

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 736 019**

51 Int. Cl.:

H01G 11/60 (2013.01)

H01G 11/64 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.06.2014 PCT/US2014/044585**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.01.2015 WO15006072**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2014 E 14823818 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019 EP 3020056**

54 Título: **Aditivo mejorador de estabilidad para dispositivos electroquímicos**

30 Prioridad:

12.07.2013 US 201361845404 P

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

23.12.2019

73 Titular/es:

**IOXUS, INC. (100.0%)
18 Stadium Circle
Oneonta, New York 13820, US**

72 Inventor/es:

**LANE, GEORGE H. y
RUDISUELA, KEN**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 736 019 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

Aditivo mejorador de estabilidad para dispositivos electroquímicos

La presente solicitud reivindica la prioridad y el beneficio de la Solicitud Provisional de Patente de Estados Unidos N.º Serie 61/845,404, presentada el 12 de julio de 2013, titulada, "Aditivo mejorador de estabilidad para dispositivos electroquímicos".

Antecedentes

Una formulación de electrolito adecuada para uso en un dispositivo de almacenamiento de energía se conoce a partir del documento EP 2 490 292 A1. Las realizaciones descritas en la presente memoria se refieren en general a condensadores eléctricos de doble capa que tienen una formulación de electrolito que incluye un aditivo estabilizador de manera que el condensador eléctrico de doble capa retiene su capacidad de célula durante períodos de tiempo más prolongados, y la ganancia de ESR y la generación de gas se reducen durante el funcionamiento de la célula.

Los condensadores eléctricos de doble capa (EDLC), también conocidos como ultracondensadores o supercondensadores, generalmente permiten la entrega rápida de energía eléctrica en un corto período de tiempo. Por lo tanto, los EDLC se adaptan bien a aplicaciones de alta potencia como, por ejemplo, tarjetas de PC, tarjetas CF, mini PCI, tarjetas exprés, módem USB, tarjetas de telepeaje, respaldo de energía en dispositivos portátiles o con restricciones energéticas (por ejemplo, UPS), regulación de tensión para CPU, potencia complementaria en vehículos eléctricos híbridos, dispositivos de audio portátiles y otros dispositivos de alta carga, accionadores para cerraduras de puertas, cámaras instantáneas LED, dispositivos de memoria de estado sólido y otros dispositivos que requieren alta potencia y energía. En particular, los EDLC se pueden usar como componente integral de almacenamiento de energía en trenes de transmisión de vehículos eléctricos híbridos. Los vehículos eléctricos híbridos conocidos utilizan EDLC como fuente de energía principal durante la aceleración y para el almacenamiento de energía durante la ruptura regenerativa.

Los EDLC incluyen un ánodo y un cátodo (por ejemplo, un ánodo basado en carbono y un cátodo basado en carbono) que están separados por un separador. El EDLC está infiltrado con un electrolito como, por ejemplo, un electrolito acuoso (por ejemplo, disoluciones de ácido sulfúrico, disoluciones de hidróxido de potasio, etc.) o un electrolito no acuoso. Los electrolitos conocidos incluyen típicamente un disolvente acuoso o no acuoso que contiene una o más especies iónicas disueltas. Los electrolitos conocidos, tales como, por ejemplo, los electrolitos acuosos pueden ser inestables en condiciones normales de funcionamiento del EDLC. Se puede agregar un aditivo, por ejemplo, un estabilizador a dichos electrolitos inestables conocidos para estabilizar el electrolito con el fin de que opere en condiciones normales de trabajo.

Los EDLC conocidos también utilizan electrolitos que son estables en condiciones normales de operación del EDLC. Dichos electrolitos estables pueden incluir, por ejemplo, electrolitos no acuosos que incluyen un disolvente no acuoso tal como, por ejemplo, acetonitrilo o carbonato de propileno, y una especie iónica altamente estable tal como, por ejemplo, una sal de tetrafluoroborato de amonio cuaternario. Sin embargo, los electrolitos estables conocidos pueden volverse inestables en condiciones operativas adversas, por ejemplo, condiciones de alta tensión o alta temperatura. A medida que crece la demanda de EDLC, existe una necesidad continua de nuevos solventes y sistemas de electrolito que exhiban mejores características operacionales y de estabilidad.

Por lo tanto, es un objetivo permanente del desarrollo de EDLC generar nuevas formulaciones de electrolito y EDLC que tengan mayor estabilidad y una vida útil más prolongada.

Resumen

La formulación de electrolito de acuerdo con la invención se define por las características de la reivindicación 1.

La presente divulgación también se refiere a un método para mejorar la estabilidad de un condensador eléctrico de doble capa. El método implica el uso de una formulación de electrolito que contiene especies iónicas, un disolvente y un estabilizador. En algunas realizaciones, el estabilizador incluido en la formulación de electrolito mejora la estabilidad de la EDLC. En algunas realizaciones, el estabilizador incluido en el electrolito reduce la pérdida de capacitancia, reduce la ganancia de ESR y/o reduce la cantidad de gas generado por el EDLC durante el curso de operación del EDLC.

También se describe un método para fabricar un condensador eléctrico de doble capa. El método incluye disponer un cátodo en un colector de corriente positivo y disponer un ánodo en un colector de corriente negativo. Se dispone un separador adicional entre el cátodo y el ánodo para formar una célula EDLC. La célula de EDLC se dispone en un recipiente y se infiltra con una formulación de electrolito que incluye una especie iónica, un disolvente y un estabilizador. En algunas realizaciones, el recipiente puede ser un recipiente prismático, cilíndrico o de bolsa flexible.

Breve descripción de los dibujos

La Figura. 1 es una ilustración esquemática de un EDLC según una realización.

La Figura 2 muestra un diagrama de flujo esquemático de un método de formación de un EDLC, de acuerdo con una realización.

5 La Figura 3 muestra el porcentaje de capacitancia retenida por los EDLC que incluyen las formulaciones de electrolito descritas en la presente memoria, en comparación con los EDLC que no incluyen las formulaciones de electrolito descritas en la presente memoria, cuando se someten a un ensayo de resistencia

La Figura 4 muestra un aumento de ESR de los EDLC que incluyen las formulaciones de electrolito descritas en la presente memoria, en comparación con los EDLC que no incluyen las formulaciones de electrolito descritas en la presente memoria, cuando se las somete a un ensayo de resistencia.

La Figura 5 muestra un aumento de altura de célula cilíndrica de los EDLC que incluyen la formulación de electrolito descrita en la presente memoria, debido a la presión inducida por el gas generado dentro de los EDLC.

La Figura 6 muestra un aumento de ESR de los EDLC que tienen una capacitancia de aproximadamente 3.000 F y que incluyen las formulaciones de electrolito descritas en la presente memoria, en comparación con los EDLC que tienen una capacitancia de aproximadamente 3.000 F pero no incluyen las formulaciones de electrolito descritas en la presente memoria, cuando se someten a un ensayo de resistencia.

La Figura 7 muestra la capacitancia retenida por los EDLC de la Figura 6 durante el transcurso del ensayo de resistencia.

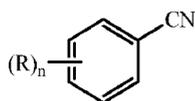
Descripción detallada

20 Los electrolitos conocidos utilizados en los EDLC incluyen generalmente un disolvente acuoso o no acuoso que contiene una o más especies iónicas disueltas, por ejemplo, una sal iónica. Algunos electrolitos acuosos conocidos, por ejemplo, electrolitos acuosos de base de ácido sulfúrico o hidróxido de potasio pueden ser inestables en condiciones normales de operación de los EDLC, por ejemplo, a una tensión de operación de EDLC de menos de aproximadamente 2,5 voltios. Dichos electrolitos acuosos conocidos pueden, por ejemplo, estabilizarse mediante la adición de un estabilizador. Algunos electrolitos no acuosos que no están basados en disolventes altamente estables (por ejemplo, acetonitrilo) y/o no están basados en una especie iónica altamente estable (por ejemplo, una sal de tetrafluoroborato de amonio cuaternario) pueden volverse inestables en condiciones normales de operación, por ejemplo, a una tensión de operación de menos de aproximadamente 2,7 voltios. Dichos electrolitos no acuosos conocidos se pueden estabilizar, por ejemplo, también mediante la adición de un estabilizador. Por el contrario, algunos electrolitos no acuosos conocidos pueden incluir disolventes (por ejemplo, acetonitrilo) y especies iónicas (por ejemplo, una sal de tetrafluoroborato de amonio cuaternario) que son altamente estables en condiciones normales de operación, por ejemplo, a una tensión de operación de EDLC menor de 2,7 voltios. Sin embargo, los disolventes electrolíticos no acuosos conocidos se pueden volver inestables en condiciones de operación adversas tales como, por ejemplo, una elevada tensión de operación (por ejemplo, mayor que aproximadamente 2,7 voltios) y/o alta temperatura (por ejemplo, mayor que aproximadamente 60 grados Celsius). Esto puede conducir a la degradación del disolvente y/o los electrodos (es decir, el cátodo y el ánodo) incluidos en el EDLC, lo que puede reducir la capacitancia del EDLC, aumentar la resistencia en serie equivalente (ESR) y, por lo tanto, reducir la vida útil del EDLC. Por ejemplo, se sabe que el acetonitrilo pierde estabilidad a tensiones de operación mayores que aproximadamente 2,7 voltios, lo que puede resultar en un aumento inaceptablemente elevado de ESR y una disminución de la capacitancia. Además, la degradación de los disolventes en condiciones de operación adversas también puede conducir a una mayor cantidad de gas generado que puede deformar mecánicamente los componentes del EDLC, reduciendo así la vida útil del EDLC. A medida que aumenta la demanda de EDLC que pueden funcionar a tensiones elevadas (por ejemplo, más que aproximadamente 2,7 voltios), se requieren nuevos electrolitos que puedan conservar su estabilidad a tensiones y/o temperaturas de operación elevadas.

