

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 940 296**

51 Int. Cl.:

**F26B 5/04** (2008.01)

**H01M 10/058** (2010.01)

**F26B 21/14** (2008.01)

**F26B 3/04** (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.09.2017 E 20201984 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.02.2023 EP 3786557**

54 Título: **Método de secado de conjuntos de electrodos**

30 Prioridad:

**22.09.2016 US 201615272488**

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

**05.05.2023**

73 Titular/es:

**GRST INTERNATIONAL LIMITED (100.0%)  
Unit 1222, 12/F, Building 19W No. 19 Science Park  
West Avenue Hong Kong Science Park Shatin  
New Territories  
Hong Kong, CN**

72 Inventor/es:

**HO, KAM PIU;  
WANG, RANSHI y  
SHEN, PEIHUA**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 940 296 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

Método de secado de conjuntos de electrodos

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere al campo de las baterías. En particular, la presente invención se refiere a métodos de secado de conjuntos de electrodos de baterías de ion litio y conjuntos de electrodos hechos mediante los métodos desvelados en el presente documento.

10

**Antecedentes de la invención**

Las baterías de ion litio (BIL) han despertado un interés considerable en los dos últimos decenios para un amplio abanico de aplicaciones en dispositivos electrónicos portátiles, tales como teléfonos celulares y ordenadores portátiles. Debido al rápido desarrollo del mercado de vehículos eléctricos (VE) y al almacenamiento de energía de la red, alto rendimiento, las BIL de bajo coste ofrecen actualmente una de las opciones más prometedoras para dispositivos de almacenamiento de energía a gran escala.

15

20

En la actualidad, los electrodos se preparan dispersando polvos finos de un material activo del electrodo de batería, un agente conductor y un material aglutinante en un disolvente apropiado. La dispersión puede ser revestida en un colector de corriente, tal como una lámina metálica de cobre o aluminio, y luego secada a una temperatura elevada para eliminar el disolvente. Las hojas del cátodo y del ánodo se apilan o enrollan posteriormente con el separador que separa el cátodo y el ánodo para formar una batería.

25

30

El proceso de fabricación de una batería de ion litio es sensible a la humedad. Una batería con un alto contenido de agua conduce a una importante atenuación del rendimiento electroquímico y afecta a la estabilidad de la batería. Por tanto, la humedad ambiental ha de ser controlada estrictamente para el proceso de producción de BIL. La mayoría de las BIL se producen en un ambiente con menos del 1 por ciento de humedad. Sin embargo, se incurre en un coste significativo debido al riguroso proceso exento de humedad. Para abordar la delicada cuestión de la humedad del conjunto de electrodos, es importante secar el conjunto de electrodos antes del fresado de electrolitos para reducir el contenido de agua en la batería.

35

La patente china N.º 104142045 B describe un método de secado de un conjunto de electrodos de BIL. El método comprende calentar un conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de 30-100 °C; llenar el horno con aire seco o gas inerte; repetir estas dos etapas 1-10 veces. Este método proporciona al conjunto de electrodos un contenido de agua entre 430,5 ppm y 488,1 ppm.

40

La solicitud de patente china N.º 1 05115250 A describe un método de secado de un conjunto de electrodos de BIL. El método comprende calentar un conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de 85±5 °C; llenando el horno con gas nitrógeno seco y caliente; repetir estas dos etapas 10-20 veces. Este método proporciona al conjunto de electrodos un contenido de agua inferior a 200 ppm.

45

La patente china N.º 102735023 B describe un método de secado de un conjunto de electrodos de BIL. El método comprende calentar un conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de 20-70 °C; llenar el horno con aire seco o gas nitrógeno; repetir estas dos etapas 5-50 veces. Este método proporciona al conjunto de electrodos un contenido de agua entre 110,1 ppm y 137,2 ppm.

50

La patente china N.º 103344097 B describe un método de secado de un conjunto de electrodos de BIL. El método comprende calentar un conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de 75-85 °C; llenar el horno con un gas no oxidante; calentar el conjunto de electrodos a 75-85 °C; secar al vacío el conjunto de electrodos de nuevo. Sin embargo, este método no proporciona el contenido de agua del conjunto de electrodos seco para evaluar el proceso de secado.

55

Los documentos CN 105865159 A y US 2007/009803 A1 divulgan diferentes métodos para secar un conjunto de electrodos.

