 puede responder a una señal de control generada externamente, provocando dicha señal que el flujo proceda hasta 334. En 334, el controlador de sistema puede configurar el VRB-ESS para que funcione en el modo "volumen completo". Después de realizar la configuración de 334, el flujo puede continuar hasta 310.

60 En 340, se puede realizar la comparación de "volumen completo" 342. La comparación de "volumen completo" 342 puede comparar el estado electroquímico de la célula 10 medido en 310 con respecto a una condición de umbral. Por ejemplo, en una forma de realización, durante la carga del VRB-ESS esta comparación podría comprender la comparación de la tensión generada por la célula 10 con respecto a una tensión de umbral. En esta forma de

65 realización, si la comparación 342 determina que la tensión de la célula medida en 310 se encuentra por debajo de la tensión de umbral de 342, el flujo puede continuar en 310 y, si dicha comparación 342 determina que la tensión de la célula medida en 310 se encuentre por encima de la tensión de umbral de 342, el flujo proceda hasta 344. En otra

forma de realización, la comparación “volumen completo” 342 puede comparar la corriente que fluye en la célula 10 o el estado de carga del electrolito en la célula 10 con respecto a un valor de umbral. En esta forma de realización, si la corriente que fluye al interior de la célula 10 se encuentra por debajo de un valor de umbral, o el estado de carga del electrolito en el interior de la célula 10 ha aumentado por encima de un valor de umbral, el flujo puede continuar hasta 344. En una forma de realización, la comparación 342 también puede comprender un componente de tiempo, de manera que el flujo solo proceda hasta 344 si el estado electroquímico de la célula 10 medido en 310 se ha mantenido durante un periodo de tiempo especificado. Adicionalmente, la comparación 342 puede responder a una señal de control generada externamente, haciendo dicha señal que el flujo proceda hasta 344. En 344, el controlador de sistema puede configurar el VRB-ESS para que funcione en el modo “volumen completo”. Después de realizar la configuración de 344, el flujo puede continuar hasta 310.

La figura 4 muestra otra forma de realización de un VRB-ESS 400 según las enseñanzas de la presente invención. En la forma de realización 400, el módulo de sistema 405 puede estar compuesto de una pila de células 410, una bomba de ánolito 50, una bomba de católito 60, un primer depósito de ánolito 52, un primer depósito de católito 62, un módulo de conmutación 70 y un sistema controlador 80. Dicho módulo de sistema 405 se puede disponer en una carcasa 406.

En la forma de realización 400, el segundo depósito de ánolito 54 se puede disponer en la parte exterior de la carcasa 406. El segundo depósito de ánolito 54 puede estar en comunicación fluidica con el primer depósito de ánolito 52 en la carcasa 406 a través de la segunda conexión de tubería de suministro de ánolito 431. El segundo depósito de ánolito 54 puede estar en comunicación fluidica con la pila de células 410 a través de la segunda conexión de tubería de suministro de ánolito 433. La segunda conexión de tubería de suministro de ánolito 431 y la segunda conexión de tubería de retorno de ánolito 433 pueden estar compuestas de tubos flexibles que permiten que el segundo depósito de ánolito 54 se disponga de forma separada de la carcasa 406.

En la forma de realización de la figura 4, la conexión fluida entre la célula 410 y el primer depósito de ánolito 52 comprende una primera válvula de retorno de ánolito 59 (que no se muestra). Además, en la forma de realización de la figura 4, la conexión fluida entre la célula 410 y el primer depósito de católito 62 puede comprender una primera válvula de retorno de católito 69 (que no se muestra). La primera válvula de retorno de ánolito 59 y la primera válvula de retorno de católito 69 pueden estar dispuestas en el interior de la carcasa 406 y se pueden acoplar de forma comunicativa con el controlador de sistema 80.

El VRB-ESS 400 se puede configurar para que funcione en modo “volumen completo” cerrando la primera válvula de retorno de ánolito 59 (que no se muestra) y la primera válvula de retorno de católito 69 (que no se muestra). Tal como se ha mencionado anteriormente en conjunción con la figura 1, en esta configuración, se puede evitar que el ánolito que fluye de la célula 10 fluya en el primer depósito de ánolito 52 y, en su lugar, puede fluir en el segundo depósito de ánolito 54 a través de la segunda conexión de tubería de retorno de ánolito 433. Cuando el ánolito fluye en el segundo depósito de ánolito 54, éste se puede llenar, creando una condición de sobreflujo en el interior del segundo depósito de ánolito 54. Esta condición de sobreflujo en el segundo depósito de ánolito 54 puede hacer que el ánolito fluya al exterior del segundo depósito de ánolito 54 en el primer depósito de ánolito 52 a través de la segunda conexión de tubería de suministro de ánolito 431. De forma similar, en esta configuración, se puede evitar que el católito que fluye de la célula 10 fluya en el primer depósito de católito 62 y, en su lugar, puede fluir en el segundo depósito de católito 64 a través de la segunda conexión de tubería de retorno de católito 437. Cuando el católito fluye en el segundo depósito de católito 64, éste se puede llenar, creando una condición de sobreflujo en el interior del segundo depósito de católito 64. Esta condición de sobreflujo en el segundo depósito de católito 64 puede hacer que el católito fluya al exterior del segundo depósito de católito 64 en el primer depósito de católito 62 a través de la segunda conexión de tubería de suministro de católito 435. De acuerdo con esto, en un modo “volumen completo” el ánolito puede fluir en serie a través del primer depósito de ánolito 52 y del segundo depósito de católito 54, y el católito puede fluir en serie a través del primer depósito de católito 62 y del segundo depósito de católito 64.

El VRB-ESS 400 se puede configurar para que funcione en modo “volumen bajo” abriendo la primera válvula de retorno de ánolito 59 (que no se muestra) y la primera válvula de retorno de católito 69 (que no se muestra). Tal como se ha mencionado anteriormente en conjunción con la figura 1, en esta configuración, el ánolito que fluye de la célula 10 puede fluir al primer depósito de ánolito 52 y el católito que fluye de la célula 10 puede fluir al primer depósito de católito 62. En la forma de realización 400, la segunda conexión de tubería de retorno de ánolito 433 se puede disponer sobre un nivel de fluido de la célula 10 y del primer depósito de ánolito 52. Así, cuando la primera válvula de retorno de ánolito 59 se encuentra en una posición abierta, el ánolito puede no fluir en el segundo depósito de ánolito 54. De forma similar, en la forma de realización 400, la segunda conexión de tubería de retorno de católito 437 se puede disponer sobre un nivel de fluido de la célula 10 y del primer depósito de católito 62. Así, cuando la primera válvula de retorno de católito 69 se encuentra en una posición abierta, el católito puede no fluir en el segundo depósito de católito 64. De acuerdo con esto, en el modo “volumen bajo”, la solución electrolítica en el segundo depósito de ánolito 54 y en el segundo depósito de católito 64 está sustancialmente aislada del módulo del sistema 405. En una forma de realización alternativa del VRB-ESS 400, la segunda conexión de tubería de retorno de ánolito 433 puede comprender una segunda válvula de retorno de ánolito 58 (que no se muestra) y la segunda conexión de tubería de retorno de católito 437 puede comprender una segunda válvula de retorno de católito 68 (que no se muestra). En esta forma de realización, en el modo “volumen bajo”, se puede evitar que el electrolito fluya en

el segundo depósito de anólito 54 y en el segundo depósito de católito 64 mediante las válvulas 58, 69.