45 Las realizaciones de las formulaciones de electrolito descritas en la presente memoria incluyen una cantidad de estabilizador añadido al disolvente (por ejemplo, un disolvente no acuoso) incluido en la formulación de electrolito, de modo que el estabilizador puede ralentizar la degradación del electrolito. Las formulaciones de electrolito descritas en la presente memoria proporcionan diversas ventajas que incluyen: (1) reducción de la velocidad de degradación del electrolito a tensión y/o temperatura de operación elevadas y eliminación de la posibilidad de descomposición del electrolito; (2) mejora del aumento de ESR del EDLC; (3) aumento de la vida útil del EDLC permitiendo que el EDLC retenga una parte significativa de su capacitancia durante largos períodos de operación y/o ciclos; 4) recogida del agua que puede corroer los electrodos y/o causar que el EDLC sufra un fallo fatal; 5) eliminación de las aminas terciarias que también pueden conducir a degradación de EDLC; 6) impurezas metálicas complejas que pueden conducir a un mejor rendimiento electrónico; (7) reducción de la generación de gas en el EDLC, lo que puede reducir la deformación mecánica y el daño físico, lo que aumenta la vida útil del EDLC; y (8) uso con EDLC de capacitancia muy elevada, por ejemplo, EDLC que tiene una capacitancia de aproximadamente 3.000 F o incluso más. Por lo tanto, los EDLC que incluyen la formulación de electrolito descrita en la presente memoria se pueden operar a una tensión

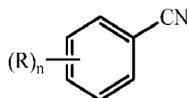
más elevada (por ejemplo, más que aproximadamente 2,7 voltios) y/o una temperatura (por ejemplo, más que aproximadamente 60 grados) y tienen una vida más prolongada.

Una formulación de electrolito adecuada para su uso en dispositivos de almacenamiento de energía, como los EDLC, incluye una especie iónica, un disolvente y un estabilizador. En algunas realizaciones, el disolvente puede ser un compuesto de nitrilo (por ejemplo, acetonitrilo, propionitrilo, butironitrilo o una combinación de los mismos) y el estabilizador puede ser un compuesto de la fórmula I:



de modo que R es H, grupo carbonado saturado o insaturado, lineal o ramificado, acíclico, OH, halógeno NH₂, NO₂, (SO)₂CF₃, o arilo monocíclico o policíclico, y n es un número entero de 0 a 5.

Un EDLC incluye una formulación de electrolito que incluye una especie iónica, un disolvente y un estabilizador. En algunas realizaciones, el disolvente puede ser un compuesto de nitrilo (por ejemplo, acetonitrilo, propionitrilo, butironitrilo o una combinación de los mismos) y el estabilizador puede ser un compuesto de la fórmula I:



de modo que R es H, grupo carbonado saturado o insaturado, lineal o ramificado, acíclico, OH, halógeno NH₂, NO₂, (SO)₂CF₃, o arilo monocíclico o policíclico, y n es un número entero de 0 a 5.

En algunas realizaciones, un método para mejorar la estabilidad de un EDLC incluye el uso de una formulación de electrolito que incluye una especie iónica, un disolvente y un estabilizador. En algunas realizaciones, la formulación de electrolito mejora la estabilidad del EDLC, o la estabilidad del EDLC es al menos equivalente a la estabilidad de un EDLC que no incluye la formulación de electrolito descrita en la presente memoria.

En algunas realizaciones, un método de fabricación de un EDLC incluye disponer un cátodo en un colector de corriente positiva, y disponer un ánodo en un colector de corriente negativa. Un separador está dispuesto adicionalmente entre el cátodo y el ánodo para formar una célula de EDLC. La célula de EDLC se dispone en un recipiente y se infiltra con una formulación de electrolito que incluye una especie iónica, un disolvente y un estabilizador. En algunas realizaciones, el recipiente puede ser un recipiente prismático, cilíndrico o de bolsa flexible.

Como se usa en la presente memoria, el término "aproximadamente" generalmente significa más o menos un 10 % del valor establecido, por ejemplo, aproximadamente un 5 incluye de un 4,5 a un 5,5, aproximadamente 1.000 incluye de 900 a 1.100.

Tal como se usa en la presente memoria, el término "estable", "inestable" y "estabilidad" se refieren a la estabilidad física, química o electrónica del electrolito y el EDLC formado a partir del mismo.

La figura 1 muestra una ilustración esquemática de un EDLC 100. El EDLC 100 incluye un colector 110 de corriente positiva, un colector 120 de corriente negativa, un cátodo 130, un ánodo 140 y un separador 150 dispuestos entre el cátodo 130 y el ánodo 140. EDLC se somete a infusión con una formulación de electrolito que incluye una especie iónica, un disolvente y un estabilizador como se describe en la presente memoria.

El colector 110 de corriente positiva y el colector 120 de corriente negativa se pueden formar a partir de cualquier material adecuado que sea estable en los potenciales de operación del cátodo 130 y el ánodo 140 del EDLC 100. Por ejemplo, el colector 110 de corriente positiva y/o el colector 120 de corriente negativa pueden estar formados por aluminio o aluminio revestido con material conductor como, por ejemplo, platino, níquel, oro, óxidos metálicos conductores (por ejemplo, óxido de vanadio), carbono, carburos metálicos, níquel y aleaciones de níquel-cromo por nombrar algunos, y pueden estar en forma de láminas, papel metalizado (por ejemplo, papel metalizado de aluminio sometido a ataque químico), malla o cualquier combinación de los mismos.

El cátodo 130 y el ánodo 140 se pueden formar a partir de cualquier material adecuado, por ejemplo, carbono activado, grafito, carbono amorfo consolidado, aerogel de carbono, grafeno, nanotubos de carbono, cualquier otro material adecuado o combinación de los mismos. El cátodo 130 y el ánodo 140 se pueden disponer en el colector 110 de corriente positiva y el colector 120 de corriente negativa respectivamente, por ejemplo, se pueden revestir, moldear, revestir por goteo, prensar, prensar con rodillo, o depositar usando cualquier otro método apropiado, y se pueden someter a calandrado de forma adicional, por ejemplo, para dar lugar a un rodillo de gelatina que forma un EDLC cilíndrico, o se puede enrollar para formar un EDLC prismático.

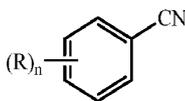
El cátodo 130 y el ánodo 140 están separados por el separador 150. El separador 150 se puede formar a partir de cualquier material adecuado capaz de transportar iones y puede estar en forma de una membrana o estera porosa delgada. Los materiales de separador adecuados incluyen, por ejemplo, celulosa, polipropileno, poli (acrilonitrilo), Kapton, fibras de vidrio tejidas, fibras cerámicas tejidas, poliolefina, poli (tetrafluoroetileno), o cualquier otro material de separador adecuado o una combinación de los mismos.

Como se describe en la presente memoria, el cátodo de EDLC 130 y el ánodo 140 se someten a infusión con una formulación de electrolito que incluye una especie iónica, un disolvente y un estabilizador, y puede incluir una formulación de electrolito acuosa o no acuosa. La formulación del electrolito está configurada para ser estable en varios parámetros operacionales, por ejemplo, el EDLC que opera en un intervalo de tensión de aproximadamente 1 voltio a aproximadamente 2,5 voltios, de aproximadamente 2,5 voltios a aproximadamente 2,75 voltios y/o superior a aproximadamente 2,75 voltios. Por ejemplo, la formulación del electrolito puede ser estable en el EDLC operando a una tensión mayor que aproximadamente 3,0 voltios, mayor que aproximadamente 3,2 voltios, mayor que aproximadamente 3,4 voltios, mayor que aproximadamente 3,6 voltios, mayor que aproximadamente 3,8 voltios, mayor que aproximadamente 4,0 voltios, o mayor que aproximadamente 5,0 voltios, incluidos todos los intervalos y valores entre ellos. Además, en algunas realizaciones, el electrolito puede ser estable a altas temperaturas de operación del EDLC, por ejemplo, temperaturas mayores que aproximadamente 50 grados Celsius, mayores que aproximadamente 60 grados Celsius, mayores que aproximadamente 70 grados Celsius, mayores que aproximadamente 80 grados Celsius, mayores que aproximadamente 90 grados Celsius, o mayores que aproximadamente 100 grados Celsius, incluidos todos los intervalos y valores entre ellos. En algunas realizaciones, el electrolito puede ser estable a una tensión de operación mayor que aproximadamente 2,5 voltios y una temperatura de operación mayor que aproximadamente 75 grados Celsius.

