

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 704 105**

51 Int. Cl.:

H01M 10/60 (2014.01)

H01M 4/13 (2010.01)

H01M 2/10 (2006.01)

H01M 4/38 (2006.01)

H01M 10/39 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.10.2013 PCT/US2013/065092**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.04.2014 WO14062706**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.10.2013 E 13847926 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.10.2018 EP 2909887**

54 Título: **Dispositivos electroquímicos de almacenamiento de energía**

30 Prioridad:

18.10.2012 US 201261715821 P

13.03.2013 US 201313801333

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

14.03.2019

73 Titular/es:

AMBRI INC. (100.0%)

237 Putnam Avenue

Cambridge, MA 02139, US

72 Inventor/es:

BRADWELL, DAVID, J. y

NAYAR, HARI

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 704 105 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

Dispositivos electroquímicos de almacenamiento de energía

5 Remisión

Antecedentes

10 Una batería puede ser un dispositivo que tiene la capacidad de convertir la energía química almacenada en energía eléctrica. Las baterías se pueden usar en muchas aplicaciones domésticas e industriales. En algunos casos, las baterías son recargables de tal modo que se tiene la capacidad de almacenar la energía eléctrica en la batería como energía química (es decir, cargar la batería). La batería se puede acoplar con una carga (por ejemplo, un aparato eléctrico) y emplearse para su uso en la realización de un trabajo.

15 El documento US 2008/044725 divulga un dispositivo y método de almacenamiento de energía de alto amperaje. El documento WO 2012/138576 divulga un sistema de alimentación de catalizador de hidrógeno electroquímico a base de agua. El documento US 2010/058578 divulga un método de realización y de uso de una composición y un dispositivo de almacenamiento de energía.

20 Sumario

La presente divulgación reconoce la necesidad de unos dispositivos de almacenamiento de energía (por ejemplo, baterías) que tengan la capacidad de almacenar una cantidad grande de energía y sean transportables en un vehículo (por ejemplo, un camión). Se describen diversos aspectos de los dispositivos de almacenamiento de energía.

25 Un aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende al menos un electrodo de metal líquido, en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene una capacidad de almacenamiento de energía de al menos aproximadamente 1 kWh y un tiempo de respuesta menor que o igual a aproximadamente 100 milisegundos (ms).

35 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende al menos un electrodo de metal líquido que se almacena en un recipiente a una temperatura mayor que o igual a aproximadamente 250 °C, en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene una capacidad de almacenamiento de energía de al menos aproximadamente 1 kWh, y en donde el recipiente tiene una relación de área superficial con respecto a volumen que es menor que o igual a aproximadamente 100 m⁻¹.

40 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende al menos un electrodo de metal líquido, en donde el dispositivo de almacenamiento de energía mantiene al menos un 90 % de su capacidad de almacenamiento de energía después de 100 ciclos de carga / descarga, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene una capacidad de almacenamiento de energía de al menos aproximadamente 1 kWh.

45 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende al menos un electrodo de metal líquido, en donde el dispositivo es transportable en un vehículo y tiene una capacidad de almacenamiento de energía de al menos aproximadamente 1 kWh, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía es transportable con al menos dos cualesquiera de un ánodo, un cátodo y un electrolito del dispositivo de almacenamiento de energía en estado sólido.

50 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un recipiente que contiene una o más celdas, conteniendo una celda individual de las una o más celdas al menos un electrodo de metal líquido, en donde una tasa de generación de calor en la celda durante la carga / descarga es aproximadamente igual a una tasa de pérdida de calor a partir de la celda.

55 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía sin separador que comprende un recipiente con al menos un electrodo de metal líquido, en donde el recipiente tiene una relación de área superficial con respecto a volumen que es menor que o igual a aproximadamente 100 m⁻¹, y el dispositivo de almacenamiento de energía sin separador tiene (i) un tiempo de respuesta menor que o igual a aproximadamente 100 milisegundos (ms), y / o (ii) una capacidad de almacenamiento de energía de al menos aproximadamente 1 kWh.

65 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un método para formar un dispositivo de almacenamiento de energía, que comprende el transporte marítimo de un recipiente que comprende un material de almacenamiento de energía en estado sólido hasta una ubicación de destino y, en la ubicación de destino, suministrar energía al material de almacenamiento de energía para formar al menos uno de un ánodo de metal líquido, un cátodo de metal líquido y un electrolito líquido, formando de ese modo el dispositivo de almacenamiento de energía.

- 5 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un sistema de almacenamiento de energía, que comprende: (a) un recipiente que comprende una o más celdas de almacenamiento de energía, en donde una celda de almacenamiento de energía individual de las una o más celdas de almacenamiento de energía comprende un material de almacenamiento de energía que comprende al menos un electrodo de metal líquido; y (b) un sistema de control que comprende un procesador con un código ejecutable por máquina para supervisar al menos una temperatura de las una o más celdas de almacenamiento de energía y / o el recipiente, en donde el procesador regula el flujo de energía eléctrica a al menos un subconjunto de las una o más celdas de almacenamiento de energía de tal modo que el material de almacenamiento de energía experimenta un autocalentamiento sostenido durante la carga / descarga.
- 10 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende al menos una celda electroquímica que tiene una temperatura de funcionamiento, comprendiendo la al menos una celda electroquímica: (a) un electrodo negativo líquido que comprende un primer metal; (b) un electrolito líquido adyacente al electrodo negativo líquido; y (c) un electrodo positivo líquido adyacente al electrolito líquido, comprendiendo el electrodo positivo líquido un segundo metal elemental que es diferente del primer metal, en donde el electrolito líquido comprende una especie cargada del primer metal y una especie cargada de forma opuesta del segundo metal, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.
- 15 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende una sal fundida, en donde un conductor electrónico líquido se extrae de la sal fundida por oxidación y un metal se extrae de la sal fundida por reducción, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.
- 20 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona una celda electrometalúrgica que comprende un electrodo positivo y un electrodo negativo, en donde los electrodos son líquidos, los reactivos de las reacciones que tienen lugar en los electrodos son líquidos, y los productos de las reacciones que tienen lugar en los electrodos son líquidos, y en donde la celda electrometalúrgica tiene la capacidad de ser transportada en un vehículo.
- 25 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo y que tiene una capacidad de potencia de mayor que 1 MW y: (a) una planta física más pequeña que aproximadamente 100 m² / MW; (b) un ciclo de vida mayor que 3000 ciclos de descarga profunda; (c) una vida útil de al menos 10 años; (d) una eficiencia de CC a CC de al menos un 65 %; (e) una capacidad de descarga de como máximo 10 horas; y (f) un tiempo de respuesta de menos de 100 milisegundos.
- 30 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un electrodo líquido, comprendiendo el electrodo un aditivo, en donde el electrodo se consume y el aditivo se concentra por medio del accionamiento del dispositivo, y en donde una propiedad del dispositivo se determina por medio de de la concentración del aditivo, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.
- 35 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un electrodo de antimonio líquido, un recipiente de acero y una capa de antimonio de hierro que se dispone entre los mismos, en donde el dispositivo se acciona a menos de 738 °C, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.
- 40 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un electrodo líquido y un colector de corriente en contacto con el electrodo, en donde el electrodo líquido se consume en una reacción durante el funcionamiento del dispositivo, y en donde la cantidad de electrodo líquido se encuentra en un exceso estequiométrico en relación con otros reactivos de la reacción de tal modo que el colector de corriente se encuentra en contacto con el electrodo líquido cuando la reacción ha procedido hasta su compleción, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.
- 45 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un metal alcalinotérreo que se encuentra presente en cada uno de un electrodo positivo, un electrodo negativo y un electrolito líquido, en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.
- 50 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un metal alcalinotérreo que se encuentra presente en cada una de una forma elemental, una forma de aleación y una forma de haluro, en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.
- 55 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un ánodo líquido, un cátodo líquido y un electrolito líquido que se dispone entre los mismos, en donde el espesor del
- 60
- 65

electrolito es sustancialmente constante a través de un ciclo de carga - descarga del dispositivo, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.

5 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un ánodo líquido, un cátodo líquido y un electrolito líquido que se dispone entre los mismos, en donde el espesor del electrolito es menor que un 50 % del espesor del cátodo o el ánodo, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.

10 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un electrodo líquido que comprende un metal alcalinotérreo elemental y un electrolito que comprende un haluro del metal alcalinotérreo, en donde el electrolito comprende adicionalmente unos ligandos complejantes, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.

15 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un alojamiento conductor que comprende un ánodo líquido conductor, un cátodo líquido conductor y un electrolito que se dispone entre los mismos, en donde la superficie interior del recipiente no está aislada eléctricamente, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.

20 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un ánodo que comprende un primer líquido electrónicamente conductor y un cátodo que comprende un segundo líquido electrónicamente conductor, en donde el dispositivo está configurado para impedir el mezclado de los líquidos electrónicamente conductores, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.

25 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un electrodo negativo que comprende un metal alcalino, un electrodo positivo que comprende el metal alcalino y uno o más elementos adicionales y un electrolito líquido que se dispone entre los electrodos, en donde el electrolito no se ha agotado tras la carga o descarga del dispositivo, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.

30 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un electrodo de metal líquido, un segundo electrodo de metal que es un líquido y un electrolito que se dispone entre los electrodos, en donde el electrolito es una pasta, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.

35 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un electrodo negativo líquido que comprende un metal alcalino, un electrodo positivo líquido que comprende una aleación del metal alcalino y un electrolito que se dispone entre los electrodos, en donde el electrolito comprende una sal del metal alcalino y unas partículas, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.

45 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un ánodo de metal, un cátodo de metal y un electrolito que se dispone entre los electrodos, en donde el ánodo, el cátodo y el electrolito son líquidos a una temperatura de funcionamiento del dispositivo y la temperatura de funcionamiento del dispositivo es menor que 500 °C, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo.

50 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un método para cargar un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende conectar un circuito de carga externo con unos terminales del dispositivo de almacenamiento de energía que tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo de tal modo que un metal alcalino activo se mueve de un electrodo positivo, a través de un electrolito, a un electrodo negativo que comprende un metal que tiene un potencial químico más alto que el electrodo positivo.

55 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un método para descargar un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende conectar una carga externa con unos terminales del dispositivo de almacenamiento de energía que tiene la capacidad de ser transportado en un vehículo de tal modo que un metal alcalino activo se mueve de un electrodo negativo, a través de un electrolito como cationes, a un electrodo positivo en donde el metal alcalino activo forma un metal neutro que tiene un potencial químico más bajo que el electrodo negativo.

60 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un electrodo de metal líquido, un electrolito y un colector de corriente en contacto con el electrodo, en donde el colector de corriente comprende un material que presenta una humectabilidad mayor con el metal líquido que con el electrolito.

65 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía que comprende un ánodo, un cátodo y un electrolito entre dicho ánodo y dicho cátodo, en donde el dispositivo no

tiene la capacidad de conducir iones a través de dicho electrolito a una primera temperatura, y en donde el dispositivo tiene la capacidad de conducir iones a través de dicho electrolito a una segunda temperatura que es mayor que dicha primera temperatura, y en donde dicho dispositivo está configurado para transportarse a la primera temperatura a una diferencia de potencial entre dicho ánodo y dicho cátodo que es menor que 1 voltio.

5 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía que comprende un electrodo negativo y un electrodo positivo y un electrolito que se dispone entre dichos electrodos negativo y positivo, en donde el dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía tiene una primera diferencia de potencial entre los electrodos negativo y positivo a una primera temperatura que es menor que
10 aproximadamente 50 °C y una segunda diferencia de potencial entre los electrodos negativo y positivo a una segunda temperatura de al menos aproximadamente 250 °C, en donde la segunda diferencia de potencial es mayor que la primera diferencia de potencial.

15 Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un método para formar un sistema de almacenamiento de energía, que comprende: (a) formar, en una primera ubicación, un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un electrodo negativo y un electrodo positivo, y un electrolito entre el electrodo negativo y el electrodo positivo, en donde el electrodo negativo, el electrodo positivo y el electrolito se encuentran en el líquido a una temperatura de funcionamiento del dispositivo de almacenamiento de energía; y (b) colocar el dispositivo de
20 almacenamiento de energía en un vehículo que está configurado para transportar el dispositivo de almacenamiento de energía desde la primera ubicación hasta una segunda ubicación.

Algunos aspectos y ventajas adicionales de la presente divulgación se volverán inmediatamente evidentes a los expertos en esta materia a partir de la siguiente descripción detallada, en donde solo se muestran y se describen formas de realización ilustrativas de la presente divulgación. Tal como se observará, la presente divulgación tiene la
25 capacidad de otras, y diferentes, formas de realización, y sus diversos detalles se pueden modificar en diversos aspectos obvios, todo ello sin apartarse de la divulgación. Por consiguiente, los dibujos y la descripción se han de considerar de una naturaleza ilustrativa, y no como restrictivos.

30 Breve descripción de los dibujos

Las características novedosas de la invención se exponen de forma particular en las reivindicaciones adjuntas. Una mejor comprensión de las características y ventajas de la presente invención se obtendrá por referencia a la siguiente descripción detallada que expone algunas formas de realización ilustrativas, en las que se utilizan los principios de la invención, y los dibujos o figuras adjuntos (también "FIG." y "figuras" en el presente documento), de
35 los cuales:

la figura 1 es una ilustración de una celda electroquímica (A) y una colección (es decir, una batería) de celdas electroquímicas (B y C);

40 la figura 2 es una ilustración en sección transversal esquemática de un alojamiento de batería que tiene un conductor en comunicación eléctrica con un paso de colector de corriente a través de una abertura en el alojamiento;

la figura 3 es una vista lateral en sección transversal de una celda electroquímica o batería;

45 la figura 4 es una vista lateral en sección transversal de una celda electroquímica o batería con una capa intermetálica;

la figura 5 es una ilustración de un sistema informático;

la figura 6 es una ilustración de un dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía que se está transportando en un camión; y

la figura 7 ilustra un método para formar un sistema de almacenamiento de energía.

50 Descripción detallada

A pesar de que en el presente documento se han mostrado y descrito diversas formas de realización de la invención, será obvio a los expertos en la materia que tales formas de realización se proporcionan solo a modo de ejemplo. A los expertos en la materia se les pueden ocurrir numerosas variaciones, cambios y sustituciones sin apartarse de la
55 invención. Se ha de entender que se pueden emplear diversas alternativas a las formas de realización de la invención que se describe en el presente documento.

La expresión "área superficial", tal como se usa en el presente documento, se refiere en general al área superficial geométrica de un objeto.

60 El término "vehículo", tal como se usa en el presente documento, se refiere en general a un coche, un camión, un tren, una motocicleta, un helicóptero, un avión, un barco, una embarcación, o un robot. Un vehículo puede ser tripulado o no tripulado. Un vehículo se puede configurar para desplazarse a lo largo de una carretera u otra ruta, tal como una vía navegable. Un vehículo se puede acoplar con un remolque u otro recipiente que está configurado para
65 alojar un dispositivo de almacenamiento de energía o un recipiente que tiene el dispositivo de almacenamiento de energía.

El término “celda”, tal como se usa en el presente documento, se refiere en general a una celda electroquímica. Una celda puede incluir un electrodo negativo de material ‘A’ y un electrodo positivo de material ‘B’, que se denota como A||B. Los electrodos positivo y negativo pueden estar separados por un electrolito.

5 El término “módulo”, tal como se usa en el presente documento, se refiere en general a unas celdas que se unen entre sí en paralelo al, por ejemplo, conectar mecánicamente el alojamiento de celda de una celda con el alojamiento de celda de una celda adyacente (por ejemplo, celdas que se conectan entre sí en un plano de empaquetado aproximadamente horizontal). Un módulo puede incluir una pluralidad de celdas en paralelo. Un módulo puede comprender cualquier número de celdas (por ejemplo, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 10 17, 18, 19, 20, o más). En algunos casos, un módulo comprende 9, 12 o 16 celdas. En algunos casos, un módulo tiene la capacidad de almacenar aproximadamente 700 vatios hora de energía y / o de entregar aproximadamente 175 vatios de potencia.

15 El término “paquete”, tal como se usa en el presente documento, se refiere en general a unos módulos que se unen a través de diferentes conexiones eléctricas (por ejemplo, en sentido vertical). Un paquete puede comprender cualquier número de módulos (por ejemplo, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, o más). En algunos casos, un paquete comprende 3 módulos. En algunos casos, un paquete tiene la capacidad de almacenar aproximadamente 2 kilovatios hora de energía y / o de entregar aproximadamente 0,5 kilovatios de potencia.

20 El término “núcleo”, tal como se usa en el presente documento se refiere en general a una pluralidad de módulos o paquetes que se unen a través de diferentes conexiones eléctricas (por ejemplo, en serie y / o en paralelo). Un núcleo puede comprender cualquier número de módulos o paquetes (por ejemplo, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, o más). En algunos casos, el núcleo también comprende unos sistemas mecánicos, eléctricos y térmicos que permiten que el núcleo almacene y devuelva de forma eficiente la energía eléctrica de una forma controlada. En algunos casos, un núcleo comprende 12 paquetes. En algunos casos, un núcleo tiene la capacidad de almacenar aproximadamente 25 kilovatios hora de energía y / o de entregar aproximadamente 6,25 kilovatios de potencia.