5 En una forma de realización, la segunda conexión de tubería de suministro de anólito 431 y la segunda conexión de tubería de retorno de anólito 433 pueden estar compuestas de tubo flexible, que puede permitir que el segundo depósito de anólito 54 se disponga de forma separada del módulo de sistema 405 y de la carcasa 406. De forma similar, la segunda conexión de tubería de suministro de católito 435 y la segunda conexión de tubería de retorno de católito 437 puede estar compuesta de tubo flexible, que puede permitir que el segundo depósito de católito 64 se disponga de forma separada del módulo de sistema 405 y de la carcasa 406.

10 En una forma de realización, las conexiones de tubería 431, 433, 435, 437 pueden estar compuestas de cualquier conducto de fluido que pueda transportar de forma fluida una solución electrolítica. Dicho conducto de fluido puede comprender: tuberías de plástico trenzadas reforzadas con malla; tuberías de caucho reforzadas de fibra; manguera de compuesto multicapas; tuberías de polietileno; tuberías de caucho reforzado, o similares. Los expertos en la materia entenderán que se puede utilizar cualquier cantidad de materiales de conducción diferentes sin apartarse de las enseñanzas de la presente invención. Adicionalmente, en una forma de realización, las conexiones de tubería 15 431, 437, 435, 437, el segundo depósito de anólito 54 y el segundo depósito de católito 64 pueden autoventilarse de acuerdo con las enseñanzas de la solicitud de patente US nº 11/701.573.

20 En una forma de realización, las conexiones de tubería 431, 433 al segundo depósito de anólito 54 y las conexiones de tubería 435, 437 al segundo depósito de católito 64 se pueden disponer en la parte superior de dichos depósitos 54, 64. En esta configuración, se hace circular fluido electrolítico a través de los depósitos 54, 64 desplazando el fluido desde una conexión montada en la parte superior, mejorando la seguridad al garantizar que la solución electrolítica no se puede bombear hacia la parte exterior en el entorno en caso de un fuga en la conexión de tubería 431, 433, 435, 437, un fallo del controlador de sistema 80, un fallo en las bombas 50, 60, o una fuga en cualquiera 25 de las conexiones de fluido internas como por ejemplo 30, 32, 34, 36 de las figuras 1, 2.

En una forma de realización, las conexiones de tubería 431 y 433 se pueden conectar al segundo depósito de anólito 54 sobre el nivel de líquido normal 424 en el depósito de anólito y las conexiones de tubería 435, 437 se pueden conectar al segundo depósito de católito 64 sobre el nivel de líquido normal 434 del segundo depósito de católito. En esta configuración, las conexiones de tubería 431, 433, 435, 437 son autodrenantes y permanecen vacías cuando los depósitos secundarios 54, 64 no se utilizan. Además, esta configuración asegura que no se precisa manejar electrolitos ni se pueden derramar cuando se conectan o desconectan las conexiones de tubería 431, 433, 435, 437 en los depósitos de electrolito secundarios 54, 64.

30 En la forma de realización 400, el depósito de anólito secundario 54 y el depósito de católito secundario 64 se pueden disponer de forma separada de la carcasa 406 mediante las conexiones de tubería 431, 433, 435, 437. Dicha disposición flexible puede permitir que la forma de realización 400 se emplace en una pluralidad de configuraciones diferentes, permitiendo que el VRB-ESS 400 se disponga en emplazamientos con restricciones de espacio limitadas o irregulares.

40 Adicionalmente, la carcasa 406 del VRB-ESS 400 se puede conectar a cualquier depósito de electrolito secundario 54, 64 de casi cualquier tamaño mediante las conexiones de tubería 431, 433, 435, 437. Así, el VRB-ESS 400 se puede personalizar de forma modular para una amplia variedad de necesidades de capacidad diferentes. Por ejemplo, la figura 4 muestra dos depósitos de menor tamaño 454, 464 que presentan una capacidad de aproximadamente 135 galones cada uno de ellos. De acuerdo con esto, los depósitos 454, 464 pueden almacenar aproximadamente 10kWh de energía cuando se utilizan con el VRB-ESS 400. De forma alternativa, la figura 3 muestra los depósitos 454, 464 (los depósitos conectados a través de las conexiones de tubería 431, 433, 435, 437). Cada uno de los depósitos 454, 464 puede albergar aproximadamente 275 galones de electrolito, proporcionando 20 kWh de almacenaje de energía al VRB-ESS 400. Finalmente, el depósito 470 se puede utilizar en conjunción con el VRB-ESS 400. El depósito 470 puede albergar 550 galones de electrolito, proporcionando al VRB-ESS 400 40 kWh de capacidad de almacenaje de energía.

55 Volviendo ahora a la figura 5, el electrolito utilizado con los sistemas VRB-ESS generalmente está clasificado por las Naciones Unidas (ONU) y por el Departamento de transporte de los Estados Unidos (DoT) como material peligroso. Por ello, las soluciones electrolíticas del VRB-ESS se deben transportar en un contenedor intermedio para materiales a granel ("IBC") que se haya ensayado y aprobado para su uso en el transporte de materiales peligrosos. Los IBC pueden estar certificados para el envío de materiales peligrosos de conformidad con las regulaciones del DoT y/o de la ONU. Los procedimientos de certificación para dichos IBC pueden ser rigurosos, típicamente, requieren muchos meses de trabajo y cientos de horas de ensayos. La totalidad del IBC se debe probar y certificar, 60 incluyendo cualquier mecanismo de tapa en dicho IBC.