En algunas realizaciones, la formulación de electrolito puede ser una formulación de electrolito no acuosa que incluye un disolvente no acuoso. En algunas realizaciones, el disolvente no acuoso puede ser un compuesto de nitrilo (por ejemplo, acetonitrilo, propionitrilo, butironitrilo o una combinación de los mismos), un compuesto de carbonato (por ejemplo, carbonato de propileno, carbonato de dimetilo, carbonato de etileno, carbonato de etilmetilo, carbonato de dietilo o una combinación de los mismos), un compuesto de sulfona, (por ejemplo, sulfolano, dimetilsulfona (DMSO), etc.), cualquier combinación de los mismos, o cualquier otro disolvente no acuoso adecuado. El disolvente, por ejemplo, acetonitrilo, puede ser operativo para ser estable en condiciones normales de operación del EDLC (por ejemplo, a potenciales de operación por debajo de aproximadamente 2,7 voltios y temperaturas de operación por debajo de aproximadamente 60 grados Celsius) pero puede llegar a ser inestable a mayores potenciales de operación o temperaturas.

En algunas realizaciones, las especies iónicas incluidas en la formulación del electrolito pueden incluir, por ejemplo, tetrafluoroborato de espiro-bipirrolidinio (SBP BF₄), tetrafluoroborato de tetraetilamonio (TEA TFB), tetrafluoroborato de N-etil-N-metilpirrolidinio, tetrafluoroborato de trietil (metil) amonio, cualquier otra especie iónica adecuada, o cualquier combinación de las mismas.

El estabilizador incluido en la formulación del electrolito puede ser un compuesto de fórmula I:



tal que R es H, grupo de carbono saturado o insaturado, lineal o ramificado, acíclico, OH, halógeno, NH₂, NO₂, (SO)₂CF₃, o arilo monocíclico o policíclico, y n es un número entero de 0 a 5. En algunas realizaciones, el estabilizador puede ser benzonitrilo. La cantidad de estabilizador, por ejemplo, benzonitrilo, en la formulación de electrolito puede estar dentro del intervalo de aproximadamente un 0,01% a aproximadamente un 10 % en volumen de disolvente, por ejemplo, acetonitrilo, incluido en la formulación de electrolito. Por ejemplo, en algunas realizaciones, la cantidad de estabilizador puede ser de aproximadamente un 0,01 % a un 1 % en volumen, de un 1 % a aproximadamente un 9 % en volumen, de aproximadamente un 2 % a aproximadamente un 8 % en volumen, de aproximadamente un 3 % a aproximadamente un 7 % en volumen, de un 4 % a un 6 % en volumen, de un 4,5 % a un 5,5 % en volumen, de un 0,5 % a un 1,5 % en volumen, de un 0,7 % a un 1,3 % en volumen, de un 0,9 % a un 1,1 % en volumen, de aproximadamente un 1,5 % a aproximadamente un 2,5 % en volumen, de aproximadamente un 1,7 % a aproximadamente un 2,3 % en volumen, y de aproximadamente un 1,9 % a aproximadamente un 2,1 % en volumen del disolvente.

En algunas realizaciones, el estabilizador puede ser operativo para adsorberse al electrodo, por ejemplo, la superficie del cátodo 130 y/ o el ánodo 140 y mejorar la estabilidad del disolvente, por ejemplo, acetonitrilo, incluido en la formulación del electrolito. Sin estar ligado a teoría, el grupo aromático (es decir, el grupo aromático) incluido en el estabilizador puede tener una afinidad por la superficie del cátodo 130 (por ejemplo, cátodo de carbono activado) y/o ánodo 140 (por ejemplo, ánodo de carbono activado), lo que puede aumentar aún más cuando los electrodos están cargados. Además, el grupo nitrilo incluido en el estabilizador proporciona a la molécula un carácter polar que hace

que el estabilizador sea miscible con solventes orgánicos polares, por ejemplo, acetonitrilo y proporciona al estabilizador una constante dieléctrica alta. El estabilizador se puede adsorber preferentemente en la superficie del cátodo 130 (por ejemplo, cátodo de carbono activado) y/o ánodo 140 (por ejemplo, ánodo de carbono activado), reduce el contacto entre la superficie del cátodo 130 y/o ánodo 140 y el disolvente orgánico polar, por ejemplo, acetonitrilo, lo que ralentiza la descomposición del disolvente, por ejemplo, acetonitrilo. Además, el estabilizador también puede experimentar una reacción química, por ejemplo, polimerización, en la superficie del cátodo 130 y/o ánodo 140, y formar una capa protectora delgada que puede retardar aún más la descomposición del disolvente. Esto puede llevar a una estabilidad mejorada de la formulación de electrolito y, por lo tanto, el EDLC de tal manera que el EDLC pueda retener una parte significativa de su capacitancia durante períodos de operación más prolongados, tener un aumento menor de ESR, operar a potenciales de operación y/o temperaturas elevados, y tiene una vida más prolongada (es decir, una vida de ciclo más larga). En algunas realizaciones, la formulación de electrolito descrita en la presente memoria puede tener una conductividad y/o capacitancia aproximadamente igual a la conductividad y/o capacitancia de una formulación de electrolito que no incluye el estabilizador descrito en la presente memoria.

En algunas realizaciones, la formulación de electrolito descrita en la presente memoria también puede reducir la cantidad de gas generado en el EDLC 100. Esto puede reducir la deformación mecánica de los componentes del EDLC 100 (por ejemplo, el cátodo 130 y/o el ánodo 140) debido a la presión inducida por el gas generado, lo que reduce el daño físico y aumenta la vida útil del EDLC 100.

En algunas realizaciones, la formulación de electrolito puede permitir que el EDLC 100 tenga una capacitancia muy alta y reduzca la cantidad de gas generado en el EDLC. Por ejemplo, el EDLC 100 que incluye cualquiera de los electrolitos descritos en la presente memoria puede tener una capacitancia de aproximadamente 100 F, 150 F, 200 F, 250 F, 300 F, 350 F, 400 F, 450 F, 500 F, 600 F, 700 F, 800 F, 900 F, 1.000 F, 1.200 F, 1.400 F, 1.600 F, 1.800 F, 2.000 F, 2.500 F, 3.000 F, 3.500 F, 4.000 F, 4.500 F, 5.000 F, 6.000 F, 7.000 F, 8.000 F, 9.000 F, 10.000 F, o incluso más, incluidos todos los intervalos entre ellos.

En algunas realizaciones, la formulación de electrolito puede permitir que el EDLC 100 funcione a una tensión de operación elevada superior a aproximadamente 2,5 voltios. Por ejemplo, la formulación del electrolito puede permitir que el EDLC 100 opere a una tensión de operación mayor que aproximadamente 2,7 voltios, mayor que aproximadamente 3,0 voltios, mayor que aproximadamente 3,2 voltios, mayor que aproximadamente 3,4 voltios, mayor que aproximadamente 3,6 voltios, mayor que aproximadamente 3,8 voltios, mayor que aproximadamente 4,0 voltios, o mayor que aproximadamente 5,0 voltios, incluidos todos los intervalos y valores entre ellos.

En algunas realizaciones, el electrolito puede ser estable a altas temperaturas, de manera que el EDLC 100 pueda operar a una temperatura de operación elevada superior a aproximadamente 50 grados Celsius. Por ejemplo, el electrolito 100 puede permitir que el EDLC 100 opere a una temperatura de operación mayor que aproximadamente 60 grados Celsius, mayor que aproximadamente 70 grados Celsius, mayor que aproximadamente 80 grados Celsius, mayor que aproximadamente 90 grados Celsius o mayor que aproximadamente 100 grados Celsius, incluidos todos los intervalos y valores entre ellos.

En algunas realizaciones, el electrolito puede ser estable a una tensión de operación elevada y una temperatura de operación elevada, de manera que, por ejemplo, el EDLC 100 pueda operar a una tensión de operación mayor que aproximadamente 2,5 voltios y una temperatura de operación mayor que aproximadamente 75 grados Celsius.