30 El término “cápsula”, tal como se usa en el presente documento, se refiere en general a una pluralidad de núcleos que se unen a través de diferentes conexiones eléctricas (por ejemplo, en serie y / o en paralelo). Una cápsula puede comprender cualquier número de núcleos (por ejemplo, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, o más). En algunos casos, la cápsula contiene unos núcleos que se conectan en paralelo con un conjunto de circuitos electrónicos de derivación apropiado, posibilitando de este modo que un núcleo se desconecte al tiempo que se continúa permitiendo que los otros núcleos almacenen y devuelvan energía. En algunos casos, una cápsula comprende 4 núcleos. En algunos casos, una cápsula tiene la capacidad de almacenar aproximadamente 100 kilovatios hora de energía y / o de entregar aproximadamente 25 kilovatios de potencia.

40 El término “sistema”, tal como se usa en el presente documento, se refiere en general a una pluralidad de núcleos o cápsulas que se unen a través de diferentes conexiones eléctricas (por ejemplo, en serie y / o en paralelo). Un sistema puede comprender cualquier número de núcleos o cápsulas (por ejemplo, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, o más). En algunos casos, un sistema comprende 20 cápsulas. En algunos casos, un sistema tiene la capacidad de almacenar aproximadamente 2 megavatios hora de energía y / o de entregar aproximadamente 500 kilovatios de potencia.

45 El término “batería”, tal como se usa en el presente documento, se refiere en general a una o más celdas electroquímicas que se conectan en serie y / o en paralelo. Una batería puede comprender cualquier número de celdas electroquímicas, módulos, paquetes, núcleos, cápsulas o sistemas.

50 Sistemas, dispositivos y celdas electroquímicas de almacenamiento de energía

La divulgación proporciona unos sistemas y dispositivos electroquímicos de almacenamiento de energía (baterías). Un dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía incluye, en general, al menos una celda electroquímica, también “celda” y “celda de batería” en el presente documento, que se sella (por ejemplo, que se sella de forma hermética) dentro de un alojamiento.

Una celda electroquímica de la divulgación puede incluir un electrodo negativo, un electrolito adyacente al electrodo negativo, y un electrodo positivo adyacente al electrolito. El electrodo negativo puede estar separado del electrodo positivo por el electrolito. El electrodo negativo puede ser un ánodo durante la descarga. El electrodo positivo puede ser un cátodo durante la descarga. En algunos ejemplos, una celda electroquímica es una celda de batería de metal líquido. En algunos ejemplos, una celda de batería de metal líquido puede incluir un electrolito líquido que se dispone entre un electrodo de metal (por ejemplo, fundido) líquido negativo y un electrodo de metal, de metaloide y / o de no metal (por ejemplo, fundido) líquido positivo. En algunos casos, una celda de batería de metal líquido tiene un electrodo negativo de metal alcalino fundido (por ejemplo, litio, magnesio, sodio), un electrolito, y un electrodo positivo de metal fundido. El electrodo positivo de metal fundido puede incluir uno o más de estaño, plomo, bismuto, antimonio, telurio y selenio. Cualquier descripción de un electrodo positivo de metal o de metal fundido, o

un electrodo positivo, en el presente documento se puede referir a un electrodo que incluye uno o más de un metal, un metaloide y un no metal. El electrodo positivo puede contener uno o más de los ejemplos enumerados de los materiales. En un ejemplo, el electrodo positivo de metal fundido puede incluir plomo y antimonio. En algunos ejemplos, el electrodo positivo de metal fundido puede incluir un metal alcalino que se alea en el electrodo positivo.

En algunos ejemplos, un dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía incluye un electrodo negativo de metal líquido, un electrodo positivo de metal líquido y un electrolito de metal líquido que separa el electrodo negativo de metal líquido y el electrodo positivo de metal líquido. El electrodo negativo puede incluir un metal alcalino, tal como litio, sodio, potasio, rubidio, cesio, o combinaciones de los mismos. El electrodo positivo puede incluir elementos que se seleccionan de entre el grupo IIIA, IVA, VA y VIA de la tabla periódica de los elementos, tales como aluminio, galio, indio, silicio, germanio, estaño, plomo, pnictógenos (por ejemplo, arsénico, bismuto y antimonio), calcógenos (por ejemplo, telurio y selenio), o combinaciones de los mismos. El electrolito puede incluir una sal (por ejemplo, sal fundida), tal como una sal de metal alcalino. La sal de metal alcalino puede ser un haluro, tal como un fluoruro, un cloruro, un bromuro o un yoduro del metal alcalino activo, o combinaciones de los mismos. En un ejemplo, el electrolito incluye cloruro de litio. Como alternativa, la sal del metal alcalino activo puede ser, por ejemplo, un haluro distinto de cloruro, bistriflimida, fluorosulfano - amina, perclorato, hexafluorofosfato, tetrafluoroborato, carbonato, hidróxido, o combinaciones de los mismos.

En algunos casos, el electrodo negativo y el electrodo positivo de un dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía se encuentran en el estado líquido a una temperatura de funcionamiento del dispositivo de almacenamiento de energía. Para mantener los electrodos en los estados líquidos, la celda de batería se puede calentar hasta cualquier temperatura adecuada. En algunos ejemplos, la celda de batería se calienta hasta y / o se mantiene a una temperatura de aproximadamente 200 °C, aproximadamente 250 °C, aproximadamente 300 °C, aproximadamente 350 °C, aproximadamente 400 °C, aproximadamente 450 °C, aproximadamente 500 °C, aproximadamente 550 °C, aproximadamente 600 °C, aproximadamente 650 °C o aproximadamente 700 °C. La celda de batería se puede calentar hasta y / o mantenerse a una temperatura de al menos aproximadamente 200 °C, al menos aproximadamente 250 °C, al menos aproximadamente 300 °C, al menos aproximadamente 350 °C, al menos aproximadamente 400 °C, al menos aproximadamente 450 °C, al menos aproximadamente 500 °C, al menos aproximadamente 550 °C, al menos aproximadamente 600 °C, al menos aproximadamente 650 °C, o al menos aproximadamente 700 °C. En algunas situaciones, la celda de batería se calienta hasta entre 200 °C y aproximadamente 500 °C, o entre aproximadamente 300 °C y 450 °C.

Las celdas electroquímicas de la divulgación se pueden adaptar para realizar ciclos entre unos modos cargados (o de almacenamiento de energía) y unos modos descargados. En algunos ejemplos, una celda electroquímica puede estar completamente cargada, parcialmente cargada o parcialmente descargada, o completamente descargada.

En algunas puestas en práctica, durante un modo de carga de un dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía, la corriente eléctrica que se recibe a partir de una fuente de alimentación externa (por ejemplo, un generador o una red de distribución eléctrica) puede dar lugar a que los átomos de metal en el electrodo positivo de metal liberen uno o más electrones, disolviéndose en el electrolito como un ion cargado de forma positiva (es decir, un catión). De forma simultánea, los cationes de la misma especie pueden migrar a través del electrolito, y pueden aceptar electrones en el electrodo negativo, dando lugar a que los cationes realicen una transición a una especie de metal neutra, aumentando de ese modo la masa del electrodo negativo. La retirada de la especie de metal activa del electrodo positivo y la adición del metal activo al electrodo negativo almacena energía electroquímica. Durante un modo de descarga de energía, una carga eléctrica se acopla con los electrodos y la especie de metal previamente añadida en el electrodo negativo se puede liberar a partir del electrodo negativo de metal, pasar a través del electrolito como iones, y alearse con el electrodo positivo, con el flujo de iones acompañado por el flujo externo y coincidente de electrones a través de la carga / circuito externo. Esta reacción de aleación de metal facilitada de forma electroquímica descarga la energía electroquímica previamente almacenada en la carga eléctrica.

En un estado cargado, el electrodo negativo puede incluir un material de electrodo negativo y el electrodo positivo puede incluir un material de electrodo positivo. Durante la descarga (por ejemplo, cuando la batería se acopla con una carga), el material de electrodo negativo produce uno o más electrones y cationes del material de electrodo negativo. Los cationes migran a través del electrolito hasta el material de electrodo positivo y reaccionan con el material de electrodo positivo para formar una aleación. Durante la carga, la aleación en el electrodo positivo se desasocia para producir cationes del material de electrodo negativo, que migra a través del electrolito hasta el electrodo negativo.

En algunos ejemplos, los iones pueden migrar a través de un electrolito desde un ánodo hasta un cátodo, o viceversa. En algunos casos, los iones pueden migrar a través de un electrolito de una forma de tipo inserción – extracción en la que un ion entrante de un tipo expulsa del electrolito un ion del mismo tipo. Por ejemplo, durante la descarga, un ánodo de litio y un electrolito de cloruro de litio pueden aportar un catión de litio a un cátodo por medio de un proceso en el que un catión de litio que se forma en el ánodo interacciona con el electrolito para expulsar un catión de litio desde el electrolito hasta el cátodo. El catión de litio que se forma en el ánodo en un caso de este tipo puede no migrar necesariamente a través del electrolito hasta el cátodo. El catión se puede formar en una interfase entre el ánodo y el electrolito, y ser aceptado en una interfase del cátodo y el electrolito.

Las celdas electroquímicas de la divulgación pueden incluir unos alojamientos que pueden ser adecuados para diversos usos y operaciones. Un alojamiento puede incluir una celda o una pluralidad de celdas. Un alojamiento se puede configurar para acoplar eléctricamente los electrodos con un conmutador, que se puede conectar con la fuente de alimentación externa y la carga eléctrica. El alojamiento de celda puede incluir, por ejemplo, un recipiente eléctricamente conductor que se acopla eléctricamente con un primer polo del conmutador y / u otro alojamiento de celda, y una tapa de recipiente eléctricamente conductora, una porción de la cual se acopla eléctricamente con un segundo polo del conmutador y / u otro alojamiento de celda. La celda se puede disponer dentro de una cavidad del recipiente. Un primer electrodo de los electrodos de la celda puede entrar en contacto y acoplarse eléctricamente con una pared de extremo del recipiente. Una cubierta eléctricamente aislante (por ejemplo, una cubierta de óxido de aluminio) puede aislar eléctricamente las porciones restantes de la celda con respecto a otras porciones del recipiente. Un conductor puede acoplar eléctricamente un segundo electrodo de los electrodos de la celda de batería con la tapa de recipiente, que puede sellar (por ejemplo, sellar de forma hermética) la celda de batería dentro de la cavidad. El recipiente y la tapa de recipiente pueden estar eléctricamente aislados. Como alternativa, un alojamiento no incluye una cubierta eléctricamente aislante. En algunos casos, un alojamiento y / o recipiente puede ser un alojamiento y / o recipiente de batería. Una cubierta eléctricamente conductora (por ejemplo, una cubierta de grafito) puede evitar que el cátodo se humedezca subiendo por las paredes laterales del recipiente.

Una batería, tal como se usa en el presente documento, puede comprender una pluralidad de celdas electroquímicas. Algunas celdas individuales de la pluralidad se pueden acoplar eléctricamente entre sí en serie y / o en paralelo y / o una combinación de conexiones en serie y en paralelo. En la conectividad en serie, el terminal positivo de una primera celda se conecta con un terminal negativo de una segunda celda. En la conectividad en paralelo, el terminal positivo de una primera celda se puede conectar con un terminal positivo de una segunda celda.

A continuación se hará referencia a las figuras, en donde números semejantes se refieren a partes semejantes por la totalidad de las mismas. Se apreciará que las figuras y características en las mismas no están necesariamente dibujadas a escala.

Con referencia a la figura 1, una celda electroquímica (A) es una unidad que comprende un ánodo y un cátodo. La celda puede comprender un electrolito y sellarse en un alojamiento tal como se describe en el presente documento. En algunos casos, las celdas electroquímicas se pueden apilar (B) para formar una batería (es decir, una colección de celdas electroquímicas). Las celdas se pueden disponer en paralelo, en serie, o tanto en paralelo como en serie (C).

Las celdas electroquímicas de la divulgación pueden tener la capacidad de almacenar y / o de recibir una entrada de ("recoger") unas cantidades sustancialmente grandes de energía. En algunos casos, una celda tiene la capacidad de almacenar y / o de recoger aproximadamente 1 vatio hora (Wh), aproximadamente 5 Wh, 25 Wh, aproximadamente 50 Wh, aproximadamente 100 Wh, aproximadamente 500 Wh, aproximadamente 1 kilovatio hora (kWh), aproximadamente 1,5 kWh, aproximadamente 2 kWh, aproximadamente 3 kWh, aproximadamente 5 kWh, aproximadamente 10 kWh, aproximadamente 100 kWh, aproximadamente 500 kWh, aproximadamente 1 MWh, aproximadamente 5 MWh, aproximadamente 10 MWh, aproximadamente 50 MWh o aproximadamente 100 MWh. En algunos casos, la batería tiene la capacidad de almacenar y / o de recoger al menos aproximadamente 1 Wh, al menos aproximadamente 5 Wh, al menos aproximadamente 25 Wh, al menos aproximadamente 50 Wh, al menos aproximadamente 100 Wh, al menos aproximadamente 500 Wh, al menos aproximadamente 1 kWh, al menos aproximadamente 1,5 kWh, al menos aproximadamente 2 kWh, al menos aproximadamente 3 kWh, al menos aproximadamente 5 kWh, al menos aproximadamente 10 kWh, al menos aproximadamente 100 kWh, al menos aproximadamente 500 kWh, al menos aproximadamente 1 MWh, al menos aproximadamente 5 MWh, al menos aproximadamente 10 MWh, al menos aproximadamente 50 MWh, o al menos aproximadamente 100 MWh.

Una colección o agrupación de celdas (es decir, una batería) puede incluir cualquier número adecuado de celdas, tal como al menos aproximadamente 2, al menos aproximadamente 5, al menos aproximadamente 10, al menos aproximadamente 50, al menos aproximadamente 100, al menos aproximadamente 500, al menos aproximadamente 1000, al menos aproximadamente 5000, al menos aproximadamente 10000, y similares. En algunos ejemplos, una batería incluye 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 2000, 5000, 10.000, 20.000, 50.000, 100.000, 500.000 o 1.000.000 celdas.

Las baterías de la divulgación pueden tener la capacidad de almacenar y / o de recoger una cantidad sustancialmente grande de energía para su uso con una red de distribución eléctrica (es decir, una batería a escala de la red de distribución eléctrica) u otras cargas o usos. En algunos casos, una batería tiene la capacidad de almacenar y / o de recoger aproximadamente 5 kWh, 25 kWh, aproximadamente 50 kWh, aproximadamente 100 kWh, aproximadamente 500 kWh, aproximadamente 1 megavatio hora (MWh), aproximadamente 1,5 MWh, aproximadamente 2 MWh, aproximadamente 3 MWh, aproximadamente 5 MWh o aproximadamente 10 MWh. En algunos casos, la batería tiene la capacidad de almacenar y / o de recoger al menos aproximadamente 1 kWh, al menos aproximadamente 5 kWh, al menos aproximadamente 25 kWh, al menos aproximadamente 50 kWh, al menos aproximadamente 100 kWh, al menos aproximadamente 500 kWh, al menos aproximadamente 1 MWh, al menos aproximadamente 1,5 MWh, al menos aproximadamente 2 MWh, al menos aproximadamente 3 MWh, al menos aproximadamente 5 MWh, o al menos aproximadamente 10 MWh.

En algunos casos, las celdas y los alojamientos de celda son apilables. Se puede apilar cualquier número adecuado de celdas. Las celdas se pueden apilar una junto a otra, una sobre otra, o ambos. En algunos casos, se apilan al menos aproximadamente 10, 50, 100 o 500 celdas. En algunos casos, un apilamiento de aproximadamente 1000 celdas tiene la capacidad de almacenar y / o de recoger al menos 50 kWh de energía. Un primer apilamiento de celdas (por ejemplo, 10 celdas) se puede conectar eléctricamente con un segundo apilamiento de celdas (por ejemplo, otras 10 celdas) para aumentar el número de celdas en comunicación eléctrica (por ejemplo, 20 en este caso).

Un dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía puede incluir una o más celdas electroquímicas individuales. Una celda electroquímica se puede alojar en un recipiente, que puede incluir una tapa de recipiente. El dispositivo puede incluir al menos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 1000, 10.000, 20.000 o 50.000 celdas. La tapa de recipiente puede utilizar, por ejemplo, una junta (por ejemplo, una junta dieléctrica anular) para aislar eléctricamente el recipiente con respecto a la tapa de recipiente. Una junta de este tipo se puede construir a partir de un material eléctricamente aislante relativamente duro, tal como, por ejemplo, vidrio, óxido de silicio, óxido de aluminio, nitruro de boro, nitruro de aluminio, u otros óxidos que comprenden óxido de litio, óxido de calcio, óxido de bario, óxido de itrio, óxido de silicio, óxido de aluminio o nitruro de litio. La junta puede estar sujeta a unas fuerzas compresivas relativamente altas (por ejemplo, mayor que 10.000 psi (68,95 MPa)) entre la tapa de recipiente y el recipiente con el fin de proporcionar un sello además de un aislamiento eléctrico. Con el fin de someter la junta dieléctrica a unas fuerzas compresivas altas de este tipo, los sujetadores pueden tener unos diámetros relativamente grandes y pueden estar muy juntos entre sí. Tales sujetadores de un diámetro grande de este tipo pueden ser costosos y, por lo tanto, pueden aumentar de forma significativa el coste de construir un recipiente de un diámetro relativamente grande. Además, debido a que el diámetro de la junta dieléctrica se aumenta para dar cabida a un recipiente de un diámetro grande, la junta se puede volver cada vez más frágil y volverse difícil maniobrar la misma.