En una forma de realización, los depósitos de electrolito secundarios del VRB-ESS de la presente invención pueden comprender un IBC. Por ejemplo, en la forma de realización de la figura 4, cualquiera de los depósitos 54, 64, 454, 464, 470 puede ser un contenedor IBC. En una forma de realización, el IBC utilizado en el VRB-ESS puede ser el mismo IBC utilizado para transportar el electrolito hasta el lugar de la instalación. En dicha configuración, el usuario final del VRB-ESS no precisa transferir la solución electrolítica desde el IBC de transporte a un depósito de VRB-

ESS separado. Esto sería deseable ya que minimiza el contacto que el usuario final del VRB-ESS debe tener con las soluciones electrolíticas potencialmente peligrosas. El uso de transporte en IBC como un depósito de electrolito secundario también resulta ventajoso y descarta la posibilidad de que se derrame cualquier solución electrolítica peligrosa en el entorno durante la transferencia desde un IBC de transporte hasta un depósito de electrolito secundario. Además, el uso de un IBC de transporte como un depósito de electrolito obvia la necesidad de enviar un componente de depósito separado, que puede reducir de forma significativa el seguimiento del transporte en general del VRB-ESS.

Los IBC utilizados para el transporte deben incorporar un mecanismo de tapa para permitir que los líquidos se transfieran dentro y fuera del IBC. Tal como se ha mencionado anteriormente, la tapa del IBC se debe certificar para su uso en el transporte de material peligroso, y esta certificación puede ser un procedimiento largo y caro. Sin embargo, la tapa de pila incluida en el transporte de IBC puede no permitir un acoplamiento seguro a las conexiones de tubería utilizadas en el VRB-ESS de la presente invención. Por ejemplo, muchas tapas de IBC incluyen uno o más puertos roscados de acuerdo con la normativa de roscado de la National Pipe Thread ("NPT"). El uso de NTP es problemático porque generalmente se forman como parte de la tapa de IBC y, así, el giro de dicha tapa de IBC cambia la orientación de giro de los puertos. Además, la orientación de giro de la tapa y los puertos puede no conocerse hasta que se instale el IBC. La interdependencia de giro entre la tapa y los puertos NPT puede plantear problemas para el instalador, ya que el apriete de la tapa de IBC puede afectar las tuberías del VRB-ESS. Esta independencia reduce la flexibilidad de emplazamiento del VRB-ESS restringiendo las orientaciones posibles de sus conexiones de tuberías, que pueden restringir las localizaciones posibles de los depósitos secundarios con respecto al módulo del sistema. Adicionalmente, los puertos NTP requieren un grado de habilidad elevado para su instalación y se ha observado que no se puede garantizar su hermeticidad, lo que presenta un riesgo de fugas del electrolito peligroso en el entorno.

Volviendo ahora a la figura 5, la figura 5 muestra una forma de realización de un mecanismo de tapa 500 que se puede utilizar en conjunción con un IBC estándar. El mecanismo de tapa 500 puede permitir que un IBC 510 certificado de material peligroso se utilice como un depósito de electrolito secundario en un VRB-ESS. El mecanismo de tapa 500 se puede utilizar en lugar de una tapa de transporte certificada (que no se muestra) en el IBC 510 una vez que dicho IBC 510 llega a su destino. Así, el mecanismo de tapa 500 no precisa estar certificado para el transporte de materiales peligrosos como la tapa estándar IBC 510, obviando la necesidad de un proceso caro y que requiere mucho tiempo para el mecanismo de tapa 500.

El mecanismo de tapa 500 se puede fijar al IBC 510 utilizando un receptáculo de tapa 512 en dicho IBC 510. En la forma de realización 500, el diámetro interior y el patrón de roscado 522 del anillo de compresión 520 están configurados para ser compatibles con los roscados 514 dispuestos en el receptáculo de tapa 512 del IBC 510. El anillo de compresión 520 puede incluir un labio 524 para acoplar a compresión la placa de hermeticidad 530. En la forma de realización 500, la placa de hermeticidad 530 puede comprender una parte ranurada 532 a lo largo de su diámetro exterior. Dicha parte ranurada 532 se puede adaptar para recibir la junta tórica 534. En esta forma de realización, dicha junta tórica 534 puede crear un sello entre la placa de hermeticidad 530 y el receptáculo de la tapa de IBC 512 cuando se aprieta el anillo de compresión 520 en el roscado del IBC 514.

La placa de hermeticidad 530 también puede comprender tomas de salida de fluido 540 y 550. Dichas tomas de salida de fluido 540, 550 se pueden acoplar de forma hermética a la placa de hermeticidad 530 o se pueden formar de manera integrada con la misma. La bolsa de salida 540 puede comprender una extensión de bolsa 544 para su extensión al interior del IBC 510 cuando se instala la tapa en la misma. En la forma de realización 500, la longitud de la extensión de la bolsa 544 puede resultar suficiente para permitir que dicha bolsa 540 se encuentre en comunicación fluidica con una solución electrolítica albergada en el interior del IBC 510. De acuerdo con esto, la extensión de la bolsa 544 se puede extender por debajo del nivel de líquido normal 516 del IBC 510 cuando el mecanismo de tapa 500 se instale en la misma.

El mecanismo de tapa 500 también puede comprender conectores de fluido 560 y 570. Dichos conectores de fluido 560, 570 pueden comprender un mecanismo de hermeticidad 562, 572 para acoplar de manera hermética las tomas de salida 540, 550. En la forma de realización 500, la bolsa de salida 540 puede comprender una indentación 542 y la bolsa de salida 550 puede comprender una indentación 552. En esta forma de realización, el mecanismo de hermeticidad 562, 572 se puede adaptar para acoplar de forma hermética las tomas de salida 540, 550 en la indentación 542, 552. Los expertos en la materia deberán entender que se puede utilizar cualquier cantidad de mecanismos de hermeticidad 562, 572 para crear un precinto entre la bolsa 540, 550 y los conectores de fluido 560, 570.

En la forma de realización 500, los conectores de fluido 560, 570 pueden comprender un acoplamiento de tubería 564, 574. Dichos acoplamientos de tubería 564, 574 pueden comprender rebordes 566, 576 para acoplar una parte interior de una conexión de tubería acoplada. En algunas formas de realización, dichos rebordes 566, 576 se pueden utilizar en conjunción con un manguito de compresión (que no se muestra) para acoplar de forma hermética la tubería al acoplamiento de tubería 564, 574.