En algunas realizaciones, un método para mejorar la estabilidad de un EDLC puede incluir el uso de una formulación de electrolito que incluye una especie iónica, un disolvente y un estabilizador. La especie iónica pueden ser cualquier especie iónica adecuada, por ejemplo, SBP BF₄ o cualquier otra especie iónica descrita en la presente memoria. El disolvente puede ser cualquier disolvente polar orgánico adecuado, por ejemplo, acetonitrilo, o cualquier otro disolvente como se describe en la presente memoria. El estabilizador puede ser un compuesto de fórmula I como se describe en la presente memoria, por ejemplo, benzonitrilo. En algunas realizaciones, un EDLC formado usando el método descrito en la presente memoria puede tener una capacitancia de al menos aproximadamente 100 F. El EDLC que incluye la formulación de electrolito descrita en la presente memoria puede tener una estabilidad al menos equivalente a la estabilidad de un EDLC que no incluye la formulación de electrolito descrita en la presente memoria, por ejemplo, estable a un potencial de operación de más de aproximadamente 2,7 voltios y una temperatura de menos de aproximadamente 60 grados Celsius. En algunas realizaciones, el EDLC que incluye la formulación de electrolito descrita en la presente memoria se puede operar a una tensión de operación mayor que aproximadamente 2,5 voltios y una temperatura de operación mayor que aproximadamente 75 grados Celsius. En algunas realizaciones, el EDLC que incluye la formulación de electrolito descrita en la presente memoria se puede operar a una tensión de operación mayor que aproximadamente 3,0 voltios y una temperatura de operación mayor que aproximadamente 50 grados Celsius.

La Figura 2 muestra un diagrama de flujo esquemático que ilustra un método a modo de ejemplo de formación de un EDLC, por ejemplo, el EDLC 100 o cualquier otro EDLC descrito en la presente memoria. El método incluye disponer un cátodo en un colector de corriente positiva, en 202. El cátodo se puede formar a partir de carbono activado, grafito, carbono amorfo consolidado, aerogel de carbono, grafeno, nanotubos de carbono, cualquier otro material adecuado o una combinación de ellos. El colector de corriente positiva se puede formar a partir de papel metalizado de aluminio sometido a ataque químico o cualquier material adecuado y puede incluir el colector 110 de corriente positiva o

cualquier otro colector de corriente positiva descrito en la presente memoria. El ánodo está dispuesto en un colector de corriente negativa, en 204. El ánodo se puede formar a partir de carbono activado, grafito, carbono amorfo consolidado, aerogel de carbono, grafeno, nanotubos de carbono, cualquier otro material adecuado o una combinación de ellos. El colector de corriente negativa puede incluir el colector 120 de corriente negativa o cualquier otro colector de corriente negativa descrito en la presente memoria. Un separador está dispuesto entre el cátodo y el ánodo para formar una célula de EDLC, en 206. El separador puede incluir el separador 150 o cualquier otro separador descrito en la presente memoria. La célula de EDLC se puede someter a calandrado, por ejemplo, para dar lugar a un rodillo de gelatina para formar una célula de EDLC cilíndrica, o se puede enrollar para formar un EDLC prismático. La célula de EDLC se dispone en un recipiente, en 208. El recipiente puede incluir un recipiente cilíndrico, un recipiente prismático (por ejemplo, una bolsa), o cualquier otro recipiente adecuado. Finalmente, la célula de EDLC se infiltra con una formulación de electrolito que tiene una especie iónica, un disolvente y un estabilizador que incluye el compuesto de fórmula I, a 210°C, y el recipiente se sella. En algunas realizaciones, las especies iónicas incluidas en la formulación del electrolito pueden incluir, por ejemplo, tetrafluoroborato de espiro-bipirrolidinio (SBP BF₄), tetrafluoroborato de tetraetilamonio (TEA TFB), tetrafluoroborato de N-etil-N-metilpirrolidinio, tetrafluoroborato de trietil(metil)amonio, cualquier otra especie iónica adecuada, o cualquier combinación de los mismos. En algunas realizaciones, el disolvente puede incluir un disolvente no acuoso tal como, por ejemplo, un compuesto de nitrilo (por ejemplo, acetonitrilo, propionitrilo, butironitrilo o una combinación de los mismos), un compuesto de carbonato (por ejemplo, carbonato de propileno, carbonato de dietilo, carbonato de etileno, carbonato de etil metilo, carbonato de dietilo), un compuesto de sulfona (por ejemplo, sulfolano, dimetilsulfona (DMSO), etc.), cualquier combinación de los mismos, o cualquier otro disolvente no acuoso adecuado. En algunas realizaciones, el estabilizador puede incluir benzonitrilo. En algunas realizaciones, un EDLC formado usando el método descrito en la presente memoria puede tener una capacitancia de al menos aproximadamente 100 F. En algunas realizaciones, el EDLC que incluye la formulación de electrolito descrita en la presente memoria se puede operar a una tensión de operación mayor que aproximadamente 2,5 voltios y una temperatura de operación mayor que aproximadamente 75 grados centígrados. En algunas realizaciones, el EDLC que incluye la formulación de electrolito descrita en la presente memoria se puede operar a una tensión de operación mayor que aproximadamente 3,0 voltios y una temperatura de operación mayor que aproximadamente 50 grados Celsius.

El siguiente ejemplo muestra el rendimiento de estabilidad de un EDLC que incluye la formulación de electrolito descrita en la presente memoria. El EDLC se sometió a un "ensayo de resistencia" (también conocido como "ensayo de flotación" o "ensayo de durabilidad"). El ensayo de resistencia incluye la aplicación de una tensión fija al EDLC, que es la tensión a la cual se debe calificar el EDLC, mientras se mantiene el EDLC a una temperatura elevada. Los parámetros experimentales se eligen para acelerar la degradación electroquímica del EDLC. La capacitancia y ESR del EDLC se miden a temperatura ambiente antes de que comience el ensayo de resistencia, así como en ciertos intervalos de tiempo predeterminados a lo largo del ensayo de resistencia. Para realizar mediciones durante el ensayo, el EDLC se descarga y se deja enfriar a temperatura ambiente antes de medir la capacitancia de EDLC y ESR. El EDLC se devuelve a la condición de degradación acelerada y se repite el ciclo. Los estándares de la industria esperan que los EDLC no hayan perdido más de aproximadamente un 20 % de su capacitancia inicial después de 1.000 horas de operación, mientras que se espera que ESR no se haya duplicado trascurridas 1.000 horas. Sin embargo, estos criterios se pueden relajar para EDLC operados a tensiones más elevadas, por ejemplo, a aproximadamente 3 voltios. Está ampliamente aceptado que los sistemas que exhiben una estabilidad electroquímica relativamente alta a lo largo del ensayo de resistencia también exhibirán una estabilidad electroquímica relativamente alta en otras condiciones que no sean drásticamente diferentes de las utilizadas en el ensayo, como, por ejemplo, la operación a temperatura ambiente.

Los EDLC también se sometieron a ensayo para determinar la cantidad de gas generado en los EDLC que incluyen la formulación de electrolito descrita en la presente memoria, en las condiciones de ensayo de resistencia. En estos ejemplos, se prepararon células de EDLC cilíndricas y se midió el aumento de altura de las células cilíndricas, lo que se atribuyó a la cantidad de gas generado en el EDLC.

Estos ejemplos son únicamente con fines ilustrativos y no pretenden limitar el alcance de la presente divulgación.

Ejemplo comparativo 1

Se preparó un primer EDLC comparativo (también denominado "EDLC Comp. 1") a partir de un cátodo de carbono activado y un ánodo de carbono activado. Cada uno de ánodo y cátodo incluía una carga de carbono activado de aproximadamente un 86 % en peso. Las dimensiones de cada uno de cátodo y ánodo fueron de aproximadamente 40 mm por 40 mm. El colector de corriente positiva y el colector de corriente negativa se formaron a partir de papel metalizado de aluminio sometido a ataque químico. Se dispuso un separador entre el cátodo y el ánodo, y el EDLC Comp. 1 se introdujo en una célula de aluminio laminado. Los electrodos de EDLC Comp. 1 se sometieron a infusión con una formulación de electrolito que incluía un disolvente de acetonitrilo y 1 mol por litro de SBP BF₄ como especie iónica. El contenido total de agua del electrolito fue inferior a aproximadamente 50 ppm y se utilizó aproximadamente 1 ml de la formulación del electrolito. Las células de EDLC Comp. 1 se ensamblaron en un espacio seco que tenía un punto de rocío de menos de aproximadamente -50 grados Celsius. Los electrodos se secaron durante la noche a aproximadamente 140 grados Celsius a vacío antes del ensamblaje de la célula.

Se prepararon dos réplicas de EDLC Comp. 1 (denominadas "EDLC Comp. 1-1" y "EDLC Comp. 1-2") y se sometieron individualmente a ensayo de resistencia.