La figura 2 ilustra de forma esquemática una batería que comprende un alojamiento eléctricamente conductor 201 y un conductor 202 en comunicación eléctrica con un colector de corriente 203. El conductor puede estar eléctricamente aislado con respecto al alojamiento y puede sobresalir a través del alojamiento a través de una abertura en el alojamiento de tal modo que el conductor de una primera celda entra en contacto con el alojamiento de una segunda celda cuando se apilan la primera y la segunda celdas.

Un alojamiento de celda puede comprender un recipiente eléctricamente conductor y un conductor en comunicación eléctrica con un colector de corriente. El conductor puede sobresalir a través del alojamiento a través de una abertura en el recipiente y puede estar eléctricamente aislado con respecto al recipiente. El conductor de un primer alojamiento puede entrar en contacto con el recipiente de un segundo alojamiento cuando se apilan el primer y el segundo alojamientos.

En algunos casos, el área de la abertura a través de la cual el conductor sobresale del alojamiento y / o recipiente es pequeña en relación con el área del alojamiento y / o recipiente. En algunos casos, la relación del área de la abertura con respecto al área del alojamiento es de aproximadamente 0,001, aproximadamente 0,005, aproximadamente 0,01, aproximadamente 0,05, aproximadamente 0,1, aproximadamente 0,15 o aproximadamente 0,2. En algunos casos, la relación del área de la abertura con respecto al área del alojamiento es menor que o igual a 0,001, menor que o igual a 0,005, menor que o igual a 0,01, menor que o igual a 0,05, menor que o igual a 0,1, menor que o igual a 0,15, o menor que o igual a 0,2.

Una celda puede comprender un alojamiento eléctricamente conductor y un conductor en comunicación eléctrica con un colector de corriente. El conductor sobresale a través del alojamiento a través de una abertura en el alojamiento y puede estar eléctricamente aislado con respecto al alojamiento. La relación del área de la abertura con respecto al área del alojamiento puede ser menor que aproximadamente 0,1.

Un alojamiento de celda puede comprender un recipiente eléctricamente conductor y un conductor en comunicación eléctrica con un colector de corriente. El conductor sobresale a través del recipiente a través de una abertura en el recipiente y está eléctricamente aislado con respecto al recipiente. La relación del área de la abertura con respecto al área del recipiente puede ser menor que 0,1. El alojamiento puede tener la capacidad de encerrar una celda que tiene la capacidad de almacenar y / o de recoger menos de 100 Wh de energía, aproximadamente 100 Wh de energía, o más de 100 Wh de energía.

La figura 3 es una vista lateral en sección transversal de una celda electroquímica o batería 300 que comprende un alojamiento 301, una conexión de paso conductora (es decir, un conductor, tal como una varilla conductora) 302 que pasa a través de una abertura en el alojamiento y se encuentra en comunicación electrónica con un electrodo negativo de metal líquido 303, un electrodo positivo de metal líquido 305 y un electrolito de metal líquido entre los electrodos 303, 305. El conductor 302 puede estar eléctricamente aislado con respecto al alojamiento 301 (por ejemplo, usando unas juntas eléctricamente aislantes). El electrodo negativo 303 puede ser una espuma que se comporta como una esponja, y se "empapa" en metal líquido. El electrodo de metal líquido negativo 303 se encuentra en contacto con el electrolito de sal fundida 304, que se encuentra en contacto con el electrodo de metal

líquido positivo 305. El electrodo de metal líquido positivo 305 puede entrar en contacto con el alojamiento 301 a lo largo de las paredes laterales y / o a lo largo de la pared de extremo de debajo del alojamiento.

5 La espuma puede ser porosa. La espuma puede incluir unos poros que se dimensionan para permitir que los iones fluyan a través de los poros. La espuma se puede dimensionar para permitir que el metal líquido fluya a través de la espuma.

10 El alojamiento 301 se puede construir a partir de un material eléctricamente conductor tal como, por ejemplo, acero, hierro, acero inoxidable, grafito, níquel, aleaciones a base de níquel, titanio, aluminio, molibdeno o wolframio. El alojamiento también puede comprender un componente de recubrimiento más delgado de un revestimiento de metal o eléctricamente aislante separado, tal como, por ejemplo, un alojamiento de acero con un recubrimiento de grafito, o un alojamiento de acero con un revestimiento de boro o de nitruro de boro.

15 El alojamiento 301 puede incluir una cubierta térmica y / o eléctricamente aislante 306. En esta configuración, el electrodo negativo 303 se puede extender en sentido lateral entre las paredes laterales del alojamiento 301 que se define por medio de la cubierta sin conectarse eléctricamente (es decir, sin ponerse en cortocircuito) con el electrodo positivo 305. Como alternativa, el electrodo negativo 303 se puede extender en sentido lateral entre un primer extremo de electrodo negativo 303a y un segundo extremo de electrodo negativo 303b. Cuando no se proporciona la cubierta 306, el electrodo negativo 303 puede tener un diámetro (u otra dimensión característica, que se ilustra en la figura 3 como la distancia de 303a a 303b) que es menor que el diámetro (u otra dimensión característica tal como la anchura para un recipiente cuboide, que se ilustra en la figura 3 como la distancia *D*) de la cavidad que se define por medio del alojamiento 301.

25 La cubierta 306 se puede construir a partir de un material térmicamente aislante y / o eléctricamente aislante tal como, por ejemplo, óxido de aluminio, dióxido de titanio, dióxido de silicio, óxido de magnesio, nitruro de boro, o un óxido mezclado que incluye óxido de calcio, óxido de aluminio, óxido de silicio, óxido de litio, óxido de magnesio, etc. Tal como se muestra en la figura 3, la cubierta 306 tiene una geometría en sección transversal anular, cuadrada o rectangular que se puede extender en sentido lateral entre un primer extremo de cubierta 306a y un segundo extremo de cubierta 306b. La cubierta se puede dimensionar (lo que se ilustra en la figura 3 como la distancia de 306a a 306b) de tal modo que la cubierta se encuentra en contacto con y se presiona contra las paredes laterales de la cavidad que se define por medio de la cavidad de alojamiento 301. Como alternativa, la cubierta se puede usar para evitar la corrosión del recipiente y / o para evitar el humedecimiento del material de cátodo subiendo por la pared lateral, y construirse a partir de un material electrónicamente conductor, tal como acero, acero inoxidable, wolframio, molibdeno, níquel, aleaciones a base de níquel, grafito o titanio. La cubierta puede ser muy delgada y podría ser un revestimiento. El revestimiento puede cubrir solo la parte interior de las paredes, y / o también puede cubrir la parte de debajo del interior del recipiente.

40 El alojamiento 301 también puede incluir un primer colector de corriente (por ejemplo, negativo) 307 y un segundo colector de corriente (por ejemplo, positivo) 308. El colector de corriente negativo 307 se puede construir a partir de un material eléctricamente conductor tal como, por ejemplo, una espuma de níquel - hierro (Ni - Fe), disco de acero perforado, láminas de acero corrugado, láminas de malla de metal expandida, etc. El colector de corriente negativo 307 se puede configurar como una placa que se puede extender en sentido lateral entre un primer extremo de colector 307a y un segundo extremo de colector 307b. El colector de corriente negativo 307 puede tener un diámetro de colector que es menor que o igual al diámetro de la cavidad que se define por medio del alojamiento 301. En algunos casos, el colector de corriente negativo 307 puede tener un diámetro de colector (u otra dimensión característica, que se ilustra en la figura 3 como la distancia de 307a a 307b) que es menor que, igual a, o mayor que el diámetro (u otra dimensión característica, que se ilustra en la figura 3 como la distancia de 303a a 303b) del electrodo negativo 303. El colector de corriente positivo 308 se puede configurar como parte del alojamiento 301; por ejemplo, la pared de extremo de debajo del alojamiento se puede configurar como el colector de corriente positivo 308, tal como se ilustra en la figura 3. Como alternativa, el colector de corriente puede ser discreto con respecto al alojamiento de batería y se puede conectar eléctricamente con el alojamiento de batería. En algunos casos, el colector de corriente positivo puede no estar conectado eléctricamente con el alojamiento de batería. La presente invención no se limita a configuración particular alguna de las configuraciones de colector de corriente negativo y / o positivo.

55 El electrodo negativo 303 puede estar contenido dentro del colector de corriente negativo (por ejemplo, una espuma) 307. En esta configuración, la capa de electrolito aparece en contacto con la parte de debajo y los lados de la espuma 307, y el metal que está contenido en la espuma (es decir, el material de electrodo negativo) se puede mantener lejos de las paredes laterales del alojamiento 301, permitiendo de este modo que la celda funcione sin la cubierta aislante 306. En algunos casos, una cubierta de grafito se puede usar para evitar que el electrodo positivo se humedezca subiendo a lo largo de las paredes laterales, lo que puede evitar la puesta en cortocircuito de la celda.

65 La corriente se puede distribuir de manera sustancialmente uniforme de lado a lado de un electrodo de metal líquido positivo y / o negativo en contacto con un electrolito a lo largo de una superficie (es decir, la corriente que fluye de lado a lado de la superficie puede ser uniforme de tal modo que la corriente que fluye a través de cualquier porción

de la superficie no se desvía de forma sustancial con respecto a una densidad de corriente promedio). En algunos ejemplos, la densidad máxima de la corriente que fluye de lado a lado de un área de la superficie es menor que aproximadamente un 105 %, menor que aproximadamente un 115 %, menor que aproximadamente un 125 %, menor que aproximadamente un 150 %, menor que aproximadamente un 175 %, menor que aproximadamente un 200 %, menor que aproximadamente un 250 %, o menor que aproximadamente un 300 % de la densidad promedio de la corriente que fluye de lado a lado de la superficie. En algunos ejemplos, la densidad mínima de la corriente que fluye de lado a lado de un área de la superficie es mayor que aproximadamente un 50 %, mayor que aproximadamente un 60 %, mayor que aproximadamente un 70 %, mayor que aproximadamente un 80 %, mayor que aproximadamente un 90 %, o mayor que aproximadamente un 95 % de la densidad promedio de la corriente que fluye de lado a lado de la superficie.

El alojamiento puede incluir un recipiente y una tapa de recipiente tal como se describe en alguna otra parte en el presente documento. El recipiente y la tapa de recipiente se pueden conectar mecánicamente y aislarse eléctricamente (por ejemplo, usando unas juntas eléctricamente aislantes, unos sujetadores con unos manguitos eléctricamente aislantes y / o unas arandelas eléctricamente aislantes que se construyen a partir de un dieléctrico tal como, por ejemplo, mica o vermiculita). En algunos ejemplos, la celda electroquímica o batería 300 puede comprender dos o más conductores que pasan a través de una o más aberturas y en comunicación eléctrica con el electrodo negativo de metal líquido 303. En algunos casos, una estructura de separación (que no se muestra) se puede disponer dentro del electrolito 304 entre el electrodo negativo líquido 303 y el electrodo positivo (líquido) 305.

Vista desde una dirección desde arriba o desde debajo, tal como se indica de forma respectiva por medio de "VISTA SUPERIOR" y "VISTA INFERIOR" en la figura 3, la geometría en sección transversal de la celda o batería 300 puede ser circular, elíptica, cuadrada, rectangular, poligonal, curvada, simétrica, asimétrica o cualquier otra forma compuesta basándose en los requisitos de diseño para la batería. En un ejemplo, la celda o batería 300 es simétrica en sentido axial con una sección transversal circular. Los componentes de la celda o batería 300 (por ejemplo, un componente en la figura 3) se pueden disponer dentro de la celda o batería de una forma simétrica en sentido axial. En algunos casos, uno o más componentes se pueden disponer de forma asimétrica, tal como, por ejemplo, desplazados con respecto al centro del eje 309.

El volumen combinado del material de electrodo positivo y negativo puede ser de aproximadamente un 20 %, aproximadamente un 30 %, aproximadamente un 40 %, aproximadamente un 50 %, aproximadamente un 60 %, aproximadamente un 70 %, aproximadamente un 80 %, aproximadamente un 90 % o aproximadamente un 95 % del volumen de la batería (por ejemplo, tal como se define por medio del alojamiento más exterior de la batería, tal como un recipiente de transporte marítimo). En algunos casos, el volumen combinado del material de ánodo y de cátodo es al menos un 20 %, al menos un 30 %, al menos un 40 %, al menos aproximadamente un 50 %, al menos aproximadamente un 60 %, al menos aproximadamente un 70 %, al menos aproximadamente un 80 %, al menos aproximadamente un 90 % o al menos aproximadamente un 95 % del volumen de la batería. El volumen combinado del material de los electrodos positivo y negativo se puede expandir o contraerse durante el funcionamiento debido a la expansión o la contracción del electrodo positivo o negativo. En un ejemplo, durante la descarga, el volumen del electrodo negativo (el ánodo durante la descarga) se puede reducir debido a la transferencia del material de electrodo negativo al electrodo positivo (el cátodo durante la descarga), en donde se aumenta el volumen del electrodo positivo (por ejemplo, como resultado de una reacción de aleación). La reducción en el volumen del electrodo negativo puede ser igual, o no, al aumento de volumen del electrodo positivo. Los materiales de electrodo positivo y negativo pueden reaccionar entre sí para formar un compuesto de reacción mutua sólido o semisólido (también "producto de reacción mutua" en el presente documento), que puede tener una densidad que es la misma, más baja o más alta que las densidades de los materiales de electrodo positivo y / o negativo. A pesar de que la masa de material en la celda electroquímica o batería 300 puede ser constante, se pueden encontrar presentes una, dos o más fases (por ejemplo, líquida o sólida), y cada una de tales fases puede comprender una determinada composición de material (por ejemplo, un metal alcalino se puede encontrar presente en los materiales y las fases de la celda a unas concentraciones variables: un electrodo negativo de metal líquido puede contener una concentración alta de un metal alcalino, un electrodo positivo de metal líquido puede contener una aleación del metal alcalino y la concentración del metal alcalino puede variar durante el funcionamiento, y un producto de reacción mutua de los electrodos de metal líquido negativo puede contener el metal alcalino a una estequiometría fija o variable). Las fases y / o los materiales pueden tener unas densidades diferentes. A medida que se transfiere material entre las fases y / o los materiales de los electrodos, se pueden obtener como resultado un cambio en el volumen de electrodo combinado.

La figura 4 es una vista lateral en sección transversal de una celda electroquímica o batería 400 con una capa intermetálica 410. La capa intermetálica 410 puede incluir un compuesto de reacción mutua que se puede formar durante la descarga en una interfase entre un electrodo de metal líquido positivo (un cátodo de metal líquido en esta configuración) 405 y un electrolito de metal líquido 404. El compuesto (o producto) de la reacción mutua puede ser sólido o semisólido. La capa intermetálica 410 se puede formar en la interfase entre el cátodo de metal líquido 405 y el electrolito de metal líquido 404. En algunos casos, la capa intermetálica 410 puede mostrar unas propiedades de líquido (por ejemplo, el material intermetálico puede ser semisólido, o el mismo puede ser de una viscosidad o densidad más alta que la de uno o más materiales / fases adyacentes).

En algunos casos, un electrodo de metal líquido negativo 403 incluye litio, sodio, potasio, magnesio y / o calcio, el electrodo de metal líquido positivo 405 incluye plomo, antimonio, estaño, telurio y / o bismuto. La capa intermetálica 410 puede incluir cualquier compuesto adecuado tal como antimoniuro de magnesio (Mg_3Sb_2), antimoniuro de calcio (Ca_3Sb_2), antimoniuro de litio (Li_3Sb), bismuturo de litio (Li_3Bi), antimoniuro de sodio (Na_3Sb) o compuestos que contienen dos o más de K, Li, Na, Pb, Bi, Sb, Te, Sn y similares.

La capa intermetálica sólida se puede desarrollar al crecer y expandirse en sentido horizontal a lo largo de una dirección x . La expansión puede ser simétrica o asimétrica en sentido axial con respecto a un eje de simetría 409 que está ubicado en el centro de la celda o batería 400. Como alternativa, la capa intermetálica sólida se puede desarrollar y expandirse comenzando a partir de una o más ubicaciones (también "sitios de nucleación" en el presente documento) a lo largo de una superficie en paralelo con respecto a la dirección x (es decir, la interfase entre el cátodo de metal líquido y el electrolito de metal líquido). Los sitios de nucleación se pueden ubicar en un patrón previamente determinado a lo largo de la superficie; como alternativa, la ubicación de los sitios de nucleación puede ser estocástica (aleatoria), o determinarse por medio de unos defectos naturales o inducidos en la interfase entre el cátodo de metal líquido y el electrolito de metal líquido, o en alguna otra parte dentro de la celda o batería 400. En algunos ejemplos, la capa intermetálica sólida puede no crecer y expandirse en sentido horizontal. Por ejemplo, la capa intermetálica sólida se puede formar de manera uniforme de lado a lado de la interfase.