En la forma de realización 500, la totalidad de los componentes del mecanismo de tapa 500 se puede disponer

sobre el nivel de líquido normal 516 del IBC 510. Así, el mecanismo de tapa 500 se puede instalar en el receptáculo 512 del IBC 510 sin precisar que el instalador toque o entre en contacto de otro modo con el líquido del interior de dicho IBC 510. Esto proporciona una ventaja de seguridad significativa, debido a que el electrolito contenido en el IBC 510 puede ser peligroso.

5 En la forma de realización 500, la placa de hermeticidad 530, con las tomas de salida 540 y 550 acopladas, se puede hacer girar independientemente del anillo de compresión 520. En esta forma de realización, el instalador puede determinar la orientación de giro de las tomas de salida 540, 550 y los conectores de fluido 560, 570 aislados, independientemente del giro del anillo de compresión 520. De este modo, la forma de realización 500 puede permitir
10 disposiciones de instalación flexibles del IBC 510.

Para los expertos en la materia, resulta obvio que se pueden realizar muchos cambios a los detalles de las formas de realización descritas anteriormente sin apartarse de los principios subyacentes de la invención. Así, el alcance de la presente invención se debería determinar solo mediante las reivindicaciones siguientes.

15

REIVINDICACIONES

1. Batería de flujo redox de vanadio (100) que presenta un modo de volumen bajo y un modo de volumen completo, que comprende:
- 5 un módulo de sistema (405), que comprende:
- un primer depósito de ánolito (52),
- 10 un primer depósito de católito (62), y
- una célula (10), que comprende un compartimiento negativo (14) en comunicación fluídica con dicho primer depósito de ánolito y un compartimiento positivo (22) en comunicación fluídica con dicho primer depósito de católito;
- 15 un segundo depósito de ánolito (54) en comunicación fluídica con dicho primer depósito de ánolito; y
- un segundo depósito de católito (64) dispuesto en comunicación fluídica con dicho primer depósito de católito,
- 20 en la que, en el modo de volumen bajo, la batería de flujo redox de vanadio está configurada para aislar fluídicamente el contenido de dicho segundo depósito de ánolito con respecto a dicho primer depósito de ánolito y a dicho compartimiento negativo, y para aislar fluídicamente el contenido de dicho segundo depósito de católito con respecto a dicho primer depósito de católito y a dicho compartimiento positivo; y
- 25 en la que, en el modo de volumen completo, la batería de flujo redox de vanadio está configurada para:
- hacer circular el contenido de dicho segundo depósito de ánolito y de dicho primer depósito de ánolito a través de una primera conexión de fluido de dicho segundo depósito de ánolito hasta dicho primer depósito de ánolito, y a través de una segunda conexión de fluido de dicho segundo depósito de ánolito hasta dicho compartimiento negativo, mientras que el ánolito fluye desde dicho compartimiento negativo hacia el interior de dicho segundo depósito de ánolito, y
- 30 hacer circular el contenido de dicho segundo depósito de católito y de dicho primer depósito de católito a través de una primera conexión de fluido de dicho segundo depósito de católito hasta dicho primer depósito de católito; y a través de una segunda conexión de fluido de dicho segundo depósito de católito hasta dicho compartimiento positivo, mientras que el católito fluye desde dicho compartimiento positivo hacia el interior de dicho segundo depósito de católito.
- 35
2. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 1, en la que dicha comunicación fluídica entre dicho primer depósito de ánolito (52) y dicho compartimiento negativo (14) comprende una primera conexión de suministro de ánolito y una primera conexión de retorno de ánolito (32) y en la que dicha comunicación fluídica entre dicho primer depósito de católito (62) y dicho compartimiento positivo (22) comprende una primera conexión de suministro de católito y una primera conexión de retorno de católito (36).
- 40
3. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 2, en la que dicha primera conexión de retorno de ánolito (32) comprende una primera válvula de retorno de ánolito (59) y en la que dicha primera conexión de retorno de católito (36) comprende una primera válvula de retorno de católito (69).
- 45
4. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 3, en la que dicha comunicación fluídica ente dicho primer depósito de ánolito (52) y dicho segundo depósito de ánolito (54) comprende una segunda conexión de tubería de suministro de ánolito (31) y en la que dicha comunicación fluídica entre dicho primer depósito de católito (62) y dicho segundo depósito de católito (64) comprende una segunda conexión de tubería de suministro de católito (35).
- 50
5. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 4, en la que dicha segunda conexión de tubería de suministro de ánolito (31) y dicha segunda conexión de tubería de suministro de católito (35) están compuestas de una seleccionada de entre el grupo constituido por tuberías de plástico reforzadas con malla, tuberías de caucho reforzadas de fibra, manguera de compuesto multicapas, tuberías de polietileno y tuberías de caucho reforzado.
- 55
6. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 4, en la que dicha segunda conexión de tubería de suministro de ánolito (31) y dicha segunda conexión de tubería de suministro de católito (35) se autoventilan.
- 60
7. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 1, en la que dicho segundo depósito de ánolito (54) se autoventila y en la que dicho segundo depósito de católito (64) se autoventila.
- 65
8. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 1, en la que dicho segundo depósito de ánolito (54)

comprende un contenedor intermedio para materiales a granel.

9. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 1, en la que dicho segundo depósito de católito (64) comprende un contenedor intermedio para materiales a granel.

5 10. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 1, que también comprende:
 una carcasa (406), en la que dicho módulo de sistema (405) está dispuesto en dicha carcasa, opcionalmente, en la que dicho segundo depósito de ánolito (54) y dicho segundo depósito de católito (64) están dispuestos cada uno por lo menos a 5 metros de dicha carcasa (406), comprendiendo también preferentemente una segunda bomba de ánolito (51) en comunicación fluidica con dicho segundo depósito de ánolito (54) y dicho primer depósito de ánolito (52), dicha segunda bomba de ánolito transfiriendo ánolito desde dicho segundo depósito de ánolito hasta dicho primer depósito de ánolito y, preferentemente, comprendiendo también una segunda bomba de católito (61) en comunicación fluidica con dicho segundo depósito de católito (64) y dicho primer depósito de católito (62), dicha segunda bomba de católito transfiriendo católito desde dicho segundo depósito de católito hasta dicho primer depósito de católito.

11. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 1, en la que dicho módulo de sistema (405) también comprende un controlador de sistema (80), en la que opcionalmente dicho controlador de sistema (80) está acoplado de forma comunicativa a dicha primera válvula de retorno de ánolito (59) y dicha primera válvula de retorno de católito (69).

12. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 4, en la que dicho segundo depósito de ánolito (54) se encuentra en comunicación fluidica con dicho compartimiento negativo (14) y en la que dicho segundo depósito de católito (64) se encuentra en comunicación fluidica con dicho compartimiento positivo (22).

13. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 12, en la que dicha comunicación fluidica entre dicho segundo depósito de ánolito (54) y dicho compartimiento negativo (14) comprende una segunda conexión de tubería de retorno de ánolito (33) y en la que dicha comunicación fluidica entre dicho segundo depósito de católito (64) y dicho compartimiento positivo (22) comprende una segunda conexión de tubería de retorno de católito (37).

14. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 13, que también comprende una bomba de ánolito (50) en comunicación fluidica con dicho primer depósito de ánolito (52) y dicho compartimiento negativo (14) y una bomba de católito (60) en comunicación fluidica con dicho primer depósito de católito (62) y dicho compartimiento positivo (22).

15. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 14, en la que cuando dicha primera válvula de retorno de ánolito (59) se encuentra en una posición cerrada, se evita que el ánolito que fluye desde dicho compartimiento negativo (14) fluya hacia el interior de dicho primer depósito de ánolito (52), fluyendo en su lugar en dicho segundo depósito de ánolito (54), provocando dicho flujo que el ánolito en el interior de dicho segundo depósito de ánolito fluya hacia el interior de dicho primer depósito de ánolito a través de la segunda conexión de tubería de suministro de ánolito (31).

16. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 15, en la que dicho flujo en dicho segundo depósito de ánolito (54) crea una condición de sobreflujo en dicho segundo depósito de ánolito y en la que dicha condición de sobreflujo hace que el ánolito fluya desde dicho segundo depósito de ánolito al interior de dicho primer depósito de ánolito (52).

17. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 14, en la que, cuando dicha primera válvula de retorno de católito (69) se encuentra en una posición cerrada, se evita que el católito que fluye desde dicho compartimiento positivo (22) fluya hacia el interior de dicho primer depósito de católito (62), fluyendo en su lugar en el interior de dicho segundo depósito de católito (64), provocando dicho flujo que el católito del interior de dicho segundo depósito de católito fluya hacia el interior de dicho primer depósito de católito a través de la segunda conexión de tubería de suministro de católito (35),

en la que, opcionalmente, dicho flujo en dicho segundo depósito de católito (64) crea una condición de sobreflujo en dicho segundo depósito de católito y en la que dicha condición de sobreflujo hace que el católito fluya desde dicho segundo depósito de católito al interior de dicho primer depósito de católito (62).

18. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 14, en la que, cuando dicha primera válvula de retorno de ánolito (59) se encuentra en una posición abierta, el ánolito (16) fluye desde dicho compartimiento negativo (14) al interior de dicho primer depósito de ánolito (52) y en la que se evita que dicho flujo de ánolito fluya hacia el interior de dicho segundo depósito de ánolito (54).

19. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 14, en la que, cuando dicha primera válvula de retorno de católito (69) se encuentra en una posición abierta, el católito (24) fluye desde dicho compartimiento positivo (22)

al interior de dicho primer depósito de católito (62) y en la que se evita que dicho flujo de católito fluya en dicho segundo depósito de católito (64).

5 20. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 15, en la que dicha segunda conexión de tubería de suministro de anólito (31) está conectada de forma fluida a una parte superior de dicho segundo depósito de anólito (54) y en la que dicha segunda conexión de tubería de retorno de anólito (33) está conectada fluidicamente a una parte superior de dicho segundo depósito de anólito,

10 en la que, opcionalmente, dicha segunda conexión de tubería de suministro de anólito (31) y dicha segunda conexión de tubería de retorno de anólito (33) están dispuestas por encima de un nivel de fluido de dicha célula (10).

15 21. Batería de flujo redox de vanadio según la reivindicación 15, en la que dicha segunda conexión de tubería de suministro de católito (35) está conectada de forma fluida a una parte superior de dicho segundo depósito de católito (64) y en la que dicha segunda conexión de tubería de retorno de católito (37) está conectada fluidicamente a una parte superior de dicho segundo depósito de católito,

20 en la que, opcionalmente, dicha segunda conexión de tubería de suministro de católito (35) y dicha segunda conexión de tubería de retorno de católito (37) están dispuestas por encima de un nivel de fluido de dicha célula (10).

22. Procedimiento para modificar de manera adaptativa la capacidad de una batería de flujo redox de vanadio, comprendiendo dicho procedimiento:

25 proporcionar una batería de flujo redox de vanadio provista de una célula (10) que comprende un compartimiento negativo (14) en comunicación fluidica con un primer depósito de anólito (52) y un compartimiento positivo (22) en comunicación fluidica con un primer depósito de católito (62) y configurada de manera que funcione en un modo de volumen bajo y en un modo de volumen completo;

30 monitorizar (310) una propiedad electroquímica de dicha célula;

detectar una primera condición electroquímica dentro de dicha célula;

35 detectar una segunda condición electroquímica dentro de dicha célula;

configurar (334) dicha batería de flujo redox de vanadio para que funcione en dicho modo de volumen completo en respuesta a la detección de dicha primera condición, en la que, en el modo de volumen completo, dicha batería de flujo redox de vanadio está configurada para:

40 hacer circular el contenido de dicho segundo depósito de anólito (54) en comunicación fluidica con dicho primer depósito de anólito y dicho primer depósito de anólito a través de una primera conexión de fluido de dicho segundo depósito de anólito hasta dicho primer depósito de anólito, y a través de una segunda conexión de fluido de dicho segundo depósito de anólito hasta dicho compartimiento negativo, mientras que el anólito fluye desde dicho compartimiento negativo hacia el interior de dicho segundo depósito de anólito, y

45 hacer circular el contenido de dicho segundo depósito de católito (64) en comunicación fluidica con dicho primer depósito de católito y dicho primer depósito de católito a través una primera conexión de fluido de dicho segundo depósito de católito hasta dicho primer depósito de católito, y a través de una segunda conexión de fluido de dicho segundo depósito de católito hasta dicho compartimiento positivo, mientras que el católito fluye desde dicho compartimiento positivo hacia el interior de dicho segundo depósito de católito; y

50 configurar (344) dicha batería de flujo de redox de vanadio para que funcione en dicho modo de volumen bajo en respuesta a la detección de dicha segunda condición, pudiendo dicha configuración (334, 344) opcionalmente responder a una señal generada externamente, en la que, en el modo de volumen bajo, dicha batería de flujo redox de vanadio está configurada para aislar fluidicamente el contenido de dicho segundo depósito de anólito con respecto a dicho primer depósito de anólito y a dicho compartimiento negativo, y para aislar fluidicamente el contenido de dicho segundo depósito de católito con respecto a dicho primer depósito de católito y a dicho compartimiento positivo.