Ejemplo comparativo 2

5 Se preparó una segunda célula de EDLC comparativa (también denominada "EDLC Comp. 2") a partir de un cátodo de carbono activado y un ánodo de carbono activado. Cada uno de ánodo y cátodo incluía una carga de carbono activado de aproximadamente un 86 % en peso. El colector de corriente positiva y el colector de corriente negativa se formaron a partir de papel metalizado de aluminio sometido a ataque químico. Se dispuso un separador entre el cátodo y el ánodo. Se enrolló EDLC Comp. 2 en un rodillo de gelatina y se envasó en una lata cilíndrica. Los electrodos de EDLC Comp. 2 se sometieron a infusión con una formulación de electrolito que incluía un disolvente de acetonitrilo y 1 mol por litro de SBP BF₄ como especie iónica. El contenido total de agua del electrolito fue inferior a aproximadamente 50 ppm y se usaron aproximadamente 10 ml de la formulación de electrolito. La célula de EDLC Comp. 2 se ensambló en un espacio seco que tenía un punto de rocío de menos de aproximadamente -50 grados Celsius. Los rodillos de gelatina se secaron durante la noche a aproximadamente 140 grados Celsius bajo nitrógeno antes del ensamblaje de la célula.

15 Se prepararon cuatro réplicas de EDLC Comp. 2 (denominadas "EDLC Comp. 2-1", "EDLC Comp. 2-2", "EDLC Comp. 2-3" y "EDLC Comp. 2-4") y se analizó individualmente el aumento en la altura de cada una de las células cilíndricas EDLC 2 debido a la generación de gas en las condiciones de ensayo de resistencia.

Ejemplo comparativo 3

20 Se preparó una tercera célula de EDLC comparativa (también denominada "EDLC Comp.3") a partir de un cátodo de carbono activado y un ánodo de carbono activado. Cada uno de ánodo y cátodo incluía una carga de carbono activado de aproximadamente un 86 % en peso. El colector de corriente positiva y el colector de corriente negativa se formaron a partir de papel metalizado de aluminio sometido a ataque químico. Se dispuso un separador de celulosa entre el cátodo y el ánodo. Se enrolló EDLC Comp. 3 en un rollo de gelatina que se secó durante 12 horas a vacío a 140 grados Celsius y luego se envasó en una lata cilíndrica. La célula EDLC Comp. 3 se ensambló en un espacio seco que tenía un punto de rocío de menos de aproximadamente -50 grados Celsius. Las latas cilíndricas y las tapas eran de aleación de aluminio. Las dimensiones de célula EDLC Comp. 3 según lo definido por las dimensiones de la lata fueron de aproximadamente 144 mm de longitud y aproximadamente 60 mm de diámetro. Los electrodos de EDLC Comp. 3 se sometieron a infusión con una formulación de electrolito que incluía un disolvente de acetonitrilo y 1 mol por litro de SBP BF₄ como la especie iónica. El contenido total de agua del electrolito fue inferior a aproximadamente 50 ppm y se usaron aproximadamente 10 ml de la formulación del electrolito.

30 Se prepararon dos réplicas de EDLC Comp. 3 (denominadas "EDLC Comp. 3-1" y "EDLC Comp. 3-2") y se sometieron individualmente a ensayo de resistencia. Cada EDLC Comp. 3 tuvo una capacitancia de aproximadamente 3.000 F.

Ejemplo 1

35 Se preparó un primer EDLC (también denominado "EDLC 1") similar a EDLC 1, pero ahora se incluyó benzonitrilo en una cantidad de aproximadamente un 1 % en volumen de acetonitrilo en la formulación del electrolito. Se prepararon dos réplicas de EDLC 1 (denominadas "EDLC 1-1" y "EDLC 1-2") y se sometieron individualmente a ensayo de resistencia.

Ejemplo 2

40 Se preparó un segundo EDLC (también denominado "EDLC 2") similar a EDLC Comp. 2, pero ahora se incluyó benzonitrilo en una cantidad de aproximadamente un 1 % en volumen de acetonitrilo en la formulación de electrolito. Se prepararon cuatro réplicas de EDLC 2 (denominadas "EDLC 2-1", "EDLC 2-2", "EDLC 2-3" y "EDLC 2-4") y se analizaron individualmente para determinar el aumento de altura de cada una de las células cilíndricas de EDLC 2 debido a la generación de gas en las condiciones de ensayo de resistencia.

Ejemplo 3

45 Se preparó un tercer EDLC (también denominado "EDLC 3") similar a EDLC Comp. 2, pero ahora se incluyó benzonitrilo en una cantidad de aproximadamente un 2 % en volumen de acetonitrilo en la formulación de electrolito. Se prepararon cuatro réplicas de EDLC 3 (denominadas "EDLC 3-1", "EDLC 3-2", "EDLC 3-3" y "EDLC 3-4") y se analizaron individualmente para determinar el aumento de altura de cada una de las 3 células cilíndricas de EDLC debido a la generación de gas en las condiciones de ensayo de resistencia.

Ejemplo 4

50 Se preparó un cuarto EDLC (también denominado "EDLC 4") similar a EDLC Comp. 2, pero ahora se incluyó benzonitrilo en una cantidad de aproximadamente un 5 % en volumen de acetonitrilo en la formulación de electrolito. Se prepararon tres réplicas de EDLC 4 (denominadas "EDLC 4-1", "EDLC 4-2" y "EDLC 4-3") y se analizaron

individualmente para determinar el aumento de altura de cada una de las células de EDLC 4 cilíndricas debido a la generación de gas en las condiciones de ensayo de resistencia.

Ejemplo 5

5 Se preparó un quinto EDLC (también denominado "EDLC 5") similar EDLC Comp. 3, pero ahora se incluyó benzonitrilo en una cantidad de aproximadamente un 5 % en volumen de acetonitrilo en la formulación de electrolito. Por ejemplo, dicho electrolito se puede preparar agregando aproximadamente 0,2 litros de benzonitrilo a aproximadamente 4,0 litros de SBP BF_4 de 1 mol por litro. Si se usa benzonitrilo anhidro, el contenido de agua del electrolito no se ve afectado significativamente por el benzonitrilo. La adición de benzonitrilo tiene un efecto de dilución tal que la concentración final de SBP BF_4 es ligeramente inferior a 1 mol por litro. Se prepararon dos réplicas de EDLC 5 (denominadas "EDLC 5-1", "EDLC 5-2") y se sometieron a ensayo de resistencia. La capacitancia de cada una de las células EDLC 5 fue de aproximadamente 3.000 F.

15 Se llevaron a cabo ensayos de resistencia de cada uno de las células EDLC Comp. 1 y EDLC 1 a una tensión de aproximadamente 3,0 voltios y una temperatura de aproximadamente 65 grados Celsius. Cada una de las células EDLC Comp. 1 y EDLC 1 se acondicionó durante aproximadamente 18 horas en condiciones experimentales (aproximadamente 3,0 voltios a aproximadamente 65 grados Celsius) antes de comenzar el ensayo de resistencia. La capacitancia y ESR después del período de condicionamiento se tomaron como punto de partida y todos los cálculos de pérdida de capacitancia o ganancia de ESR se realizaron en relación a este punto de partida que se muestra a las 0 horas en el eje x de los gráficos de la Figura. 3 y la Figura 4.

20 La Figura 3 muestra un gráfico del porcentaje de capacidad retenida para cada una de las células EDLC Comp. 1 y EDLC 1 después de aproximadamente 1.000 horas de operación en la condición de ensayo de resistencia. La Figura 4 muestra un gráfico del porcentaje de aumento de ESR después de aproximadamente 1.000 horas de operación, donde ESR inicial se toma como un 100 %. Específicamente, las mediciones de ESR se tomaron en momentos próximos a 0, 100, 250, 500, 750 y 1.000 horas de operación. Como se muestra en la Figura 3, EDLC Comp. 1-1 y EDLC Comp. 1-2 que no incluyen el estabilizador de benzonitrilo en la formulación del electrolito retienen aproximadamente un 86 % de su capacitancia inicial después de aproximadamente 1.000 horas de operación en las condiciones de degradación electroquímica acelerada del ensayo de resistencia. Por el contrario, EDLC 1-1 y EDLC 1-2, que incluyen el estabilizador de benzonitrilo en la formulación del electrolito, retienen aproximadamente un 92 % y aproximadamente un 90 % de su capacitancia inicial, respectivamente, lo que demuestra claramente que EDLC 1-1 y EDLC 1-2 tienen una vida más prolongada. Típicamente, cabe esperar que las células de 2,7 V actuales o los condensadores con tensión y rendimiento similares a estas células no hayan perdido más de un 20 % de su capacitancia después de 1.000 horas de operación. Los resultados experimentales de las Figuras 3 y 4 muestran que la formulación de electrolitos descrita en la presente memoria es más estable, de modo que los EDLC (es decir, EDLC 1-1 y EDLC 1-2) formados a partir de ellas pueden operar a tensiones de operación más altas (por ejemplo, más de aproximadamente 3,0 voltios), temperaturas más elevadas (por ejemplo, más de aproximadamente 50 grados Celsius), y tienen una vida más prolongada. Además, como se muestra en la Figura 4 la ganancia de ESR de EDLC Comp. 1-1, Comp. EDLC 1-2 y EDLC 1-1 y EDLC 1-2 es casi igual o ligeramente mejorada.