La capa intermetálica sólida puede comenzar a desarrollarse en o cerca de una ubicación vertical que se corresponde con la ubicación de la superficie superior del cátodo de metal líquido en el comienzo de la descarga (es decir, la interfase entre el cátodo de metal líquido y el electrolito de metal líquido en el comienzo de la descarga), y entonces puede crecer en una dirección hacia abajo y . Por lo tanto, la capa intermetálica sólida puede tener una interfase o superficie superior 410a y una interfase o superficie inferior 410b. La interfase superior 410a se puede seguir encontrando en una ubicación aproximadamente fija a lo largo del eje 409, mientras que la interfase inferior 410b se mueve en una dirección hacia abajo durante la descarga. En algunos casos, la capa intermetálica sólida puede crecer y / o deformarse en la dirección hacia abajo (es decir, se añade un material intermetálico a la capa a partir de la dirección hacia abajo opuesta con respecto al vector y). La acumulación de material a lo largo de la interfase 410b puede dar lugar a que se acumule una presión desde abajo. La presión puede ejercer una fuerza sobre la capa intermetálica. La presión puede ser una presión hidráulica a partir del cátodo de metal líquido 405. En algunos casos, la presión puede ser debida a los esfuerzos del material en la capa intermetálica 410. Esto puede, por ejemplo, dar lugar a que la capa intermetálica 410 se combe o se curve hacia arriba. En algunos casos, el cátodo de metal líquido se puede abrir paso a través de la capa intermetálica y algo del material de cátodo de metal líquido puede salir disparado hasta el electrolito de metal líquido más allá de la superficie superior de la capa intermetálica, formando salientes o excrescencias dendríticas. La capa intermetálica se puede distorsionar parcialmente, y se puede fracturar o agrietarse en una o más ubicaciones a lo largo de la interfase 410a.

En algunos casos, puede tener lugar una combinación de un crecimiento horizontal y hacia abajo. Por ejemplo, una capa que tiene un espesor t se puede desarrollar en una dirección hacia abajo a lo largo del eje central, y expandirse en sentido horizontal durante la descarga a un espesor de menos de t , aproximadamente t , o más grande que t . El espesor t también puede cambiar como una función de la descarga o el tiempo de descarga. La morfología de las interfases 410a, 410b puede no ser tan uniforme como se muestra en la figura 4. Por ejemplo, las interfases pueden ser grumosas, dentadas, desiguales, esponjosas o tener rebabas, salientes o unas características dendríticas. Por ejemplo, la interfase 410a puede ser ondulada. Dependiendo de la extensión lateral de la capa intermetálica 410 con respecto a la dimensión de la cavidad que se define por medio de las paredes laterales de la cubierta 406 o el alojamiento 401 y / o la morfología de la capa intermetálica 410, pueden existir una o más interfases entre el electrolito de metal líquido 404 y el cátodo de metal líquido 405. Las interfases pueden proporcionar un medio para que las reacciones de reducción procedan en el cátodo de metal líquido. La capa intermetálica sólida puede crecer por medio de la adición de material que se forma en o cerca de las interfases.

Durante la descarga, el cátodo puede comprender el cátodo de metal líquido 405, y la capa intermetálica sólida 410 se forma adyacente al cátodo. Tal como se ha descrito previamente, se puede transferir material al cátodo durante la descarga de tal modo que la masa del cátodo crece. El volumen de cátodo se puede expandir como resultado de la adición de material. La expansión del volumen se puede ver afectada por la reacción de aleación. Por ejemplo, el aumento de volumen de cátodo después de la aleación puede ser de aproximadamente un 30 % menos de lo esperado a partir de la adición conjunta del volumen de material que se añade al cátodo y el material que originalmente se encontraba presente en el cátodo. En algunos casos, las densidades de la capa intermetálica 410 y el cátodo de metal líquido 405 pueden ser aproximadamente las mismas. Como alternativa, la densidad de la capa intermetálica puede ser más alta o más baja que la densidad del cátodo de metal líquido 405. Por ejemplo, la densidad de la capa intermetálica puede ser una función de la estructura de fases del sólido que se forma. A medida que el volumen de cátodo aumenta durante la descarga, de forma individual, la capa intermetálica 410 puede crecer, pero el cátodo de metal líquido 405 se puede consumir. La capa intermetálica 410 puede crecer a costa del cátodo de metal líquido 405. Como alternativa, los volúmenes tanto de la capa intermetálica 410 como del cátodo de metal líquido 405 pueden aumentar, pero el aumento en el volumen del cátodo de metal líquido 405 es menor que el que sería de lo contrario en ausencia de una capa intermetálica. En algunos ejemplos, la aleación en el cátodo de metal líquido 405 y la aleación en la capa intermetálica 410 se pueden formar de forma independiente en las interfases entre el electrolito de metal líquido y el cátodo de metal líquido. Como alternativa, la formación de la capa

intermetálica 410 puede consumir la aleación que se forma en primer lugar en el cátodo de metal líquido 405. La expansión del cátodo de metal líquido 405 que está confinado por una capa intermetálica 410, y la cubierta 406 o el alojamiento 401 puede conducir a una acumulación de presión hidráulica en el cátodo de metal líquido 405.

5 Sin abandonar la referencia a la figura 4, el material intermetálico 410 se puede ubicar entre el electrolito de metal líquido 404 y el cátodo de metal líquido 405. Durante el funcionamiento normal, la celda o batería 400 se puede orientar en la dirección que se muestra en la figura 4, de tal modo que cualquier tirón gravitacional que afecte a la celda esté orientado hacia abajo en la dirección del vector y . Una presión hidrostática a partir del electrolito de metal líquido 404 puede ejercer una fuerza hacia abajo (en la dirección de y) sobre la capa intermetálica 410. Esta fuerza
10 puede seguir siendo constante durante la descarga, debido a que la masa del electrolito de metal líquido puede no cambiar. La interfase superior 410a de la capa intermetálica puede ser estacionaria. A medida que crece la capa intermetálica 410, una presión hidráulica se puede acumular en el cátodo de metal líquido 405, y puede ejercer una fuerza hacia arriba (en la dirección opuesta con respecto a y) sobre la capa intermetálica 410.

15 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende al menos un electrodo de metal líquido. El dispositivo de almacenamiento de energía puede tener una capacidad de almacenamiento de energía alta y un tiempo de respuesta rápido. El electrodo de metal líquido puede ser un ánodo o un cátodo del dispositivo de almacenamiento de energía. En algunas formas de realización, el dispositivo de almacenamiento de energía comprende un ánodo de metal líquido (por ejemplo, litio, sodio, calcio y / o potasio) y un
20 cátodo de metal líquido (por ejemplo, antimonio, bismuto, telurio, estaño y / o plomo). El dispositivo de almacenamiento de energía también puede comprender un electrolito líquido. En algunas formas de realización, las reacciones que tienen lugar en el electrodo y las interfaces de electrodo de metal líquido son extremadamente fáciles, lo que permite un funcionamiento de densidad de corriente alta con unos sobrepotenciales de electrodo mínimos y unos tiempos de respuesta extremadamente rápidos.

25 La capacidad de almacenamiento de energía puede ser cualquier valor adecuadamente grande (por ejemplo, adecuado para un almacenamiento de energía a escala de la red de distribución eléctrica), incluyendo aproximadamente 1 kWh, aproximadamente 10 kWh, aproximadamente 20 kWh, aproximadamente 30 kWh, aproximadamente 100 kWh, aproximadamente 500 kWh, aproximadamente 1 MWh, aproximadamente 5 MWh,
30 aproximadamente 10 MWh, aproximadamente 50 MWh, aproximadamente 100 MWh, y similares. En algunas formas de realización, la capacidad de almacenamiento de energía es al menos aproximadamente 1 kWh, al menos aproximadamente 10 kWh, al menos aproximadamente 20 kWh, al menos aproximadamente 30 kWh, al menos aproximadamente 100 kWh, al menos aproximadamente 500 kWh, al menos aproximadamente 1 MWh, al menos aproximadamente 5 MWh, al menos aproximadamente 10 MWh, al menos aproximadamente 50 MWh, al menos
35 aproximadamente 100 MWh y similares.

El tiempo de respuesta puede ser cualquier valor adecuado (por ejemplo, adecuado para responder a las perturbaciones en la red de distribución eléctrica). En algunos casos, el tiempo de respuesta es de aproximadamente 100 milisegundos (ms), aproximadamente 50 ms, aproximadamente 10 ms, aproximadamente 1
40 ms, y similares. En algunos casos, el tiempo de respuesta es como máximo aproximadamente 100 milisegundos (ms), como máximo aproximadamente 50 ms, como máximo aproximadamente 10 ms, como máximo aproximadamente 1 ms, y similares.

45 En algunas formas de realización, el electrodo de metal líquido comprende un metal alcalinotérreo, un metaloide, o combinaciones de los mismos. En algunas formas de realización, el electrodo de metal líquido comprende litio, sodio, potasio, magnesio, calcio, o cualquier combinación de los mismos. En algunos casos, el electrodo de metal líquido comprende antimonio, plomo, estaño, telurio, bismuto o combinaciones de los mismos.

50 En algunas formas de realización, el dispositivo está comprendido en una agrupación de dispositivos de almacenamiento de energía como parte de un sistema de almacenamiento de energía. El dispositivo puede ser una celda de almacenamiento de energía, y el sistema de almacenamiento de energía comprende una pluralidad de celdas de almacenamiento de energía.

55 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende al menos un electrodo de metal líquido que se almacena en un recipiente a una temperatura mayor que o igual a aproximadamente 250 °C. El dispositivo de almacenamiento de energía puede tener una capacidad de almacenamiento de energía alta y el recipiente puede tener una relación de área superficial con respecto a volumen que es menor que o igual a aproximadamente 10 m⁻¹.

60 La capacidad de almacenamiento de energía puede ser cualquier valor adecuadamente grande (por ejemplo, adecuado para un almacenamiento de energía a escala de la red de distribución eléctrica), incluyendo aproximadamente 1 kWh, aproximadamente 10 kWh, aproximadamente 20 kWh, aproximadamente 30 kWh, aproximadamente 100 kWh, aproximadamente 500 kWh, aproximadamente 1 MWh, aproximadamente 5 MWh,
65 aproximadamente 10 MWh, aproximadamente 50 MWh, aproximadamente 100 MWh, y similares. En algunas formas de realización, la capacidad de almacenamiento de energía es al menos aproximadamente 1 kWh, al menos aproximadamente 10 kWh, al menos aproximadamente 20 kWh, al menos aproximadamente 30 kWh, al menos

aproximadamente 100 kWh, al menos aproximadamente 500 kWh, al menos aproximadamente 1 MWh, al menos aproximadamente 5 MWh, al menos aproximadamente 10 MWh, al menos aproximadamente 50 MWh, al menos aproximadamente 100 MWh y similares.

5 En algunas formas de realización, la relación de área superficial con respecto a volumen es de aproximadamente 100 m⁻¹, aproximadamente 50 m⁻¹, aproximadamente 10 m⁻¹, aproximadamente 1 m⁻¹, aproximadamente 0,5 m⁻¹, aproximadamente 0,1 m⁻¹, aproximadamente 0,01 m⁻¹ o aproximadamente 0,001 m⁻¹. En algunos casos, la relación de área superficial con respecto a volumen es menor que aproximadamente 100 m⁻¹, menor que aproximadamente 50 m⁻¹, menor que aproximadamente 10 m⁻¹, menor que aproximadamente 1 m⁻¹, menor que aproximadamente 0,5 m⁻¹, menor que aproximadamente 0,1 m⁻¹, menor que aproximadamente 0,01 m⁻¹, o menor que aproximadamente 0,001 m⁻¹.

15 La temperatura puede ser cualquier temperatura adecuada (por ejemplo, para mantener los electrodos en un estado fundido). En algunas formas de realización, el al menos un electrodo de metal líquido se almacena en el recipiente a una temperatura mayor que o igual a aproximadamente 250 °C, mayor que o igual a aproximadamente 400 °C, mayor que o igual a aproximadamente 450 °C mayor que o igual a aproximadamente 500 °C o mayor que o igual a aproximadamente 550 °C.

20 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende al menos un electrodo de metal líquido y el dispositivo de almacenamiento de energía mantiene al menos un 90 % de su capacidad de almacenamiento de energía después de 100 ciclos de carga / descarga.

25 En algunos casos, el dispositivo de almacenamiento de energía tiene una capacidad de almacenamiento de energía de al menos aproximadamente 1 kWh. En algunas formas de realización, el dispositivo de almacenamiento de energía tiene una capacidad de almacenamiento de energía de al menos aproximadamente 2 kWh, 3 kWh, 4 kWh, 5 kWh, 6 kWh, 7 kWh, 8 kWh, 9 kWh, 10 kWh, 20 kWh, 30 kWh, 100 kWh, 200 kWh, 300 kWh, 400 kWh, 500 kWh, 1 MWh, 5 MWh, o 10 MWh.

30 En algunas formas de realización, el dispositivo de almacenamiento de energía mantiene al menos un 90 %, un 95 %, un 96 %, un 97 %, un 98 % o un 99 % de su capacidad de almacenamiento de energía después de 100, 200, 300, 400, 500, o 1000, 3000, 5000, 10.000 ciclos de carga / descarga.

35 En algunas formas de realización, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende al menos un electrodo de metal líquido, en donde el dispositivo es transportable en un vehículo y tiene una capacidad de almacenamiento de energía de al menos aproximadamente 1 kWh. El dispositivo de almacenamiento de energía es transportable con al menos dos cualesquiera de un ánodo, un cátodo y un electrolito del dispositivo de almacenamiento de energía en estado sólido.

40 Un dispositivo de almacenamiento de energía se puede transportar si el mismo tiene menos de un peso determinado. En algunas formas de realización, el dispositivo de almacenamiento de energía tiene un peso de aproximadamente 10 kg, 100 kg, 500 kg, 1.000 kg, 2.000 kg, 3.000 kg, 4.000 kg, 5.000 kg, 10.000 kg, o 50.000 kg. En algunas formas de realización, una celda individual del dispositivo de almacenamiento de energía tiene un peso de aproximadamente 0,1 kg, 0,5 kg, 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg, 5 kg, 10 kg, 100 kg, 1.000 kg, o 10.000 kg. En algunas formas de realización, el dispositivo de almacenamiento de energía tiene un peso de al menos aproximadamente 10 kg, 100 kg, 500 kg, 1.000 kg, 2.000 kg, 3.000 kg, 4.000 kg, 5.000 kg, 10.000 kg, o 50.000 kg. En algunas formas de realización, una celda individual del dispositivo de almacenamiento de energía tiene un peso de al menos aproximadamente 0,1 kg, 0,5 kg, 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg, 5 kg, 10 kg, 100 kg, 1.000 kg, o 10.000 kg.

50 En algunas formas de realización, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un recipiente que contiene una o más celdas, conteniendo una celda individual de las una o más celdas al menos un electrodo de metal líquido, en donde una tasa de generación de calor en la celda durante la carga / descarga es aproximadamente igual a una tasa de pérdida de calor a partir de la celda.

55 La tasa de generación de calor puede ser cualquier valor adecuado en comparación con la tasa de pérdida de calor a partir de la celda (por ejemplo, de tal modo que la batería es capaz de autocalentamiento y / o mantiene una temperatura constante). En algunos casos, la relación de la tasa de generación de calor con respecto a la tasa de pérdida de calor a partir de la celda es de aproximadamente un 50 %, aproximadamente un 75 %, aproximadamente un 80 %, aproximadamente un 85 %, aproximadamente un 90 %, aproximadamente un 100 %, aproximadamente un 110 %, aproximadamente un 120 % o aproximadamente un 150 %. En algunos casos, la relación de la tasa de generación de calor con respecto a la tasa de pérdida de calor a partir de la celda es al menos aproximadamente un 50 %, al menos aproximadamente un 75 %, al menos aproximadamente un 80 %, al menos aproximadamente un 85 %, al menos aproximadamente un 90 %, al menos aproximadamente un 100 %, al menos aproximadamente un 110 %, al menos aproximadamente un 120 % o al menos aproximadamente un 150 %. En algunos casos, la relación de la tasa de generación de calor con respecto a la tasa de pérdida de calor a partir de la celda es como máximo aproximadamente un 50 %, como máximo aproximadamente un 75 %, como máximo aproximadamente un 80 %, como máximo aproximadamente un 85 %, como máximo aproximadamente un 90 %, como máximo

aproximadamente un 100 %, como máximo aproximadamente un 110 %, como máximo aproximadamente un 120 %, o como máximo aproximadamente un 150 %.

5 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía sin separador comprende un recipiente con al menos un electrodo de metal líquido, en donde el recipiente tiene una relación de área superficial con respecto a volumen que es menor que o igual a aproximadamente 100 m^{-1} , y el dispositivo de almacenamiento de energía sin separador tiene (i) un tiempo de respuesta menor que o igual a aproximadamente 100 milisegundos (ms), y/o (ii) una capacidad de almacenamiento de energía de al menos aproximadamente 1 kWh. En algunas formas de realización, el dispositivo de almacenamiento de energía sin separador comprende (i) y (ii). En algunas formas de realización, el dispositivo de almacenamiento de energía sin separador no incluye un separador.

15 La capacidad de almacenamiento de energía puede ser cualquier valor adecuadamente grande (por ejemplo, adecuado para un almacenamiento de energía a escala de la red de distribución eléctrica), incluyendo aproximadamente 1 kWh, aproximadamente 10 kWh, aproximadamente 20 kWh, aproximadamente 30 kWh, aproximadamente 100 kWh, aproximadamente 500 kWh, aproximadamente 1 MWh, aproximadamente 5 MWh, aproximadamente 10 MWh, aproximadamente 50 MWh, aproximadamente 100 MWh, y similares. En algunas formas de realización, la capacidad de almacenamiento de energía es al menos aproximadamente 1 kWh, al menos aproximadamente 10 kWh, al menos aproximadamente 20 kWh, al menos aproximadamente 30 kWh, al menos aproximadamente 100 kWh, al menos aproximadamente 500 kWh, al menos aproximadamente 1 MWh, al menos aproximadamente 5 MWh, al menos aproximadamente 10 MWh, y similares.