60 23. Procedimiento según la reivindicación 22, en el que dicha propiedad electroquímica corresponde a una tensión generada por dicha célula, una corriente eléctrica generada por dicha célula, una corriente eléctrica recibida por dicha célula o un nivel de carga de una solución electrolítica en el interior de dicha célula.

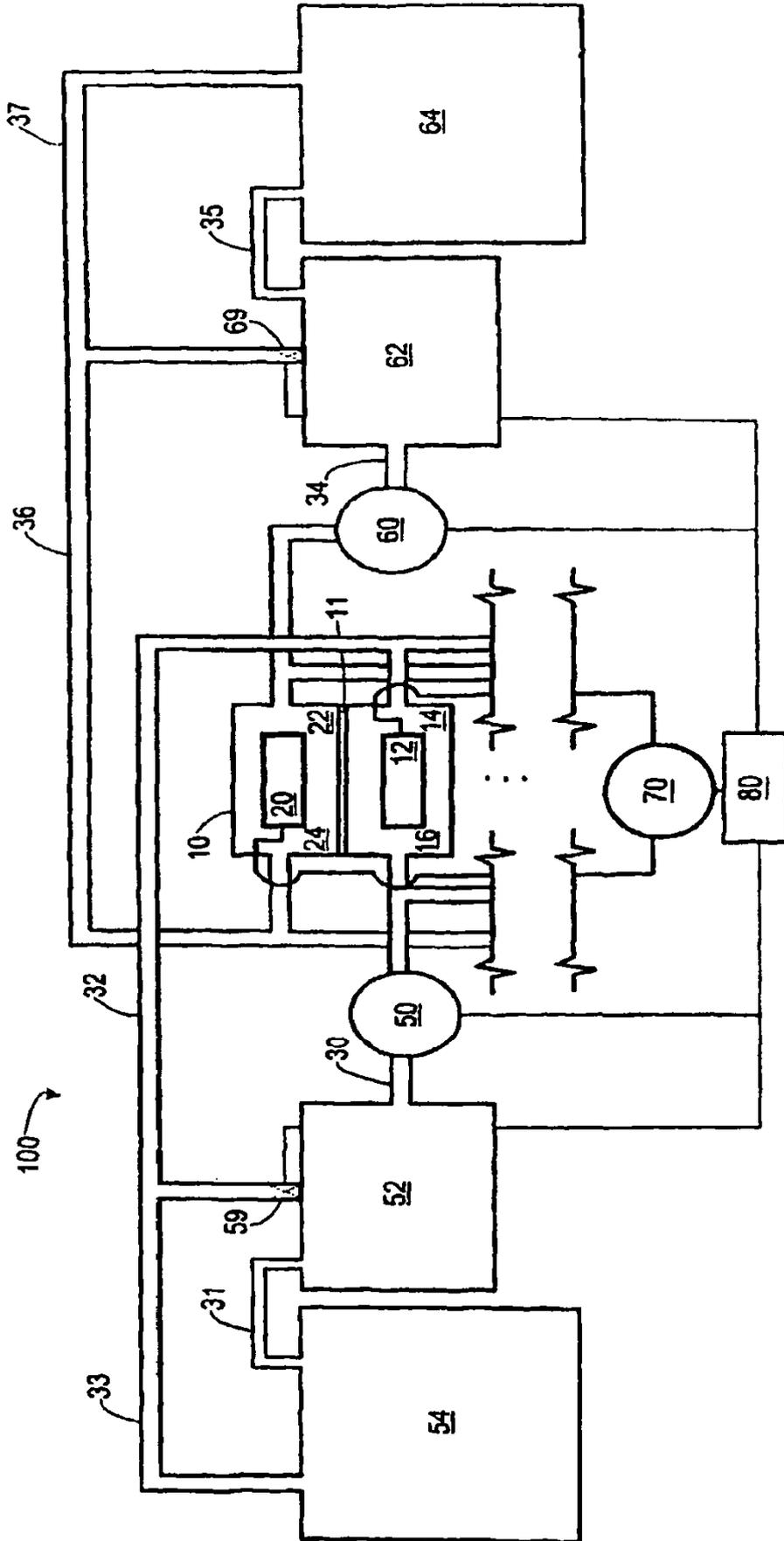


Fig. 1