35 Cada una de las células EDLC Comp. 2, EDLC 2, EDLC 3 y EDLC 4 se analizaron para determinar el aumento de altura de las células cilíndricas debido a la generación de gas. Una mayor generación de gas debería llevar a un aumento mayor en la altura de la célula cilíndrica, debido a una mayor presión de gas. Se aplicó un potencial de aproximadamente 3,0 voltios a cada una de las células EDLC, mientras se mantenían las células a una temperatura de aproximadamente 65 grados Celsius (condiciones de ensayo de resistencia) durante un período de tiempo de aproximadamente 486 horas. A continuación, se retiró el potencial, se enfriaron las células de EDLC a temperatura ambiente y se determinó el aumento de altura de cada una de las células de EDLC. La Figura 5 muestra un gráfico de barras del aumento de altura de cada una de las células de EDLC cilíndricas inducidas por la presión debida al gas generado dentro de las células de EDLC. Como se muestra en la Figura 5, las células EDLC Comp. 2 tuvieron un aumento promedio de altura de las células cilíndricas de aproximadamente 0,86 mm. Por el contrario, las células de EDLC 2 tuvieron un aumento promedio de altura de las células cilíndricas de aproximadamente 0,58 mm, las células de EDLC 3 tuvieron un aumento promedio de altura de las células cilíndricas de aproximadamente 0,45 mm, y las células de EDLC 4 tuvieron un aumento promedio de altura de las células cilíndricas de unos 0,26 mm.

50 Esto muestra claramente que los EDLC que incluyen la formulación de electrolito descrita en la presente memoria (es decir, una formulación de electrolito que incluye benzonitrilo o cualquiera de los estabilizadores descritos en la presente memoria) generan una cantidad menor de gas en comparación con los EDLC que no incluyen la formulación de electrolito descrita en la presente memoria. Además, la reducción en la generación de gas es proporcional a la cantidad de estabilizador en la formulación del electrolito.

55 La Figura 6 y la Figura 7 muestran los resultados de los ensayos de resistencia realizados en las células EDLC Comp. 3 y EDLC 5. Cada una de las células se acondicionó durante aproximadamente 92 horas antes de realizar el ensayo de resistencia. El acondicionamiento se realizó manteniendo las células a 3,0 voltios y 65 grados Celsius durante aproximadamente 92 horas. Una vez acondicionadas, cada una de las células se sometió a ensayo de resistencia. Se aplicó un potencial de aproximadamente 3,0 voltios a cada una de las células, mientras se mantenían las células a una temperatura de aproximadamente 65 grados Celsius (condiciones del ensayo de resistencia). Se midieron ESR y

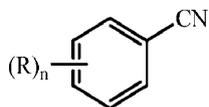
la capacitancia de las células periódicamente a aproximadamente 0 horas, 100 horas, 200 horas, 500 horas, 750 horas, 1.000 horas, 1.250 horas, 1.500 horas y 2.100 horas del ensayo. Se descargaron las células y se dejaron enfriar a temperatura ambiente permitiendo el reposo de las mismas durante aproximadamente 3 horas antes de medir ESR y la capacitancia. Después de tomar la medida, se devolvieron las células a las condiciones del ensayo de resistencia.

5 Se midió ESR descargando las células de 3,0 voltios, precedido de una retención de 10 minutos a una tensión de 3,0 voltios, a 50 amperios. En la curva de tensión de descarga (es decir, la curva de tensión frente a tiempo), se extrapola una línea desde el tiempo = 1 segundo y tiempo = 3 segundos hasta tiempo = 0. Se resta el punto de corte con el eje y en tiempo = 0 de la tensión máxima de 3,0 voltios, y se toma esta diferencia como la caída de tensión. Se usa esta
 10 tensión para calcular ESR a través de la ley de Ohm, que es el procedimiento normalizado usado en la industria para determinar ESR. Como se muestra en la Figura 6, EDLC 5-1 demostró una ganancia de ESR de aproximadamente un 1.500 % de ESR inicial, y EDLC 5-2 demostró una ganancia de ESR de aproximadamente un 1.200% de ESR inicial, después de aproximadamente 2.100 horas del ensayo de resistencia. Esto fue mucho menor que las células de EDLC Comp. 3 (células EDLC 3-1 y EDLC 3-2) que demostraron una ganancia de ESR de aproximadamente un 4.000 % de ESR inicial después de solo aproximadamente 1.500 horas del ensayo de resistencia. Esto muestra que las células
 15 de EDLC que incluyen una formulación de electrolito que incluye el aditivo de benzonitrilo pueden tener un aumento sustancialmente menor de ESR en comparación con ESR inicial, en comparación con los EDLC convencionales que incluyen formulaciones de electrolito que no incluyen el aditivo de benzonitrilo.

La capacidad retenida por cada una de las células EDLC Comp. 3 y las células EDLC 5 durante el período de ensayo de resistencia se muestran en la Figura 7. La capacitancia retenida por las células se midió descargando las células
 20 de 3,0 voltios a 0,1 voltios a una corriente de descarga de 50 amperios. Cada descarga vino precedida por una retención de 10 minutos a una tensión de aproximadamente 3,0 voltios. Las mediciones de capacitancia mostradas en la Figura 7 muestran la capacitancia en el intervalo de voltaje de 2,4 voltios a 1,2 voltios, que representa la descarga de un 80 % a un 40 % del valor nominal de las células de aproximadamente 3,0 voltios, que es el intervalo comúnmente utilizado en la industria para medir la capacitancia. Como se muestra en la Figura 7, las células de EDLC 5-1 y EDLC
 25 5-2 retienen aproximadamente un 85 % de su capacitancia inicial después de aproximadamente 2.100 horas del ensayo de resistencia. En comparación, la capacitancia de las células EDLC Comp. 3 disminuye a aproximadamente un 50 % de la capacitancia inicial después de aproximadamente 2.000 horas en el ensayo de resistencia. Esto muestra que las células de EDLC que incluyen un electrolito que incluye el aditivo de benzonitrilo retienen una parte sustancialmente mayor de su capacitancia en comparación con los EDLC convencionales que incluyen formulaciones
 30 de electrolito que no incluyen el aditivo de benzonitrilo.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una formulación de electrolito adecuada para uso en un dispositivo de almacenamiento de energía, comprendiendo dicha formulación una especie iónica, un disolvente que incluye un compuesto de nitrilo y un estabilizador en un intervalo de aproximadamente un 0,01% a aproximadamente un 10 % en volumen del disolvente que comprende un compuesto de fórmula I:



caracterizado por que

R es S (O)₂CF₃, y

n es 1.

- 10 2. La formulación de la reivindicación 1, en la que el estabilizador es aproximadamente un 3 % en volumen del disolvente.
3. La formulación de la reivindicación 1, en la que el compuesto de nitrilo incluye al menos uno de acetonitrilo, propionitrilo y butironitrilo.
4. La formulación de la reivindicación 3, en la que el compuesto de nitrilo es acetonitrilo.
- 15 5. La formulación de la reivindicación 1, en la que el dispositivo de almacenamiento de energía es un condensador eléctrico de doble capa.
6. La formulación de la reivindicación 5, en la que el dispositivo de almacenamiento de energía tiene una tensión de operación mayor que aproximadamente 3 voltios.
- 20 7. La formulación de la reivindicación 5, en la que el dispositivo de almacenamiento de energía tiene una temperatura de operación mayor que aproximadamente 50 grados Celsius.
8. La formulación de 5, en la que el dispositivo de almacenamiento de energía tiene una tensión de operación mayor que aproximadamente 2,5 voltios y una temperatura de operación mayor que aproximadamente 75 grados Celsius.
9. La formulación de la reivindicación 5, en la que el condensador eléctrico de doble capa tiene una capacidad de al menos aproximadamente 100 F.
- 25 10. La formulación de la reivindicación 1, en la que la especie iónica es una sal de amonio cuaternario.
11. La formulación de la reivindicación 10, en la que la sal de amonio cuaternario incluye al menos uno de tetrafluoroborato de espiro-bipirrolidinio (SBP BF₄), tetrafluoroborato de tetraetilamonio (TEA TFB), tetrafluoroborato de N-etil-N-metilpirrolidinio y tetrafluoroborato de trietil(metil)amonio.
- 30 12. La formulación de la reivindicación 11, en la que la sal de amonio cuaternario es tetrafluoroborato de espiro-bipirrolidinio (SBP BF₄).