25 El tiempo de respuesta puede ser cualquier valor adecuado (por ejemplo, adecuado para responder a las perturbaciones en la red de distribución eléctrica). En algunos casos, el tiempo de respuesta es de aproximadamente 100 milisegundos (ms), aproximadamente 50 ms, aproximadamente 10 ms, aproximadamente 1 ms, y similares. En algunos casos, el tiempo de respuesta es como máximo aproximadamente 100 milisegundos (ms), como máximo aproximadamente 50 ms, como máximo aproximadamente 10 ms, como máximo aproximadamente 1 ms, y similares.

30 En algunas formas de realización, la relación de área superficial con respecto a volumen es de aproximadamente 100 m^{-1} , aproximadamente 50 m^{-1} , aproximadamente 10 m^{-1} , aproximadamente 1 m^{-1} , aproximadamente $0,5 \text{ m}^{-1}$, aproximadamente $0,1 \text{ m}^{-1}$, aproximadamente $0,01 \text{ m}^{-1}$ o aproximadamente $0,001 \text{ m}^{-1}$. En algunos casos, la relación de área superficial con respecto a volumen es menor que aproximadamente 100 m^{-1} , menor que aproximadamente 50 m^{-1} , menor que aproximadamente 10 m^{-1} , menor que aproximadamente 1 m^{-1} , menor que aproximadamente $0,5 \text{ m}^{-1}$, menor que aproximadamente $0,1 \text{ m}^{-1}$, menor que aproximadamente $0,01 \text{ m}^{-1}$, o menor que aproximadamente $0,001 \text{ m}^{-1}$.

40 En otro aspecto de la presente divulgación, un método para formar un dispositivo de almacenamiento de energía comprende el transporte marítimo de un recipiente que comprende un material de almacenamiento de energía en estado sólido hasta una ubicación de destino y, en la ubicación de destino, suministrar energía al material de almacenamiento de energía para formar al menos uno de un ánodo de metal líquido, un cátodo de metal líquido y un electrolito líquido, formando de ese modo el dispositivo de almacenamiento de energía.

45 En algunos casos, el material de almacenamiento de energía no se mezcla durante el transporte marítimo. En algunos casos, el dispositivo de almacenamiento de energía no incluye un separador. En algunas formas de realización, durante el transporte marítimo, el material de almacenamiento de energía comprende al menos uno de un ánodo en estado sólido, un cátodo en estado sólido y un electrolito en estado sólido.

50 En otro aspecto de la presente divulgación, un sistema de almacenamiento de energía comprende: (a) un recipiente que comprende una o más celdas de almacenamiento de energía, en donde una celda de almacenamiento de energía individual de las una o más celdas de almacenamiento de energía comprende un material de almacenamiento de energía que comprende al menos un electrodo de metal líquido; y (b) un sistema de control que comprende un procesador con un código ejecutable por máquina para supervisar al menos una temperatura de las una o más celdas de almacenamiento de energía y/o el recipiente. El procesador puede regular el flujo de energía eléctrica a al menos un subconjunto de las una o más celdas de almacenamiento de energía de tal modo que el material de almacenamiento de energía experimenta un autocalentamiento sostenido durante la carga / descarga. En algunas formas de realización, el recipiente comprende una pluralidad de celdas de almacenamiento de energía.

60 En algunas formas de realización, el procesador regula uno o más parámetros de proceso de la celda de almacenamiento de energía individual de tal modo que una tasa de disipación de calor a partir de la celda de almacenamiento de energía individual durante la carga / descarga es mayor que una tasa de pérdida de calor a partir de la celda de almacenamiento de energía individual. En algunas formas de realización, al menos un electrodo de metal líquido se almacena en el recipiente a una temperatura mayor que o igual a aproximadamente $250 \text{ }^\circ\text{C}$, mayor que o igual a aproximadamente $300 \text{ }^\circ\text{C}$, mayor que o igual a aproximadamente $350 \text{ }^\circ\text{C}$, mayor que o igual a

aproximadamente 400 °C, mayor que o igual a aproximadamente 450 °C mayor que o igual a aproximadamente 500 °C o mayor que o igual a aproximadamente 550 °C.

Otro aspecto de la presente divulgación proporciona un sistema que se programa o que se configura de otro modo para poner en práctica los métodos de la divulgación. La figura 5 muestra un sistema 500 que se programa o que se configura de otro modo para uno o más parámetros de proceso de un sistema de almacenamiento de energía. El sistema 500 incluye un servidor informático (el "servidor") 501 que se programa para poner en práctica los métodos que se divulgan en el presente documento. El servidor 501 incluye una unidad de procesamiento central (CPU, *central processing unit*, también "procesador" y "procesador de ordenador" en el presente documento) 505, que puede ser un procesador de un único núcleo o de múltiples núcleos, o una pluralidad de procesadores para un procesamiento en paralelo. El servidor 501 también incluye una memoria 510 (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio, una memoria de solo lectura, una memoria flash), una unidad de almacenamiento electrónico 515 (por ejemplo, un disco duro), una interfaz de comunicaciones 520 (por ejemplo, un adaptador de red) para comunicarse con otros uno o más sistemas y unos los dispositivos periféricos 525, tales como una memoria caché, otra memoria, almacenamiento de datos y/o adaptadores de visualizador electrónico. La memoria 510, la unidad de almacenamiento 515, la interfaz 520 y los dispositivos periféricos 525 se encuentran en comunicación con la CPU 505 a través de un bus de comunicación (las líneas de trazo continuo), tal como una placa madre. La unidad de almacenamiento 515 puede ser una unidad de almacenamiento de datos (o repositorio de datos) para almacenar datos. El servidor 501 se puede acoplar operativamente con una red informática (la "red") 530 con la ayuda de la interfaz de comunicaciones 520. La red 530 puede ser Internet, Internet y/o una extranet, o una intranet y/o una extranet que se encuentra en comunicación con Internet. En algunos casos, la red 530 es una red de telecomunicaciones y/o de datos. La red 530 puede incluir uno o más servidores informáticos, que pueden habilitar una computación distribuida, tal como una computación en la nube. La red 530, en algunos casos con la ayuda del servidor 501, puede poner en práctica una red entre elementos del mismo nivel, lo que puede posibilitar que los dispositivos que están acoplados con el servidor 501 se comporten como un cliente o un servidor. El servidor 501 se puede acoplar con un sistema de almacenamiento de energía 535 o bien directamente o bien a través de la red 530.

La unidad de almacenamiento 515 puede almacenar algunos parámetros de proceso del sistema de almacenamiento de energía 535. En algunos casos, el servidor 501 puede incluir una o más unidades de almacenamiento de datos adicionales que son externas con respecto al servidor 501, tales como ubicadas en un servidor remoto que se encuentra en comunicación con el servidor 501 a través de una intranet o Internet.

El servidor 501 se puede comunicar con uno o más sistemas informáticos remotos a través de la red 530. En el ejemplo ilustrado, el servidor 501 se encuentra en comunicación con un sistema informático remoto 540. El sistema informático remoto 540 puede ser, por ejemplo, un ordenador personal (por ejemplo, un PC portátil), un PC de tipo pizarra o tableta (por ejemplo, un iPad de Apple®, un Galaxy Tab de Samsung®), un teléfono, un teléfono inteligente (por ejemplo, un iPhone de Apple®, un dispositivo habilitado para Android, Blackberry®), o un asistente personal digital.

En algunas situaciones, el sistema 500 incluye un único servidor 501. En otras situaciones, el sistema 500 incluye múltiples servidores en comunicación entre sí a través de una intranet y/o Internet.

Los métodos tal como se describe en el presente documento se pueden poner en práctica por medio de un código (o soporte lógico) ejecutable por máquina (o por procesador de ordenador) que se almacena en una ubicación de almacenamiento electrónico del servidor 501, tal como, por ejemplo, en la memoria 510 o la unidad de almacenamiento electrónico 515. Durante el uso, el código se puede ejecutar por medio del procesador 505. En algunos casos, el código se puede recuperar de la unidad de almacenamiento 515 y almacenarse en la memoria 510 para un acceso sencillo por parte del procesador 505. En algunas situaciones, la unidad de almacenamiento electrónico 515 se puede excluir, y las instrucciones ejecutables por máquina se almacenan en la memoria 510. Como alternativa, el código se puede ejecutar en el segundo sistema informático 540.

El código se puede precompilar y configurar para su uso con una máquina que tiene un procesador que está adaptado para ejecutar el código, o se puede compilar durante el tiempo de ejecución. El código se puede suministrar en un lenguaje de programación que se puede seleccionar para posibilitar que el código se ejecute de una forma precompilada o como si se hubiera compilado.

Algunos aspectos de los sistemas y métodos que se proporcionan en el presente documento, tales como el servidor 501, se pueden materializar en programación. Se puede pensar en diversos aspectos de la tecnología como "productos" o "artículos de fabricación", por lo general en forma de código ejecutable por máquina (o por procesador) y/o unos datos asociados que se portan en o se materializa en un tipo de medio legible por máquina. Un código ejecutable por máquina se puede almacenar en una unidad de almacenamiento electrónico, tal memoria (por ejemplo, una memoria de solo lectura, una memoria de acceso aleatorio, una memoria flash) o un disco duro. Los medios de tipo "almacenamiento" pueden incluir cualesquiera o la totalidad de la memoria tangible de los ordenadores, procesadores o similares, o los módulos asociados de los mismos, tales como diversas memorias de semiconductores, unidades de cinta, unidades de disco y similares, que pueden proporcionar un almacenamiento no transitorio en cualquier instante para la programación de soporte lógico. La totalidad o algunas porciones del soporte

lógico se pueden comunicar en ocasiones a través de Internet o diversas otras redes de telecomunicaciones. Tales comunicaciones, por ejemplo, pueden posibilitar la carga del soporte lógico de un ordenador o un procesador a otro, por ejemplo, de un servidor de gestión o un ordenador central a la plataforma informática de un servidor de aplicaciones. Por lo tanto, otro tipo de medios que pueden portar los elementos de soporte lógico incluye ondas ópticas, eléctricas y electromagnéticas, tales como las que se usan de lado a lado de las interfases físicas entre dispositivos locales, a través de redes terrestres cableadas y ópticas y a través de diversos enlaces aéreos. Los elementos físicos que portan tales ondas, tales como enlaces cableados o inalámbricos, enlaces ópticos o similares, también se pueden considerar como medios que portan el soporte lógico. Tal como se usan en el presente documento, a menos que se restrinjan a medios de "almacenamiento" tangibles no y transitorios, expresiones tales como "medio legible" por ordenador o por máquina se refieren a cualquier medio que participe en la provisión de instrucciones a un procesador para su ejecución.

Por lo tanto, un medio legible por máquina, tal como un código ejecutable por ordenador, puede adoptar muchas formas, incluyendo pero sin limitarse a, un medio de almacenamiento tangible, un medio de ondas portadoras o un medio de transmisión físico. Los medios de almacenamiento no volátil incluyen, por ejemplo, discos ópticos o magnéticos, tales como cualquiera de los dispositivos de almacenamiento en cualquier ordenador u ordenadores o similares, tales como se pueden usar para poner en práctica las bases de datos, etc. que se muestran en los dibujos. Los medios de almacenamiento volátil incluyen una memoria dinámica, tal como una memoria principal de una plataforma informática de este tipo. Los medios de transmisión tangibles incluyen cables coaxiales; hilo de cobre y fibra óptica, incluyendo los hilos que comprenden un bus dentro de un sistema informático. Los medios de transmisión por ondas portadoras pueden adoptar la forma de señales eléctricas o electromagnéticas, u ondas acústicas o de luz tales como las que se generan durante las comunicaciones de datos de radiofrecuencia (RF) y de infrarrojos (IR). Por lo tanto, las formas comunes de medios legibles por ordenador incluyen, por ejemplo: un disquete flexible, un disco flexible, un disco duro, cinta magnética, cualquier otro medio magnético, un CD-ROM, un DVD o un DVD-ROM, cualquier otro medio óptico, cinta de papel de tarjetas perforadas, cualquier otro medio de almacenamiento físico con patrones de orificios, una RAM, una ROM, una PROM y una EPROM, una FLASH - EPROM, cualquier otro cartucho o chip de memoria, una onda portadora que transporta datos o instrucciones, cables o enlaces que transportan una onda portadora de este tipo, o cualquier otro medio a partir del cual un ordenador pueda leer datos y / o un código de programación. Muchas de estas formas de medios legibles por ordenador se pueden ver involucradas en el transporte de una o más secuencias de una o más instrucciones a un procesador para su ejecución.

Diversos parámetros de un sistema de almacenamiento de energía se pueden presentar a un usuario en una interfaz de usuario (UI, *user interface*) de un dispositivo electrónico del usuario. Los ejemplos de las UI incluyen, sin limitación, una interfaz gráfica de usuario (GUI, *graphical user interface*) y una interfaz de usuario basada en web. La UI (por ejemplo, GUI) se puede proporcionar en un visualizador de un dispositivo electrónico del usuario. El visualizador puede ser un visualizador táctil capacitiva o resistiva. Tales visualizadores se pueden usar con otros sistemas y métodos de la divulgación.

Los métodos de la divulgación se pueden facilitar con la ayuda de aplicaciones (*app*) que se pueden instalar en los dispositivos electrónicos de un usuario. Una *app* puede incluir una GUI en un visualizador del dispositivo electrónico del usuario. La *app* se puede programar o configurarse de otro modo para llevar a cabo diversas funciones del sistema.

Métodos para transportar sistemas de almacenamiento de energía

Otro aspecto de la presente divulgación proporciona métodos para transportar sistemas de almacenamiento de energía. En algunos casos, los dispositivos de almacenamiento de energía se transportan con unos electrodos de metal fundido (por ejemplo, a una temperatura alta de al menos 250 °C, al menos 400 °C, al menos 500 °C, o al menos 600 °C). Los dispositivos de almacenamiento de energía también se pueden transportar a la temperatura ambiente (por ejemplo, con los electrodos siendo sólidos y no estando fundidos) y calentarse en el sitio de funcionamiento para fundir los electrodos de metal.

Los dispositivos de almacenamiento de energía se pueden transportar de cualquier forma adecuada incluyendo completamente montada o en piezas que se van a montar en el sitio de funcionamiento. Los dispositivos de almacenamiento de energía se pueden transportar en cualquier vehículo adecuado, tal como un camión (incluyendo en un remolque del que tira un camión), en un tren, en un barco, en un avión, en un helicóptero, por medio de un robot, y similares. La figura 6 muestra un dispositivo de almacenamiento de energía 605 que se monta 600 y se coloca en un vehículo 610. En este caso, el vehículo incluye un camión 615 y un remolque 620 del que tira el camión. El vehículo puede transportar el dispositivo de almacenamiento de energía 625 desde una ubicación inicial 630 hasta un sitio de instalación y / o funcionamiento 635 a lo largo de cualquier trayectoria adecuada (por ejemplo, a lo largo de carreteras, vías de ferrocarril, rutas de transporte marítimo y similares).

Los dispositivos de almacenamiento de energía se pueden transportar cualquier distancia tal como al menos aproximadamente 1 milla (1,61 km), al menos aproximadamente 10 millas (16,1 km), al menos aproximadamente 100 millas (161 km), al menos aproximadamente 1.000 millas (1610 km) o al menos aproximadamente 10.000 millas

5 (16100 km). Los dispositivos de almacenamiento de energía se pueden transportar a cualquier velocidad, incluyendo al menos aproximadamente 5 millas por hora (mph) (2,24 m / s), al menos aproximadamente 10 mph (4,47 m / s), al menos aproximadamente 20 mph (8,94 m / s), al menos aproximadamente 40 mph (17,88 m / s), al menos aproximadamente 60 mph (26,82 m / s), al menos aproximadamente 150 mph (67,06 m / s), o al menos aproximadamente 500 mph (224 m / s).

10 Un dispositivo de almacenamiento de energía de la presente divulgación, incluyendo una celda electroquímica ("celda") del dispositivo de almacenamiento de energía, se puede configurar para su transporte. En algunos casos, la celda no tiene una tensión y no puede dejar pasar la corriente mientras se está transportando (por ejemplo, en un camión a la temperatura ambiente). La celda puede no tener una tensión apreciable o detectable durante el transporte, y la celda puede no dejar pasar una corriente apreciable o detectable durante el transporte. Esto puede ser ventajoso debido a que las celdas son eléctricamente inertes y no se pueden poner en cortocircuito.

15 Una celda electroquímica puede comprender unos componentes químicos que generan una diferencia de potencial cuando se calienta un sistema que comprende la celda (por ejemplo, hasta aproximadamente 250 °C o 450 °C o 500 °C). Mientras se encuentra a la temperatura ambiente, el electrolito en la celda puede ser sólido y / o no tener la capacidad de conducir los iones que son necesarios para facilitar las reacciones o bien de carga o bien de descarga. El sistema no deja pasar corriente (por ejemplo, incluso si los terminales de electrodo se ponen en cortocircuito), y no tiene una tensión de celda inherente. Cuando se eleva la temperatura, el electrolito no acuoso (no a base de agua) se funde y / o se vuelve un conductor iónico, posibilitando de este modo que la celda acepte o proporcione corriente y carga o descarga. Cuando se encuentra a la temperatura de funcionamiento y cuando el electrolito está fundido o es iónicamente conductor y si la celda se encuentra por encima de un estado de carga de un 0 %, la batería puede tener una tensión de celda distinta de cero de aproximadamente 0,9 voltios en algunos casos.

25 Una ventaja de una celda que no muestra una tensión de celda y es incapaz de aceptar o suministrar corriente mientras se encuentra a la temperatura ambiente es que se reducen los riesgos de seguridad que están asociados con el transporte marítimo de baterías. Incluso en el caso en el que las celdas estén compactadas y estén puestas en cortocircuito de forma externa, las celdas no se descargan y no se pueden cargar.