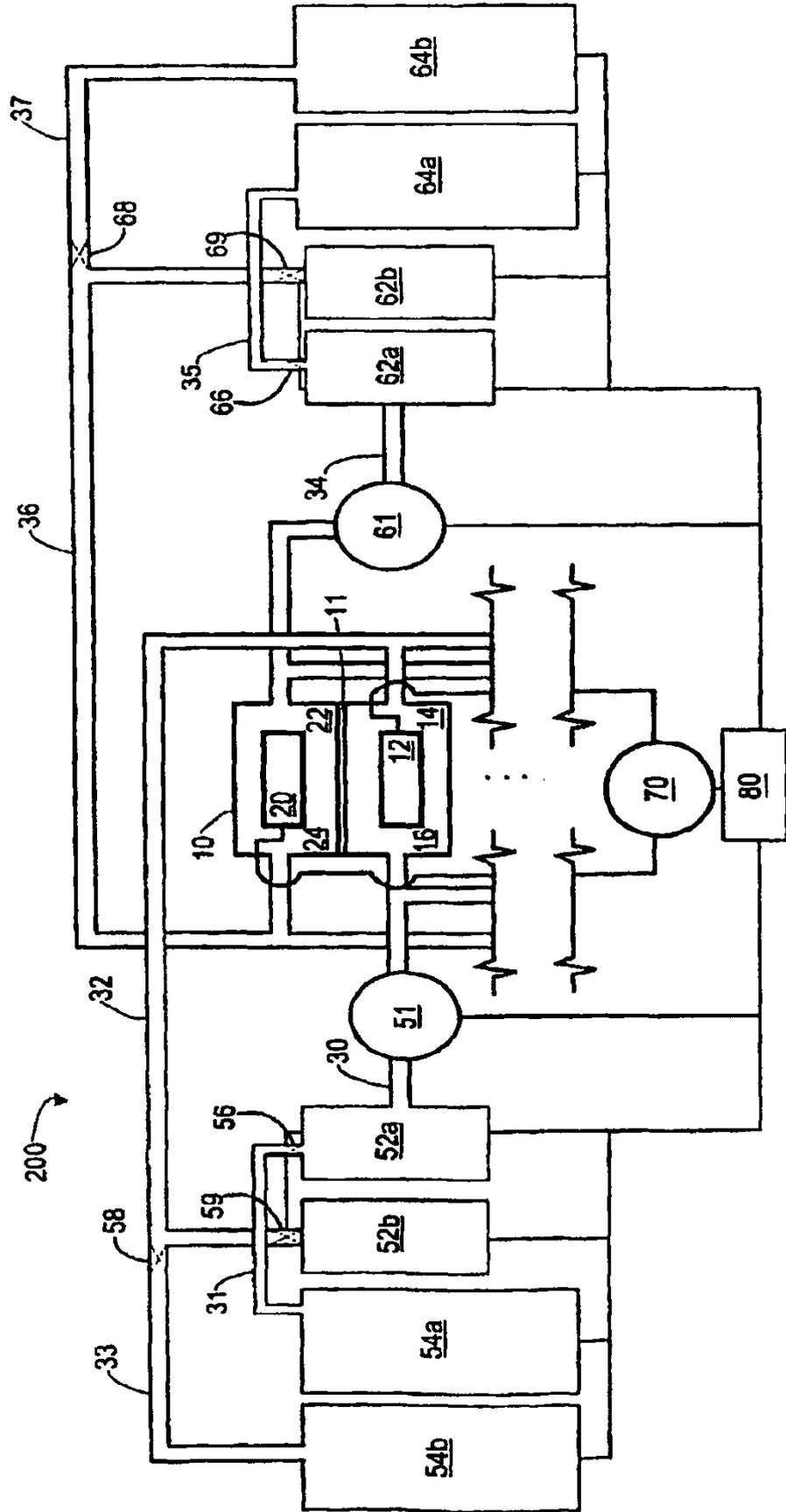


Fig. 2

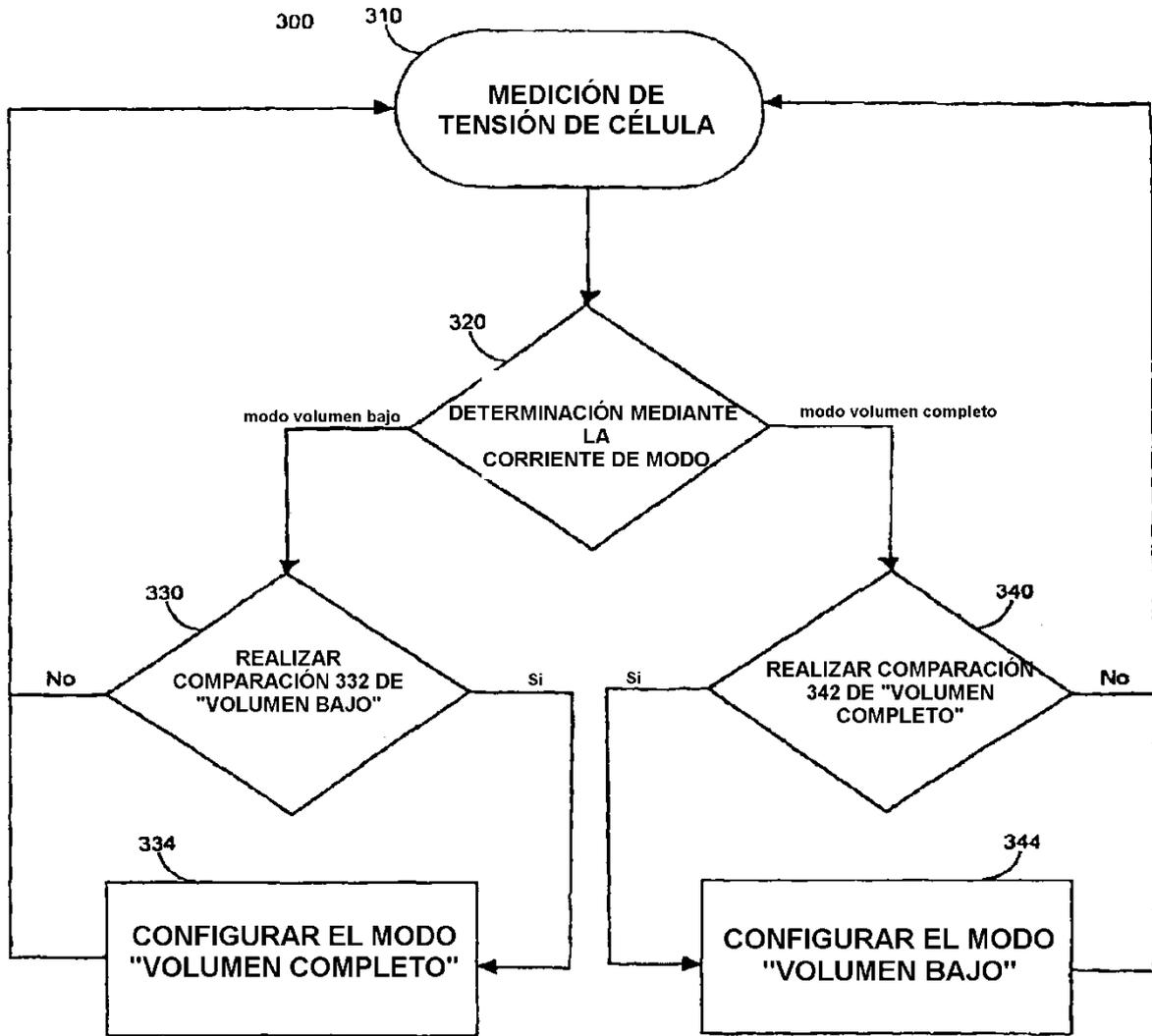


Fig. 3

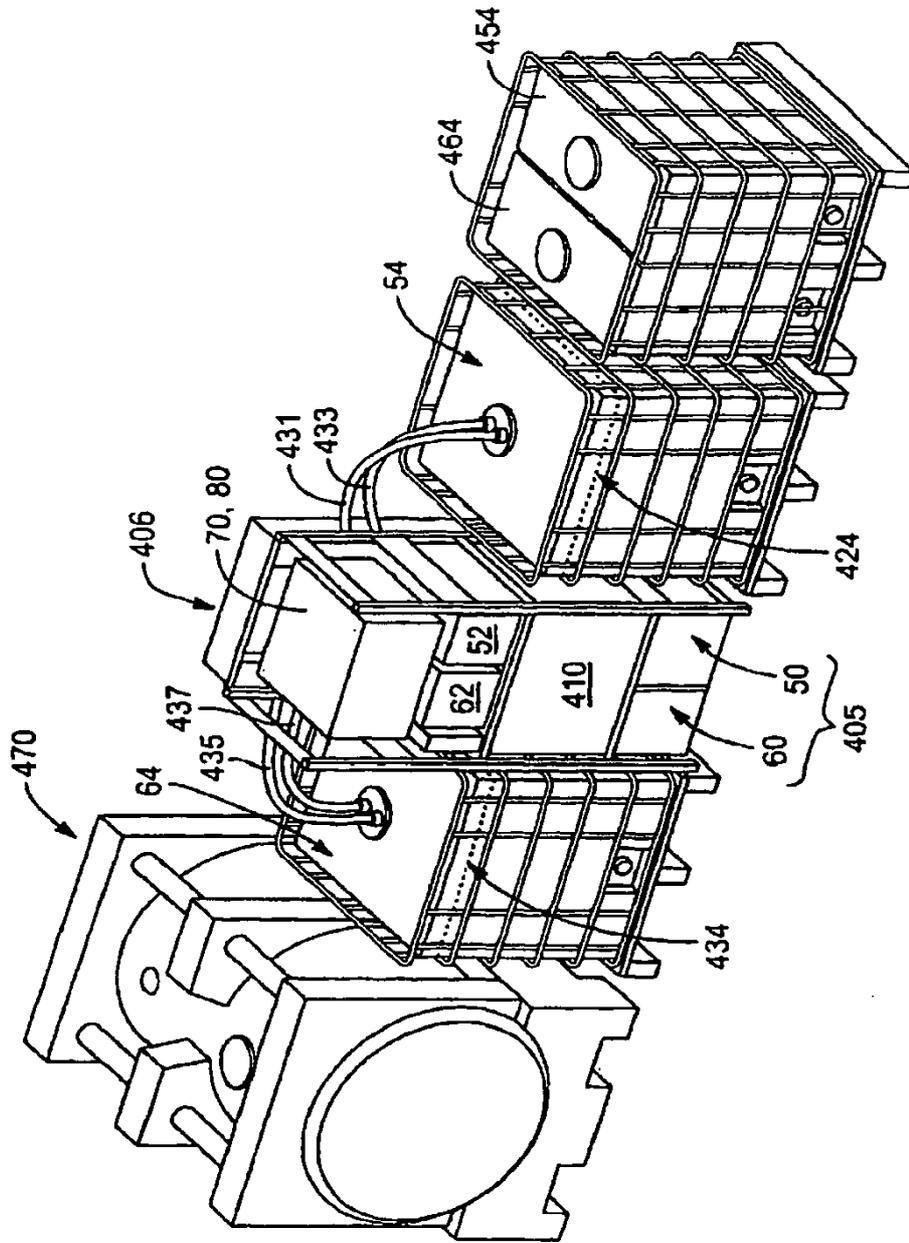


FIG. 4

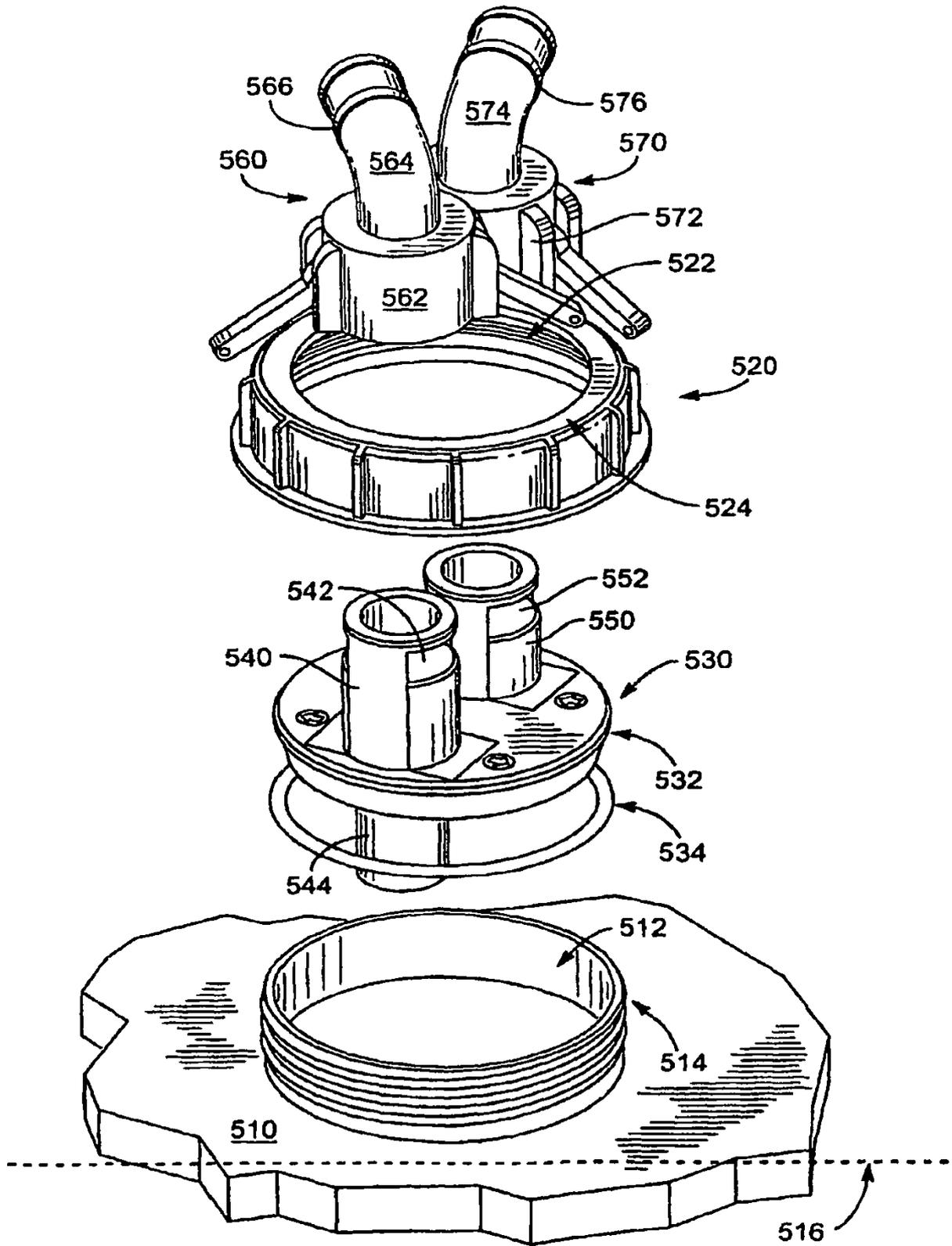


FIG. 5