Fig. 1

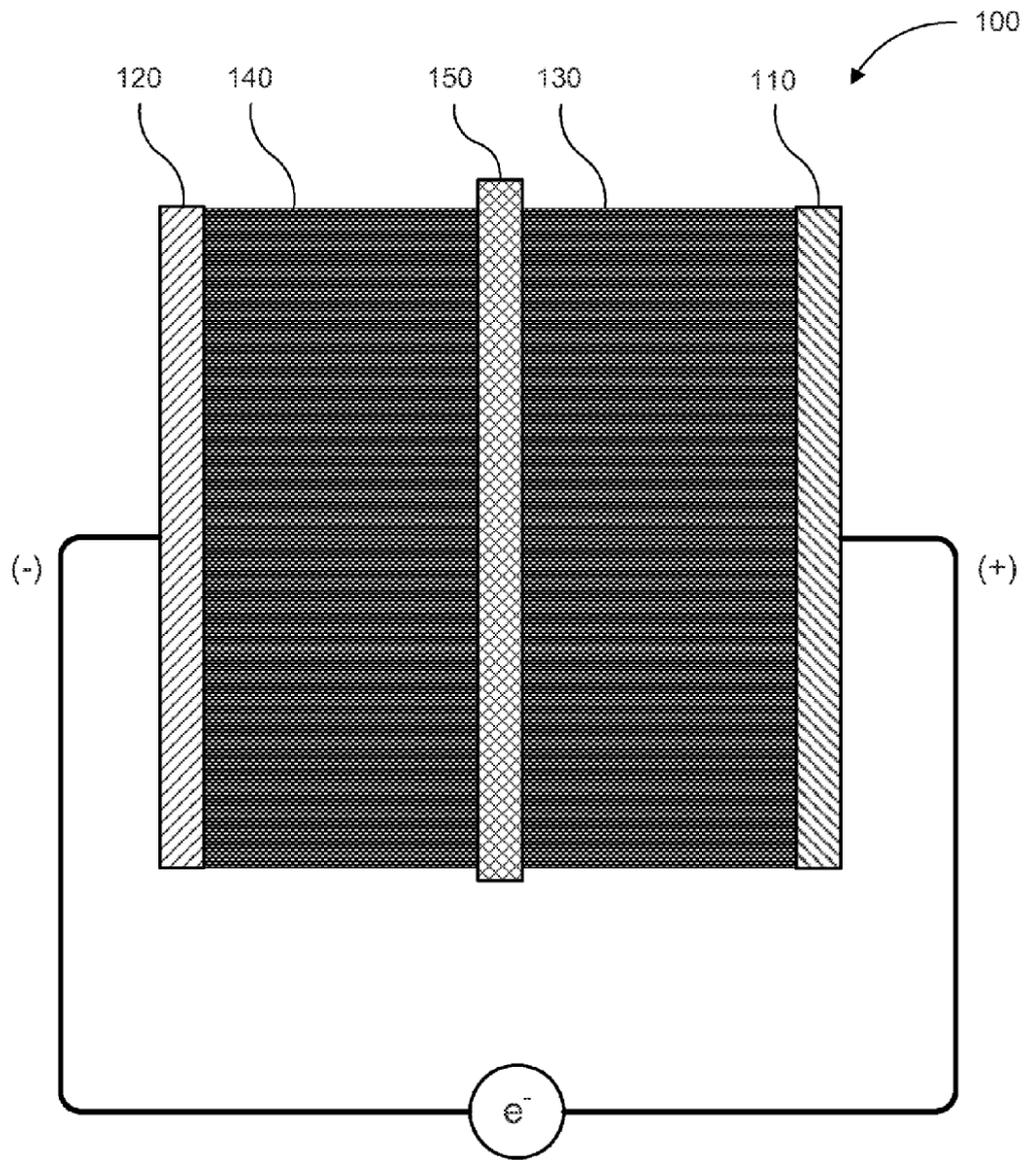
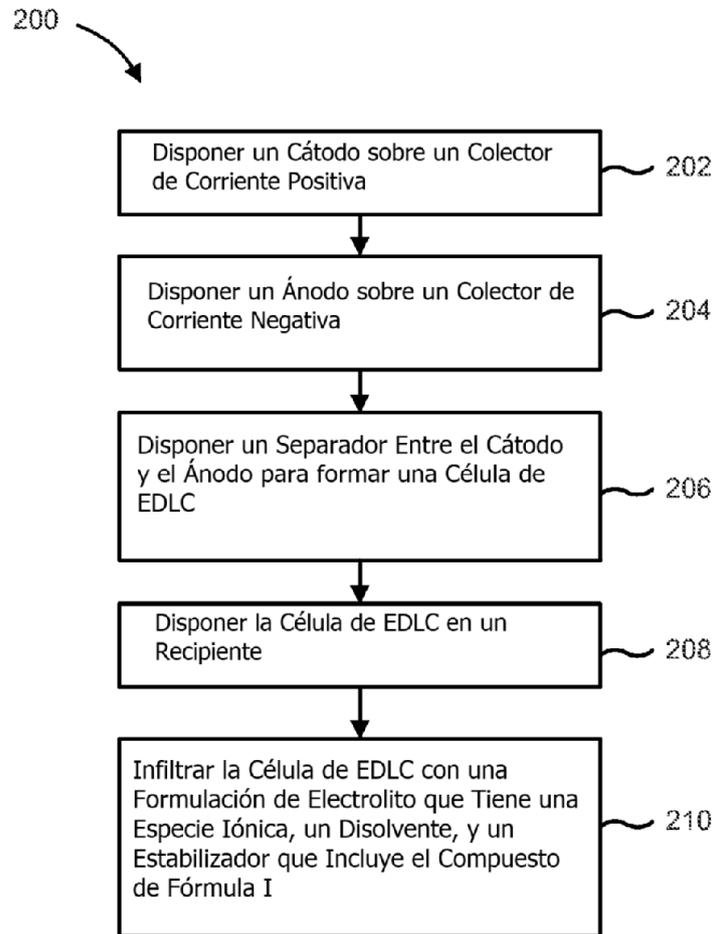
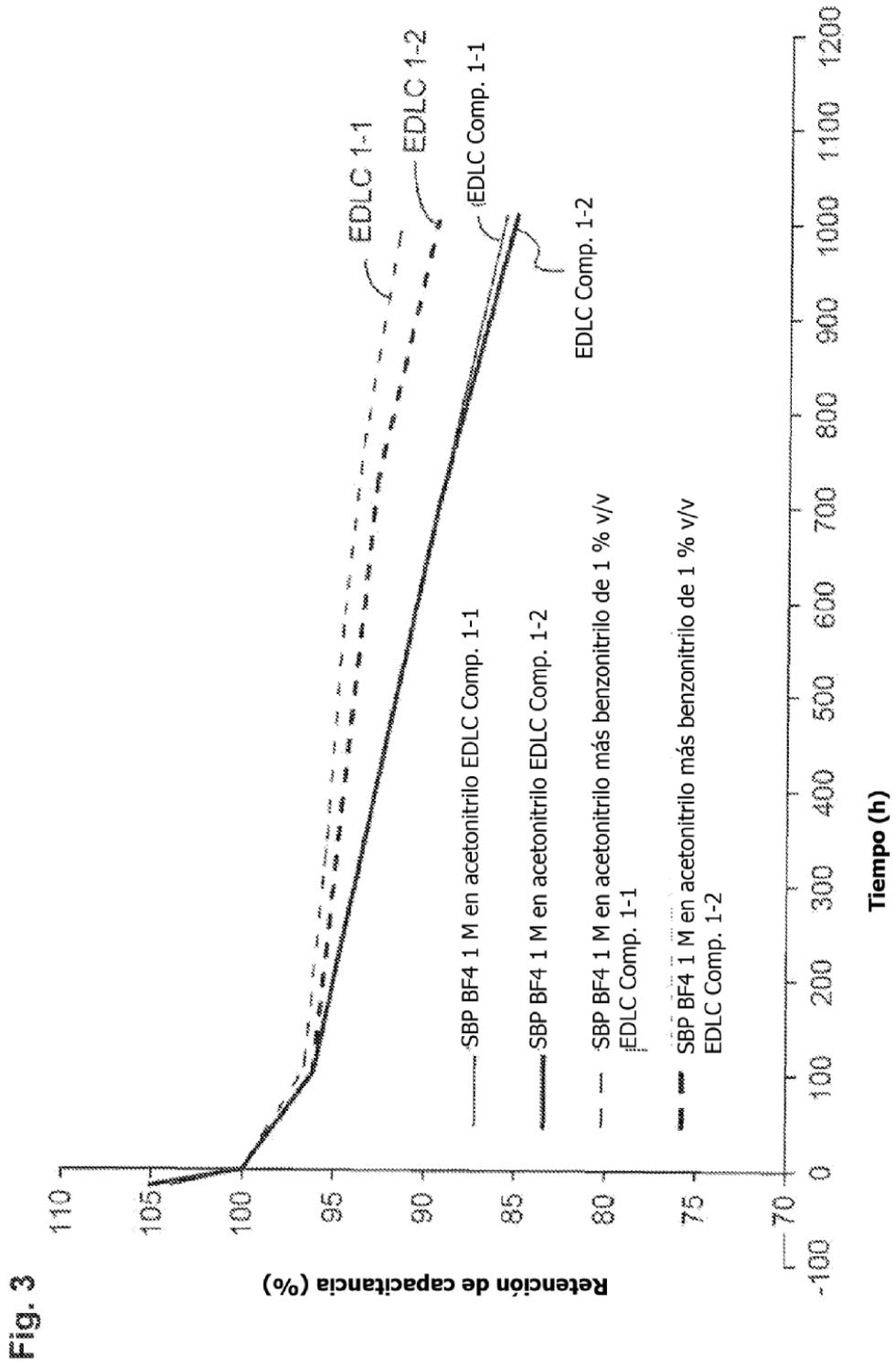