30 En algunos casos, el sistema comprende un crisol metálico que actúa como un electrodo y una región dieléctricamente separada que forma el segundo electrodo. A la temperatura ambiente, los electrodos están físicamente separados por medio de productos químicos sólidos que son inertes y no generan de forma inherente un potencial entre los dos electrodos. A medida que se eleva la temperatura, algunas porciones del electrolito sólido pueden experimentar un cambio en las características eléctricas (tal como una transición de fase) que da como resultado que se forme una diferencia de potencial entre los electrodos. Cuando la temperatura se mantiene dentro de aproximadamente este intervalo, el sistema puede tener la capacidad de proporcionar a modo de fuente (descargar) o de recibir a modo de sumidero (recargar) corriente. Cuando la temperatura se lleva de vuelta a la temperatura ambiente, los medios químicos pueden experimentar otra transición de fase que lleva la diferencia de potencial a cero entre los electrodos y también aumenta la resistencia iónica, lo que evita el flujo de corriente.

40 Los dispositivos de almacenamiento de energía (o baterías) de la presente divulgación pueden ser fehacientemente seguros durante el transporte y el manejo desde una ubicación de recogida a una ubicación de entrega. Los cortocircuitos físicos u otras condiciones de uso inapropiado inducidas de forma externa (por ejemplo, perforación, choque, vibración, etc.) tienen de poco a ningún efecto sobre la seguridad o el funcionamiento del sistema cuando estas condiciones se inducen a la temperatura ambiente.

50 Un dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de la presente divulgación (incluyendo una celda del dispositivo) puede no tener la capacidad de cargarse, descargarse o tener un potencial eléctrico durante el transporte. Esto se puede llevar a cabo por medio del transporte (o el transporte marítimo) del dispositivo de almacenamiento de energía a una temperatura que se reduce con respecto a una temperatura de funcionamiento del dispositivo de almacenamiento de energía.

55 Por ejemplo, un dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía puede comprender un ánodo y un cátodo, y un electrolito entre el ánodo y el cátodo. El dispositivo puede no tener la capacidad de conducir iones a una primera temperatura y tener la capacidad de conducir iones a una segunda temperatura. La primera temperatura se puede mantener durante el transporte del dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía.

60 El ánodo puede comprender litio, potasio, magnesio y / o calcio. El cátodo puede comprender antimonio, estaño, telurio, bismuto y / o plomo.

En algunas formas de realización, al menos parte del dispositivo es un sólido a la primera temperatura y un líquido a la segunda temperatura. La al menos parte del dispositivo puede ser un electrolito.

65 En algunos casos, la primera temperatura es la temperatura ambiente. En algunos casos, la primera temperatura es menor que aproximadamente 100 °C. En algunos casos, la segunda temperatura es al menos aproximadamente 250 °C. En algunos casos, la segunda temperatura es al menos aproximadamente 500 °C.

5 El dispositivo de la presente divulgación puede no tener la capacidad de cargarse, descargarse o tener un potencial eléctrico a la primera temperatura. En algunos casos, el dispositivo tiene un terminal positivo y un terminal negativo, y la puesta en cortocircuito de los terminales no descarga el dispositivo a la primera temperatura. En algunos casos, el dispositivo no se descarga cuando el dispositivo se perfora, se somete a vibración, se somete a cortocircuito o se somete a choque.

10 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía comprende un electrodo negativo y un electrodo positivo, y un electrolito entre los electrodos negativo y positivo. El dispositivo tiene una primera diferencia de potencial entre los electrodos a una primera temperatura de menos de aproximadamente 50 °C y una segunda diferencia de potencial entre los electrodos a una segunda temperatura de al menos aproximadamente 250 °C. La segunda diferencia de potencial es mayor que la primera diferencia de potencial.

15 En algunos casos, la primera diferencia de potencial es menor que o igual a aproximadamente 2,5 voltios, 2 voltios, 1,5 voltios, 1,2 voltios, 1 voltio, 0,9 voltios, 0,8 voltios, 0,7 voltios, 0,6 voltios, 0,5 voltios, 0,4 voltios, 0,3 voltios, 0,2 voltios, 0,1 voltios, o menos. La primera diferencia de potencial puede ser de aproximadamente 0 voltios.

20 La segunda tensión puede ser mayor que 0 voltios, o mayor que o igual a aproximadamente 0,1 voltios, 0,2 voltios, 0,3 voltios, 0,4 voltios, 0,5 voltios, 0,6 voltios, 0,7 voltios, 0,8 voltios, 0,9 voltios, 1 voltio, 1,2 voltios, 1,5 voltios, 2 voltios, o 2,5 voltios.

El electrodo negativo puede comprender litio, potasio, magnesio y / o calcio. El electrodo positivo puede comprender antimonio, estaño, telurio, bismuto y / o plomo.

25 El dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de la presente divulgación puede estar comprendido en una agrupación de dispositivos de almacenamiento de energía como parte de un sistema de almacenamiento de energía. En algunos casos, el dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía es una celda de almacenamiento de energía, y el sistema de almacenamiento de energía comprende una pluralidad de celdas de almacenamiento de energía.

30 La presente divulgación proporciona métodos para transportar dispositivos de almacenamiento de energía, e instalar los dispositivos de almacenamiento de energía para su uso en un sistema de almacenamiento de energía. El sistema de almacenamiento de energía se puede acoplar eléctricamente con una fuente de alimentación y una carga, tal como, por ejemplo, una red de distribución eléctrica. El sistema de almacenamiento de energía puede almacenar energía a partir de la fuente de alimentación para su uso con la carga.

35 La figura 7 ilustra un método 700 para formar un sistema de almacenamiento de energía de la presente divulgación. El método 700 comprende, en una primera operación 701, formar, en una primera ubicación, un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un electrodo negativo y un electrodo positivo, y un electrolito entre el electrodo negativo y el electrodo positivo, y colocar el dispositivo de almacenamiento de energía en un vehículo (por ejemplo, un camión, un tren) que está configurado para transportar el dispositivo de almacenamiento de energía desde la primera ubicación hasta una segunda ubicación. El dispositivo de almacenamiento de energía puede ser tal como se describe en alguna otra parte en el presente documento. Por ejemplo, cada uno del electrodo negativo, el electrodo positivo y el electrolito se puede formar de un material que se encuentra en el líquido a una temperatura de funcionamiento del dispositivo de almacenamiento de energía.

40 A continuación, en una segunda operación 702, el método 700 comprende usar el vehículo para transportar el dispositivo de almacenamiento de energía desde la primera ubicación hasta la segunda ubicación. A continuación, en una tercera operación 703, en la segunda ubicación el dispositivo de almacenamiento de energía se puede retirar del vehículo. El dispositivo de almacenamiento de energía se puede situar posteriormente en una ubicación de instalación y, en algunos casos, instalarse en el sistema de almacenamiento de energía en la ubicación de instalación.

45 En algunos ejemplos, el dispositivo de almacenamiento de energía se puede acoplar eléctricamente con una fuente de alimentación. La fuente de alimentación se puede seleccionar de entre el grupo que consiste en una central eléctrica (por ejemplo, una central eléctrica nuclear, una central eléctrica alimentada por carbón, una central eléctrica alimentada por combustible), una turbina eólica, un sistema fotovoltaico, un sistema geotérmico y un sistema de energía undimotriz. La fuente de alimentación se puede configurar para generar potencia a partir de una fuente de energía renovable o una fuente de energía no renovable.

50 El dispositivo de almacenamiento de energía de la presente divulgación se puede acoplar eléctricamente con una carga, tal como una red de distribución eléctrica. Entonces, el dispositivo de almacenamiento de energía se puede emplear para entregar potencia a la carga y / o almacenar energía a partir de la fuente de alimentación.

55 Durante el transporte, una diferencia de potencial entre el electrodo positivo y el electrodo negativo puede ser menor que aproximadamente 1 voltio, 0,9 voltios, 0,8 voltios, 0,7 voltios, 0,6 voltios, 0,5 voltios, 0,4 voltios, 0,3 voltios, 0,2

voltios, 0,1 voltios, o menos. En algunos ejemplos, la diferencia de potencial puede ser de aproximadamente 0 voltios. La diferencia de potencial puede ser menor que 1 voltio, 0,9 voltios, 0,8 voltios, 0,7 voltios, 0,6 voltios, 0,5 voltios, 0,4 voltios, 0,3 voltios, 0,2 voltios, 0,1 voltios, o menos (por ejemplo, 0 voltios) a una temperatura (la "temperatura de transporte") que es menor que la temperatura de funcionamiento del dispositivo de almacenamiento de energía. El dispositivo de almacenamiento de energía se puede transportar con el dispositivo de almacenamiento de energía a la temperatura de transporte.

Dispositivos electroquímicos de almacenamiento de energía de metal líquido

Las celdas electroquímicas que tienen unos electrodos fundidos que tienen un metal alcalino pueden proporcionar la recepción y entrega de potencia mediante el transporte de átomos del metal alcalino entre los entornos de electrodo de unos potenciales químicos dispares a través de una ruta electroquímica que comprende una sal del metal alcalino. El potencial químico del metal alcalino se disminuye cuando se combina con uno o más metales no alcalinos, produciendo de este modo una tensión entre un electrodo que comprende el metal alcalino fundido y el electrodo que comprende los metales alcalino / no alcalino combinados. Algunos detalles adicionales de las baterías se pueden hallar en la publicación de patente de EE. UU. con n.º 2012/0104990, que se incorpora por la presente por referencia en su totalidad.

En algunos casos, una celda electroquímica tiene tres fases diferenciadas. La primera fase define un electrodo positivo que tiene al menos un elemento que no sea un metal alcalino. La segunda fase incluye cationes del metal alcalino, y define dos interfases separadas. La primera fase se encuentra en contacto con la segunda fase en una de las interfases. La tercera fase define un electrodo negativo e incluye el metal alcalino. Esta se encuentra separada con respecto a la primera fase y en contacto con la segunda fase en la otra interfase. La primera y la tercera fases tienen unos volúmenes respectivos que disminuyen o aumentan uno a costa de otro durante el funcionamiento de la celda. Como resultado, la segunda fase se desplaza desde una primera posición hasta una segunda posición. La primera, la segunda y la tercera fases pueden ser sólidas, líquidas o encontrarse en una combinación de estados sólidos o líquidos. En algunas formas de realización preferidas, el metal alcalino se encuentra presente a unos potenciales químicos dispares respectivos en la primera y la tercera fases, lo que da origen a una tensión entre la primera y la tercera fases.

Una forma de realización incluye una celda electroquímica que tiene dos fases diferenciadas. La primera fase define un electrodo positivo e incluye un metal alcalino, y otros dos elementos que no sean el metal alcalino. La segunda fase líquida incluye cationes del metal alcalino, y define dos interfases separadas. La primera fase se encuentra en contacto con la segunda fase en una de las interfases. En algunas formas de realización, la primera y la segunda fases son sólidas. En otras formas de realización, la primera y la segunda fases son líquidas. En otras formas de realización, las fases se encuentran en una combinación de estados sólidos o líquidos. El metal alcalino se selecciona preferiblemente para mostrar un cambio en el potencial químico cuando se combina con el primer y el segundo elementos. Durante el funcionamiento de la celda para entregar o extraer energía eléctrica para impulsar la transferencia del metal alcalino a o desde la segunda fase líquida a o desde la primera fase líquida, la primera fase tiene un volumen que aumenta o disminuye, transfiriendo de este modo una energía a o desde la celda electroquímica a o desde un circuito externo. Como resultado, la segunda fase se desplaza desde una primera posición hasta una segunda posición.

En algunos casos, los dos elementos que no sean el metal alcalino se seleccionan de forma independiente de entre los elementos del grupo IVA, VA y VIA de la tabla química periódica. En algunas formas de realización, estos elementos se seleccionan de forma independiente de entre uno de estaño, plomo, bismuto, antimonio, telurio y selenio. En otras formas de realización, estos elementos son plomo y antimonio. El metal alcalino puede ser sodio o litio o potasio. La segunda fase puede incluir unas partículas refractarias que se distribuyen por la totalidad de la segunda fase líquida. Además, las partículas refractarias pueden incluir un óxido de metal o un nitruro de metal, o combinaciones de los mismos.

La segunda fase puede incluir una sal del metal alcalino. La sal del metal alcalino se puede seleccionar de entre uno o más de haluro, bistriflimida, fluorosulfano - amina, perclorato, hexafluorofosfato, tetrafluoroborato, carbonato o hidróxido.

En algunos casos, un método almacena energía eléctrica que se transfiere desde un circuito externo. Para ese fin, el método proporciona al menos una celda electroquímica que tiene tres fases líquidas. La primera fase líquida define un electrodo positivo e incluye al menos un elemento que no sea un metal alcalino. La segunda fase líquida incluye cationes del metal alcalino, y define dos interfases separadas. La primera fase se encuentra en contacto con la segunda fase en una de las interfases. La tercera fase líquida define un electrodo negativo e incluye el metal alcalino. Esta se encuentra separada con respecto a la primera fase y en contacto con la segunda fase en la otra interfase. La celda electroquímica está configurada para conectarse con el circuito externo. El circuito externo se conecta eléctricamente con un polo negativo y un polo positivo de la celda electroquímica. Se acciona el circuito externo, lo que impulsa la energía eléctrica que impulsa la transferencia del metal alcalino a o desde la primera fase líquida, a través de la segunda fase líquida, y a o desde la tercera fase líquida. La primera fase tiene un volumen que disminuye o aumenta mientras que la tercera fase tiene un volumen que disminuye o aumenta de forma respectiva,

transfiriendo de este modo una energía a y desde el circuito externo a la celda electroquímica. Como resultado, la segunda fase se desplaza desde una primera posición hasta una segunda posición.

5 Un método de la presente divulgación puede liberar energía eléctrica a partir de la celda electroquímica a un circuito externo. El método incluye proporcionar al menos una celda electroquímica que tiene tres fases líquidas. La primera fase líquida define un electrodo positivo e incluye dos elementos que no sean un metal alcalino. La segunda fase líquida incluye cationes del metal alcalino, y define dos interfases separadas. La primera fase se encuentra en contacto con la segunda fase en una de las interfases. La tercera fase líquida define un electrodo negativo e incluye el metal alcalino. Esta se encuentra separada con respecto a la primera fase y en contacto con la segunda fase en la otra interfase. La celda electroquímica está configurada para conectarse de forma secuencial con circuitos externos. Los circuitos externos se conectan eléctricamente con un polo negativo y un polo positivo de la celda electroquímica. Los circuitos externos se accionan de forma secuencial para impulsar la energía eléctrica para impulsar la transferencia del metal alcalino a o desde la tercera fase líquida, a través de la segunda fase líquida, y a o desde la primera fase líquida, la primera fase tiene un volumen que aumenta o disminuye mientras que la tercera fase tiene un volumen que disminuye o aumenta de forma respectiva, transfiriendo de este modo una energía a o desde la celda electroquímica a o desde los circuitos externos. Como resultado, la segunda fase se desplaza desde una primera posición hasta una segunda posición.

20 Un aparato y método electroquímico de la presente divulgación para el almacenamiento de energía eléctrica de alto amperaje puede presentar una química de alta temperatura y completamente en estado líquido. Los productos de reacción que se crean durante la carga pueden seguir siendo parte de los electrodos durante el almacenamiento para una descarga a demanda. En una celda de electrodeposición ambipolar simultánea, un compuesto de reacción se puede electrolizar para efectuar la transferencia a partir de una fuente de alimentación externa. Los elementos de electrodo se electrodisuelven durante la descarga. Algunos detalles adicionales de las baterías de metal líquido se pueden hallar en la publicación de patente de EE. UU. con n.º 2008/0044725.

30 Las celdas electroquímicas de la presente divulgación que tienen unos electrodos fundidos que comprenden un metal alcalinotérrico pueden proporcionar la recepción y entrega de potencia mediante el transporte de átomos del metal alcalinotérrico entre los entornos de electrodo de unos potenciales químicos de metal alcalinotérrico dispares. Algunos detalles adicionales de las baterías de metal alcalinotérrico se pueden hallar en la publicación de patente de EE. UU. con n.º 2011/0014503.

35 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende al menos una celda electroquímica que tiene una temperatura de funcionamiento, comprendiendo la al menos una celda electroquímica: (a) un electrodo negativo líquido que comprende un primer metal; (b) un electrolito líquido adyacente al electrodo negativo líquido; y (c) un electrodo positivo líquido adyacente al electrolito líquido, comprendiendo el electrodo positivo líquido un segundo metal elemental que es diferente del primer metal. El electrolito líquido puede comprender una especie cargada del primer metal y una especie cargada de forma opuesta del segundo metal, y el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

40 El primer metal y / o el segundo metal puede ser un metal elemental (es decir, no una aleación o un compuesto).

45 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un primer material y un segundo material, en donde los materiales son líquidos a la temperatura de funcionamiento del dispositivo, los materiales conducen la electricidad, los materiales tienen unas densidades diferentes y los materiales reaccionan entre sí para formar un compuesto de reacción mutua, y el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

50 En algunos casos, el electrolito tiene una energía libre de formación más negativa que la del compuesto de reacción mutua. En algunas formas de realización, el electrolito comprende adicionalmente unos aditivos que bajan la temperatura de fusión del electrolito, reducen la viscosidad del electrolito, potencian la conductividad iónica a través del electrolito, inhiben la conductividad electrónica a través del electrolito o cualquier combinación de las mismas.

55 El primer material o el segundo material puede comprender adicionalmente unos aditivos que posibilitan la supervisión electroquímica del grado de descarga del dispositivo.

60 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende una sal fundida, en donde un conductor electrónico líquido se extrae de la sal fundida por oxidación y un metal se extrae de la sal fundida por reducción y el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

En algunos casos, el conductor electrónico líquido es antimonio. En algunas formas de realización, el metal electrónico líquido es magnesio.

65 En otro aspecto de la presente divulgación, una celda electrometalúrgica comprende un electrodo positivo y un electrodo negativo, en donde los electrodos son líquidos, los reactivos de las reacciones que tienen lugar en los

electrodos son líquidos, y los productos de las reacciones que tienen lugar en los electrodos son líquidos, y en donde la celda electrometalúrgica tiene la capacidad de ser transportada en un camión.

5 En algunos casos, un electrodo comprende un material y una reacción que tiene lugar en el electrodo produce el material, agrandando de ese modo el electrodo. En algunas formas de realización, un electrodo comprende un material y una reacción que tiene lugar en el electrodo consume el material, consumiendo de ese modo el electrodo. En algunas formas de realización, los electrodos no comprenden un sólido.

10 Los productos de las reacciones que tienen lugar en los electrodos pueden no comprender un gas. En algunas formas de realización, la celda tiene una densidad de corriente de al menos 100 mA / cm² y una eficiencia de al menos un 60 %, al menos un 70 %, al menos un 80 % o al menos un 90 %.

15 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía que tiene la capacidad de ser transportado en un camión y que tiene una capacidad de potencia de mayor que 1 MW comprende: (a) una planta física más pequeña que aproximadamente 100 m² / MW; (b) un ciclo de vida mayor que 3000 ciclos de descarga profunda; (c) una vida útil de al menos 10 años; (d) una eficiencia de CC a CC de al menos un 65 %; (e) una capacidad de descarga de como máximo 10 horas; y (f) un tiempo de respuesta de menos de 100 milisegundos.

20 El dispositivo de almacenamiento de energía de la presente divulgación puede comprender un metal líquido. En algunos casos, el dispositivo comprende un ánodo de metal líquido, un cátodo de metal líquido y un electrolito de metal líquido. El dispositivo se puede transportar con algo o la totalidad del ánodo, el cátodo y el electrolito encontrándose en el estado sólido.

25 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un electrodo líquido, comprendiendo el electrodo un aditivo, en donde el electrodo se consume y el aditivo se concentra por medio del accionamiento del dispositivo, y en donde una propiedad del dispositivo se determina por medio de la concentración del aditivo, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

30 En algunos casos, la propiedad del dispositivo es el grado de descarga del dispositivo. En algunas formas de realización, el aditivo comprende plomo. En algunas formas de realización, la tensión en abierto de la celda cae cuando se concentra el aditivo.

35 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un electrodo de antimonio líquido, un recipiente de acero y una capa de antimonio de hierro que se dispone entre los mismos, en donde el dispositivo se acciona a menos de 738 °C, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

40 En algunos casos, el antimonio de hierro es electrónicamente conductor y protege el acero frente a la corrosión.

45 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un electrodo líquido y un colector de corriente en contacto con el electrodo, en donde el electrodo líquido se consume en una reacción durante el funcionamiento del dispositivo, y en donde la cantidad de electrodo líquido se encuentra en un exceso estequiométrico en relación con otros reactivos de la reacción de tal modo que el colector de corriente se encuentra en contacto con el electrodo líquido cuando la reacción ha procedido hasta su compleción, y en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

El colector de corriente puede ser un colector de corriente negativo y la reacción comprende descargar el dispositivo.

50 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un metal alcalinotérreo que se encuentra presente en cada uno de un electrodo positivo, un electrodo negativo y un electrolito líquido, en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

55 En algunos casos, el metal alcalinotérreo se encuentra a tres potenciales químicos dispares en el electrodo positivo, el electrodo negativo y el electrolito líquido. En algunos casos, el metal alcalinotérreo es un haluro en el electrolito. En algunos casos, el metal alcalinotérreo es una aleación en el electrodo positivo. En algunos casos, el metal alcalinotérreo es elemental en el electrodo negativo.

60 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un metal alcalinotérreo que se encuentra presente en cada una de una forma elemental, una forma de aleación y una forma de haluro, en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

65 En algunos casos, la forma elemental (por ejemplo, no aleada o una sal) se halla en un electrodo negativo del dispositivo. En algunas formas de realización, la forma de aleación se halla en un electrodo positivo del dispositivo.

En algunas formas de realización, la forma de haluro (por ejemplo, sal de cloruro) se halla en un electrolito del dispositivo.

5 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un ánodo líquido, un cátodo líquido y un electrolito líquido que se dispone entre los mismos, en donde el espesor del electrolito es sustancialmente constante a través de un ciclo de carga - descarga del dispositivo, y el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión. El espesor puede variar cualquier cantidad adecuada durante el funcionamiento del dispositivo incluyendo variar menos de un 20 %, menos de un 10 %, menos de un 5 % o menos de un 2 %.

10 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un ánodo líquido, un cátodo líquido y un electrolito líquido que se dispone entre los mismos, en donde el espesor del electrolito es menor que un 50 % del espesor del cátodo o el ánodo, y el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

15 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un ánodo líquido, un cátodo líquido, un electrolito líquido, y un productor de circulación que está configurado para generar una circulación dentro de al menos uno de los líquidos, en donde el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

20 En algunas formas de realización, la temperatura en el interior del dispositivo es mayor que la temperatura en el exterior del dispositivo y el productor de circulación es un material térmicamente conductor que se extiende desde la parte interior del dispositivo hasta la parte exterior del dispositivo.

25 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un electrodo líquido que comprende un metal alcalinotérreo elemental y un electrolito que comprende un haluro del metal alcalinotérreo, en donde el electrolito comprende adicionalmente unos ligandos complejantes, y el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

30 Los ligandos complejantes pueden reducir la solubilidad del metal alcalinotérreo elemental en el haluro del metal alcalinotérreo.

35 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un alojamiento conductor que comprende un ánodo líquido conductor, un cátodo líquido conductor y un electrolito que se dispone entre los mismos, en donde la superficie interior del recipiente no está aislada eléctricamente, y el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

40 En algunos casos, el dispositivo comprende adicionalmente una estructura eléctricamente conductora que mantiene el ánodo líquido conductor o el cátodo líquido conductor lejos de la superficie interior del recipiente. En algunos casos, el ánodo líquido conductor o el cátodo líquido conductor está asociado con la estructura al menos en parte por las fuerzas de tensión superficial.

45 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un ánodo que comprende un primer líquido electrónicamente conductor y un cátodo que comprende un segundo líquido electrónicamente conductor, en donde el dispositivo está configurado para impedir el mezclado de los líquidos electrónicamente conductores, y el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

50 En algunos casos, los líquidos electrónicamente conductores no se mezclan cuando se agita o se inclina el dispositivo. En algunos casos, el dispositivo comprende adicionalmente un separador de electrodo que se dispone entre los líquidos electrónicamente conductores. En algunos casos, el dispositivo comprende adicionalmente un electrolito líquido, el electrolito líquido humedece el separador de electrodo, y los líquidos electrónicamente conductores no humedecen el separador. En algunas formas de realización, el separador de electrodo flota en o sobre el electrolito cuando el dispositivo se carga o se descarga.

55 En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un electrodo negativo que comprende un metal alcalino, un electrodo positivo que comprende el metal alcalino y uno o más elementos adicionales y un electrolito líquido que se dispone entre los electrodos, en donde el electrolito no se ha agotado tras la carga o descarga del dispositivo, y el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

60 Al menos uno de los electrodos puede ser líquido a una temperatura de funcionamiento del dispositivo. En algunos casos, el electrodo positivo comprende al menos dos elementos adicionales de tal modo que el electrodo positivo comprende al menos dos elementos cuando se agota completamente el metal alcalino del electrodo positivo. En algunos casos, el metal alcalino es litio, sodio, potasio, o cualquier combinación de los mismos.

65

En algunos casos, los uno o más elementos adicionales forman una aleación con el metal alcalino o existen en un compuesto con el metal alcalino a una temperatura de funcionamiento del dispositivo. En algunas formas de realización, los uno o más elementos adicionales tienen una electronegatividad más baja que la del metal alcalino. En algunos casos, el electrolito comprende una sal del metal alcalino. La temperatura de funcionamiento del dispositivo es cualquier temperatura adecuada de tal modo que los electrodos están fundidos (por ejemplo, menos de 600 °C).

En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un electrodo de metal líquido, un segundo electrodo de metal que puede ser un líquido y un electrolito que se dispone entre los electrodos, en donde el electrolito es una pasta, y el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un electrodo negativo líquido que comprende un metal alcalino, un electrodo positivo líquido que comprende una aleación del metal alcalino y un electrolito que se dispone entre los electrodos, en donde el electrolito comprende una sal del metal alcalino y unas partículas y el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

Las partículas pueden comprender óxido de aluminio u óxido de magnesio. En algunos casos, el electrolito es una pasta.

En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un ánodo de metal, un cátodo de metal y un electrolito que se dispone entre los electrodos, en donde el ánodo, el cátodo y el electrolito son líquidos a una temperatura de funcionamiento del dispositivo y la temperatura de funcionamiento del dispositivo es menor que 500 °C, y el dispositivo de almacenamiento de energía tiene la capacidad de ser transportado en un camión.

En algunos casos, la temperatura de funcionamiento del dispositivo es menor que 250 °C.

En otro aspecto de la presente divulgación, un método para cargar un dispositivo de almacenamiento de energía comprende conectar un circuito de carga externo con unos terminales del dispositivo de almacenamiento de energía que tiene la capacidad de ser transportado en un camión de tal modo que un metal alcalino activo se mueve de un electrodo positivo, a través de un electrolito, a un electrodo negativo que comprende un metal que tiene un potencial químico más alto que el electrodo positivo.

En algunos casos, el metal alcalino activo es litio, sodio, potasio, o cualquier combinación de los mismos.

En otro aspecto de la presente divulgación, un método para descargar un dispositivo de almacenamiento de energía comprende conectar una carga externa con unos terminales del dispositivo de almacenamiento de energía que tiene la capacidad de ser transportado en un camión de tal modo que un metal alcalino activo se mueve de un electrodo negativo, a través de un electrolito como cationes, a un electrodo positivo en donde el metal alcalino activo forma un metal neutro que tiene un potencial químico más bajo que el electrodo negativo.

En algunos casos, el metal alcalino activo es litio, sodio, potasio, o cualquier combinación de los mismos.

En otro aspecto de la presente divulgación, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un electrodo de metal líquido, un electrolito y un colector de corriente en contacto con el electrodo, en donde el colector de corriente comprende un material que presenta una humectabilidad más alta con el metal líquido que con el electrolito. En algunas formas de realización, el material es una espuma.

Los dispositivos de almacenamiento de energía de la presente divulgación se pueden usar en escenarios a escala de la red de distribución eléctrica o en escenarios autónomos. Un dispositivo de almacenamiento de energía de la divulgación se puede usar, en algunos casos, para alimentar vehículos, tales como scooters, motocicletas, coches, camiones, trenes, helicópteros, aviones, y otros dispositivos mecánicos, tales como robots.

Los sistemas, aparatos y métodos de la divulgación se pueden combinar con o modificarse por medio de otros sistemas, aparatos y / o métodos, tales como baterías y componentes de batería que se describen, por ejemplo, en la patente de EE. UU. con n.º 3.663.295 ("STORAGE BATTERY ELECTROLYTE"), la patente de EE. UU. con n.º 8.268.471 ("HIGH-AMPERAGE ENERGY STORAGE DEVICE WITH LIQUID METAL NEGATIVE ELECTRODE AND METHODS"), la publicación de patente de EE. UU. con n.º 2011/0014503 ("ALKALINE EARTH METAL ION BATTERY"), la publicación de patente de EE. UU. con n.º 2011/0014505 ("LIQUID ELECTRODE BATTERY"), la publicación de patente de EE. UU. con n.º 2012/0104990 ("ALKALI METAL ION BATTERY WITH BIMETALLIC ELECTRODE") y la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 13/801.333 ("ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE DEVICES"), que fue publicada el 13 de marzo de 2013.

5 Se ha de entender que la terminología que se usa en el presente documento se usa para el fin de describir formas de realización específicas, y no se tiene por objeto que limite el alcance de la presente invención. Se debería hacer notar que, tal como se usan en el presente documento, las formas singulares de “un”, “una” y “el / la” incluyen referencias plurales a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Además, a menos que se defina lo contrario, todas las expresiones técnicas y científicas que se usan en el presente documento tienen el mismo significado que sería entendido habitualmente por un experto en la materia a la que pertenece la presente invención.

10 Se ha de entender a partir de lo anterior que, a pesar de que se han ilustrado y descrito algunas puestas en práctica particulares, en el presente documento se pueden hacer y se contemplan diversas modificaciones a las mismas. Asimismo, no se tiene por objeto que la invención quede limitada por los ejemplos específicos que se proporcionen dentro de la memoria descriptiva. A pesar de que la invención se ha descrito con referencia a la memoria descriptiva que se ha mencionado en lo que antecede, no se tiene por objeto que las descripciones e ilustraciones de las formas de realización preferibles en el presente documento se interpreten en un sentido limitante. Además, se ha de entender que todos los aspectos de la invención no se limitan a las representaciones, configuraciones o proporciones relativas específicas que se exponen en el presente documento, que dependen de una diversidad de condiciones y variables. Diversas modificaciones en la forma y en el detalle de las formas de realización de la invención serán evidentes a un experto en la materia. Por lo tanto, se contempla que la invención también ha de cubrir cualesquiera de tales modificaciones, variaciones y equivalentes. Se tiene por objeto que las siguientes reivindicaciones definan el alcance de la invención y que los métodos y las estructuras dentro del alcance de estas reivindicaciones y sus equivalentes queden cubiertos por las mismas.

15

20

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía que comprende un recipiente que incluye un electrodo negativo, un electrodo positivo y un electrolito que se dispone entre dichos electrodos negativo y positivo, en donde el dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía tiene una primera diferencia de potencial entre los electrodos negativo y positivo a una primera temperatura que es menor que aproximadamente 50 °C y una segunda diferencia de potencial entre los electrodos negativo y positivo a una segunda temperatura de al menos aproximadamente 250 °C, en donde la segunda diferencia de potencial es mayor que la primera diferencia de potencial, en donde al menos dos del electrodo positivo, el electrolito y el electrodo negativo son líquidos a la segunda temperatura, en donde el recipiente tiene una relación de área superficial con respecto a volumen de menos de o igual a aproximadamente 100 m⁻¹.
2. El dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de la reivindicación 1, en donde la primera diferencia de potencial se selecciona de entre el grupo que comprende: aproximadamente 0 voltios; y menor que o igual a aproximadamente 0,5 voltios.
3. El dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de la reivindicación 1 o 2, en donde la segunda diferencia de potencial se selecciona de entre el grupo que comprende: mayor que 0 voltios; mayor que 0,5 voltios; mayor que 0,8 voltios; y mayor que o igual a 0,9 voltios.
4. El dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de la reivindicación 1, 2 o 3, en donde (i) el electrodo negativo comprende litio, sodio, potasio, magnesio y / o calcio, o (ii) el electrodo positivo comprende antimonio, estaño, telurio, bismuto y / o plomo.
5. El dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de cualquier reivindicación anterior, en donde el dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía está comprendido en una agrupación de dispositivos de almacenamiento de energía como parte de un sistema de almacenamiento de energía.
6. El dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de cualquier reivindicación anterior, en donde el electrodo negativo es líquido a la segunda temperatura.
7. El dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de cualquier reivindicación anterior, en donde el electrolito es líquido a la segunda temperatura.
8. El dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de cualquier reivindicación anterior, en donde el dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía tiene una capacidad de almacenamiento de energía de al menos aproximadamente 1 kWh.
9. El dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de cualquier reivindicación anterior, en donde un tiempo de respuesta del dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía es menor que o igual a aproximadamente 100 milisegundos.
10. El dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de cualquier reivindicación anterior, en donde el dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía (i) no tiene la capacidad de conducir iones a través de dicho electrolito a la primera temperatura, y (ii) tiene la capacidad de conducir iones a través de dicho electrolito a la segunda temperatura, y en donde dicho dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía es transportable a la primera temperatura.
11. El dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de la reivindicación 1, en donde al menos parte del dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía es sólida a la primera temperatura y líquida a la segunda temperatura.
12. El dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de la reivindicación 1, en donde el dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía tiene un terminal positivo y un terminal negativo, y en donde la puesta en cortocircuito de los terminales no descarga el dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía a la primera temperatura.
13. El dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de cualquier reivindicación anterior, en donde la segunda temperatura es al menos aproximadamente 400 °C.
14. Un sistema de almacenamiento de energía que comprende el dispositivo electroquímico de almacenamiento de energía de cualquier reivindicación anterior:
 en donde el recipiente contiene una o más celdas electroquímicas, en donde una celda electroquímica individual de las una o más celdas electroquímicas incluye el electrodo negativo, el electrodo positivo y el electrolito; y en donde el sistema de almacenamiento de energía comprende adicionalmente:

5 un sistema de control que comprende un procesador de ordenador que se programa para supervisar al menos una temperatura de las una o más celdas electroquímicas y / o el recipiente, en donde el procesador de ordenador regula un flujo de energía eléctrica a al menos un subconjunto de las una o más celdas electroquímicas de tal modo que el subconjunto experimenta un autocalentamiento sostenido durante la carga / descarga.