Fig. 2





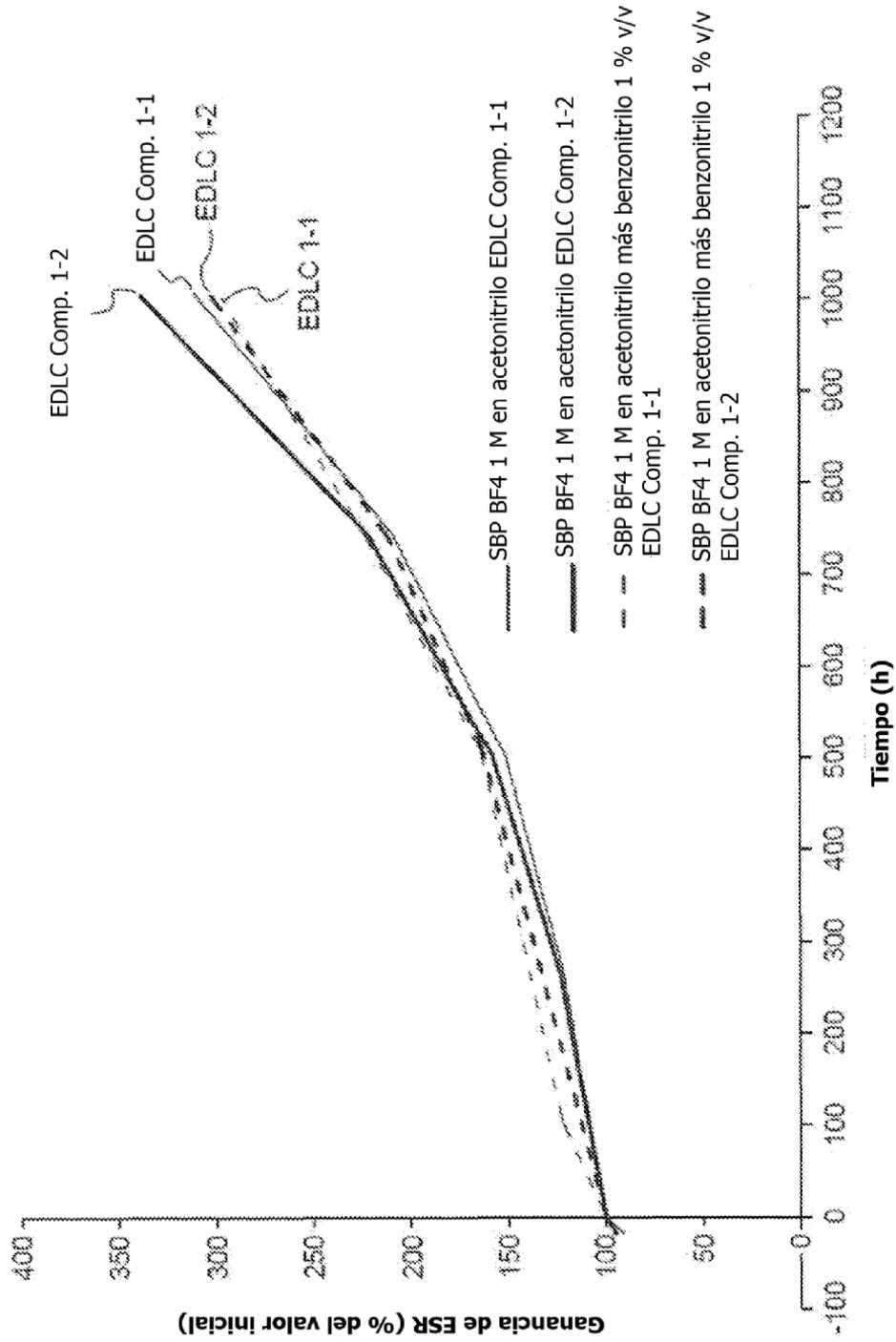


Fig. 4

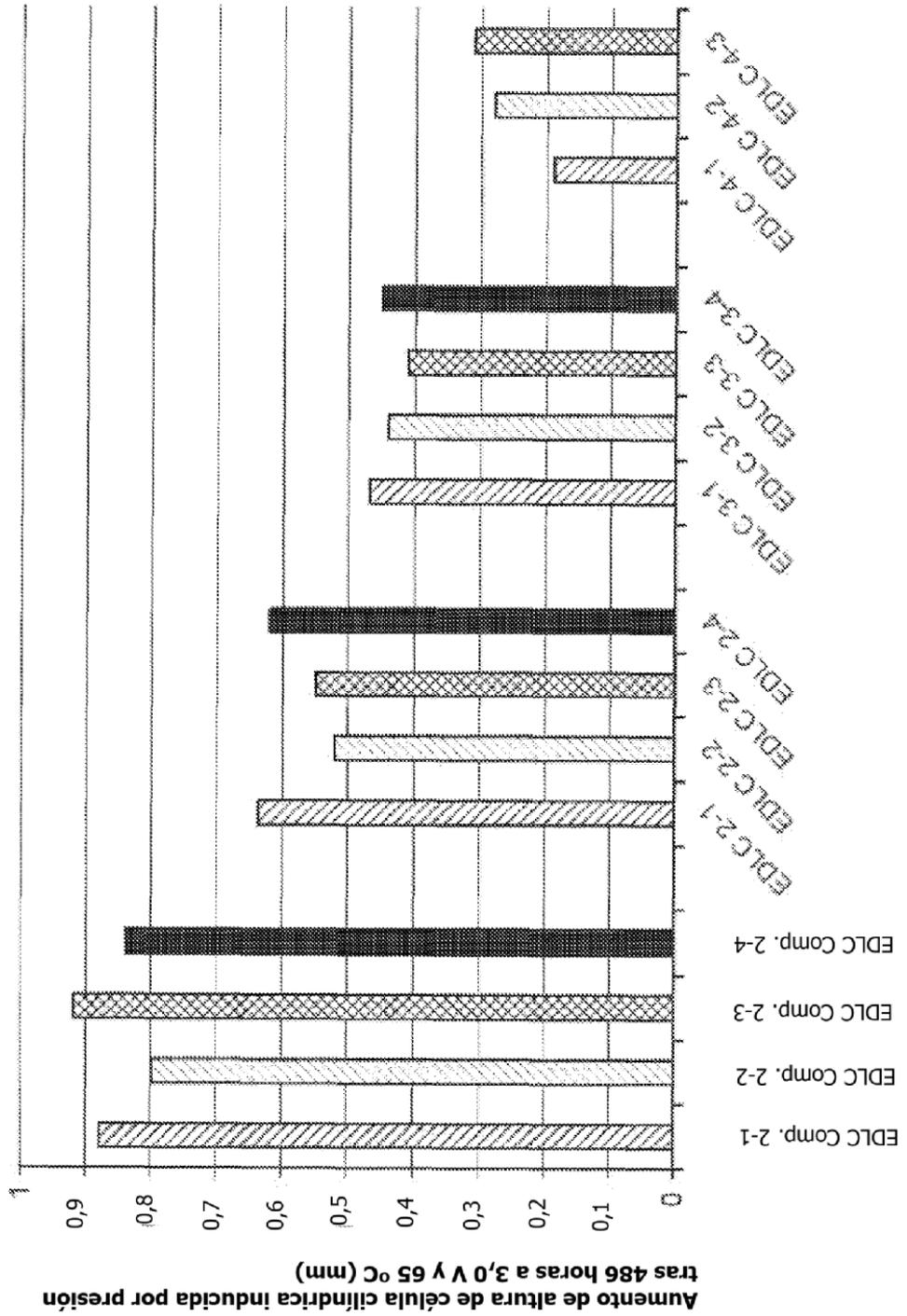


Fig. 5