10 15. El sistema de almacenamiento de energía de la reivindicación 14, en donde, durante la carga / descarga, una tasa de generación de calor en la celda electroquímica individual es mayor que o aproximadamente igual a una tasa de pérdida de calor a partir de la celda electroquímica individual.

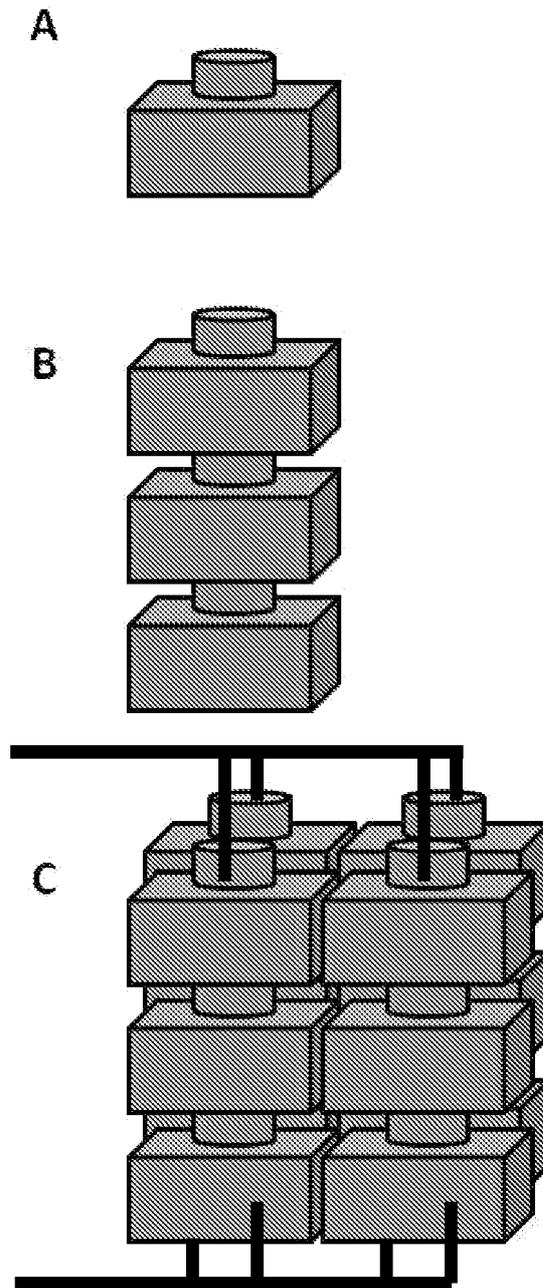


FIG. 1

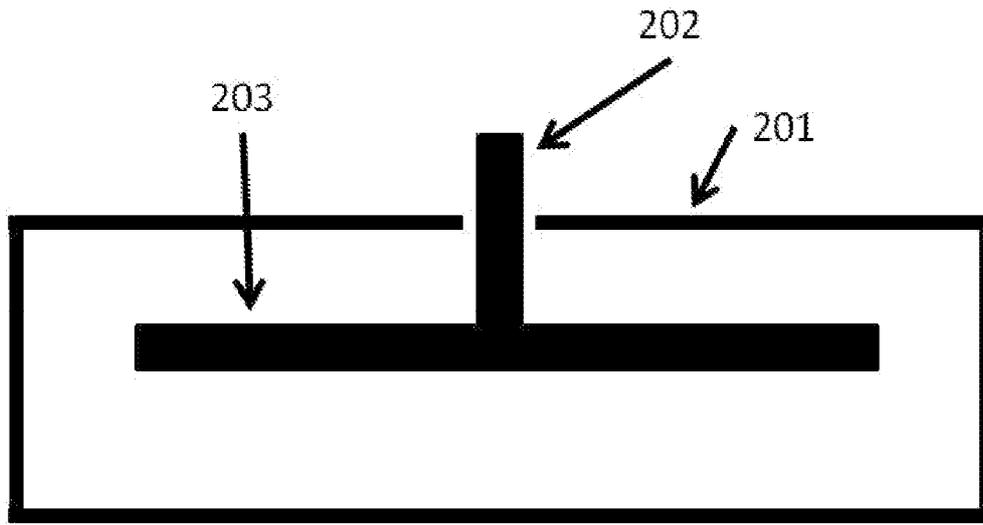


FIG. 2

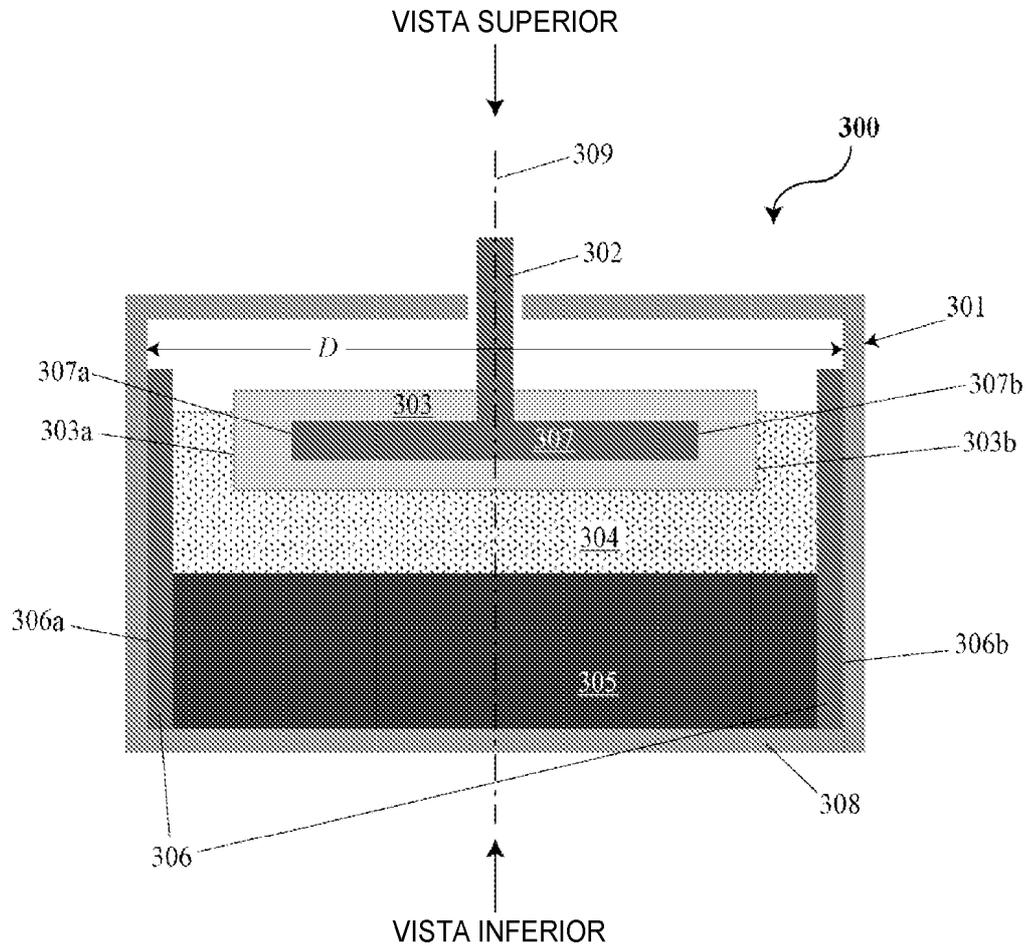


FIG. 3

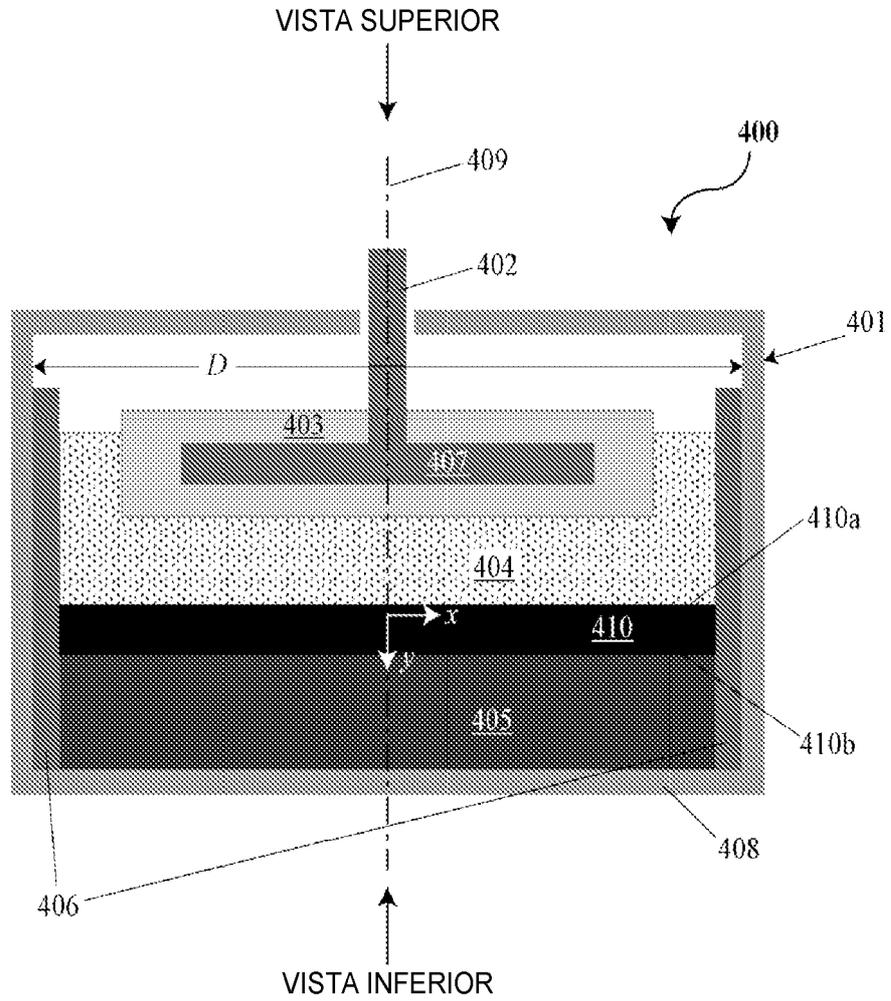


FIG. 4

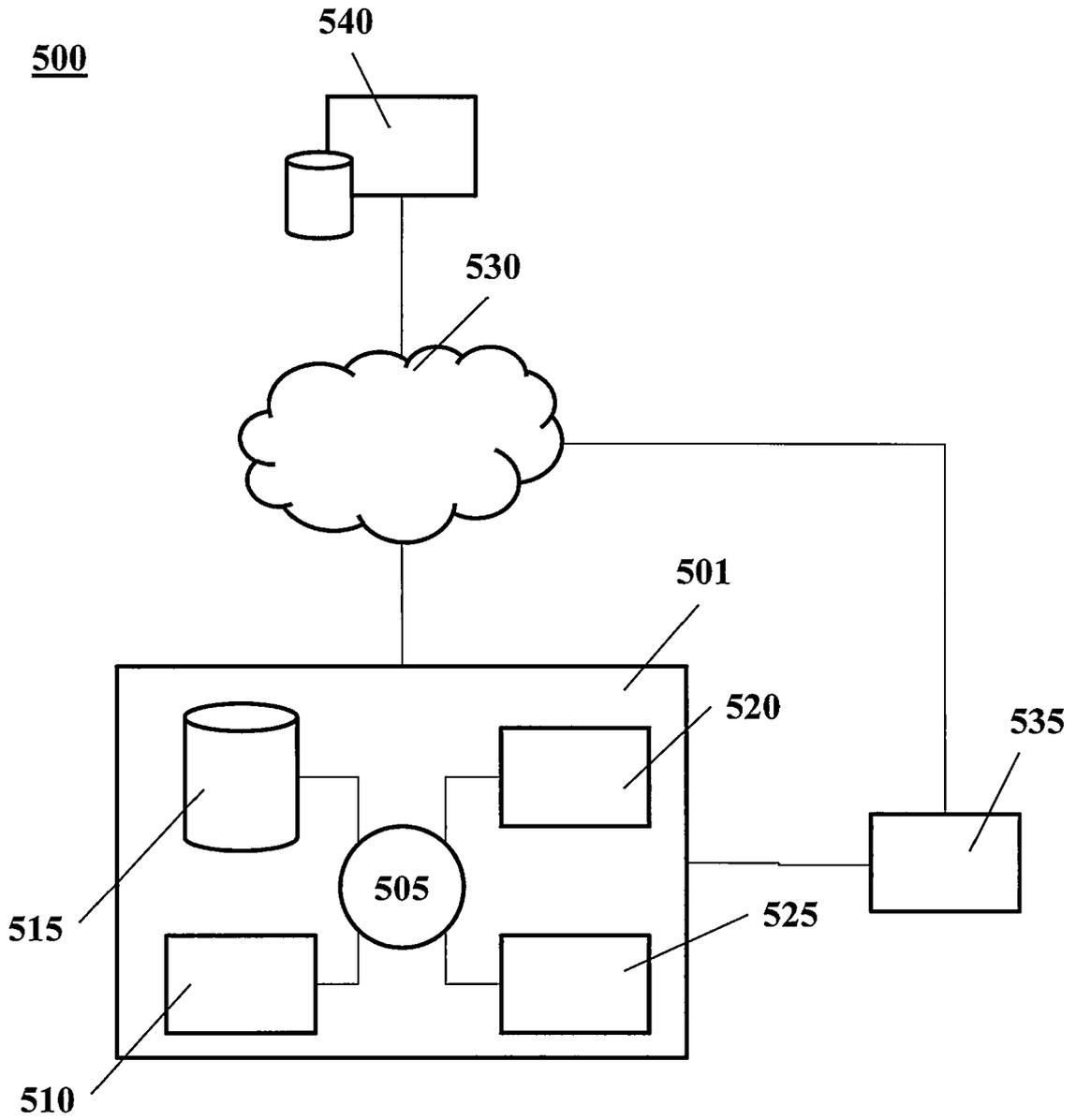


FIG. 5

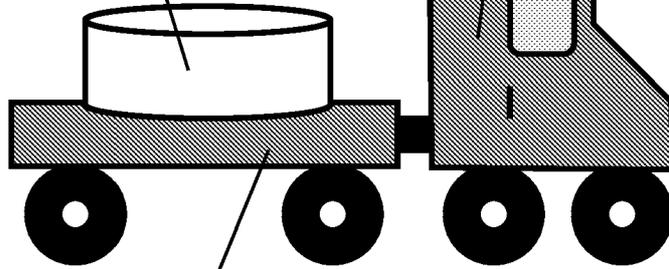
600



605

615

610



620

625

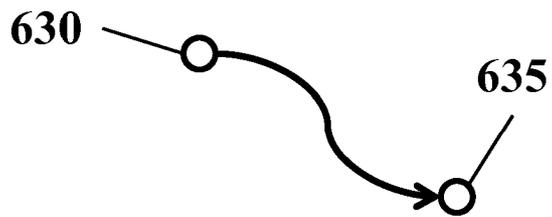


FIG. 6

700

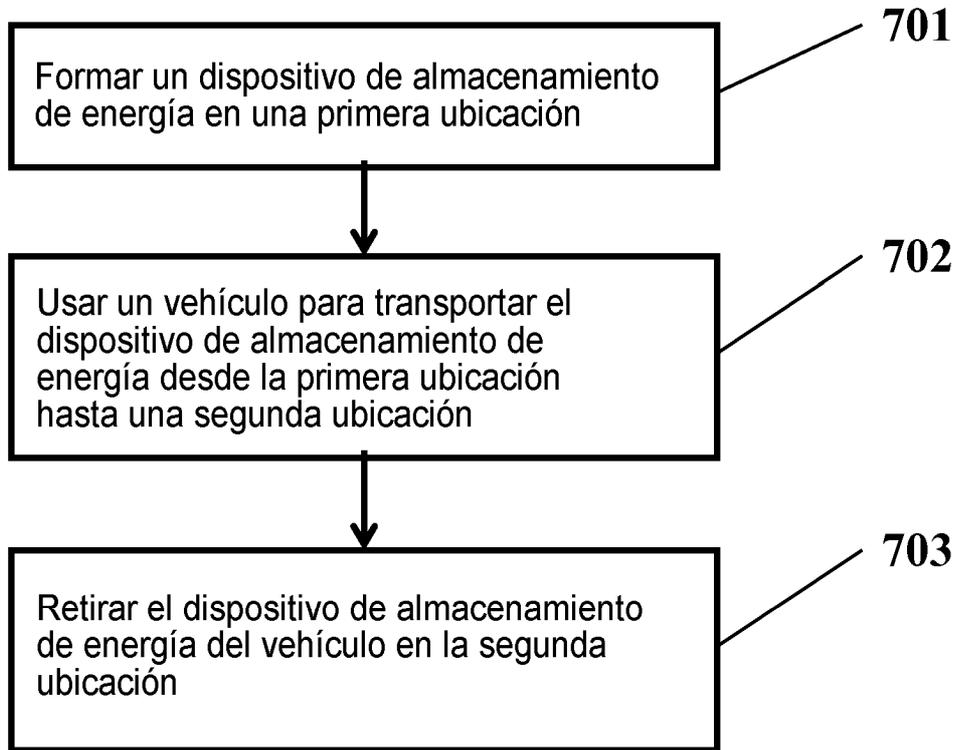


FIG. 7