60

El contenido de agua de los conjuntos de electrodos conforme se secan con los métodos existentes, oscilan entre cien ppm y varios cientos de ppm, lo cual pueden afectar a la estabilidad del ciclo y a la intensidad de corriente de las BIL. En vista de lo anterior, siempre existe la necesidad de desarrollar un método de secado de conjuntos de electrodos de BILs con un bajo contenido de agua.

**Sumario de la invención**

65

Las necesidades antes mencionadas se satisfacen mediante diversos aspectos y realizaciones divulgados en el presente documento.

En un aspecto, en el presente documento se proporciona un método de secado de un conjunto de electrodos, que comprende las etapas de:

- 5 1) apilar al menos un ánodo, al menos un cátodo, y al menos un separador interpuesto entre el al menos un ánodo y al menos un cátodo para preparar un conjunto de electrodos;
  - 2) colocar el conjunto de electrodos en una cámara de secado;
  - 10 3) secar el conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 155 °C;
  - 4) llenar la cámara de secado con aire seco o gas inerte; y
  - 15 5) repetir las etapas 3) y 4) para obtener un conjunto de electrodos seco,
- en donde el contenido de agua del conjunto de electrodos seco es inferior a 20 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos seco.

En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos se seca durante un período de tiempo de aproximadamente 5 horas a aproximadamente 4 horas, o de aproximadamente 30 horas a aproximadamente 2 horas.

En ciertas realizaciones, la presión en la cámara de secado en la etapa 3) se reduce a menos de la presión atmosférica, 25 kPa, 15 kPa, 10 kPa o 5 kPa.

25 En algunas realizaciones, el aire seco o el gas inerte restaura la cámara de secado a presión atmosférica.

En ciertas realizaciones, la temperatura del aire seco o gas inerte es de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 155 °C, o de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 120 °C.

30 En algunas realizaciones, el aire seco o el gas inerte permanece en la cámara de secado durante un período de tiempo de 5 minutos a 2 horas, o de 5 minutos a 30 minutos.

En ciertas realizaciones, las etapas 3) y 4) se repiten entre 2 y 50 veces, entre 2 y 30 veces o entre 2 y 20 veces.

35 En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos seco comprende al menos un ánodo seco y al menos un cátodo seco, en donde el al menos un ánodo seco y al menos un cátodo seco tienen un contenido de agua inferior a 20 ppm, inferior a 15 ppm, inferior a 10 ppm o inferior a 5 ppm en peso, en función del peso total del al menos un ánodo seco y al menos un cátodo seco.

40 En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos seco comprende al menos un separador seco, en donde el al menos un separador seco tiene un contenido de agua inferior a 20 ppm, inferior a 15 ppm, inferior a 10 ppm o inferior a 5 ppm en peso, en función del peso total del al menos un separador seco.

45 En algunas realizaciones, el al menos un separador está hecho de fibras poliméricas seleccionadas entre el grupo que consiste en poliolefina, polietileno, polietileno de alta densidad, polietileno lineal de baja densidad, polietileno de baja densidad, polietileno de peso molecular ultra alto, polipropileno, copolímero de polipropileno/polietileno, polibutileno, polipenteno, poliactal, poliamida, policarbonato, poliimida, poliéter éter cetona, polisulfonas, óxido de polifenileno, sulfuro de polifenileno, poliacrilonitrilo, fluoruro de polivinilideno, polioximetileno, polivinilpirrolidona, poliéster, tereftalato de polietileno, tereftalato de polibutileno, naftaleno de polietileno, naftalato de polibutileno y combinaciones de los mismos.

50 En ciertas realizaciones, el punto de fusión del al menos un separador está por encima de 200 °C.

55 En algunas realizaciones, cada uno del al menos un ánodo y al menos un cátodo comprende independientemente un material aglutinante seleccionado entre el grupo que consiste en caucho de estireno-butadieno, caucho de estireno-butadieno acrilado, copolímero de acrilonitrilo, caucho de acrilonitrilo-butadieno, caucho de nitrilo y butadieno, copolímero de acrilonitrilo-estireno-butadieno, caucho de acrílico, caucho de butilo, caucho de flúor, politetrafluoroetileno, polietileno, polipropileno, copolímeros de etileno/propileno, polibutadieno, óxido de polietileno, polietileno clorosulfonado, polivinilpirrolidona, polivinilpiridina, alcohol polivinílico, acetato de polivinilo, poliepiclorohidrina, polifosfaceno, poliacrilonitrilo, poliestireno, látex, resinas acrílicas, resinas fenólicas, resinas epoxídicas, carboximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, acetato de celulosa, acetato butirato de celulosa, propionato acetato de celulosa, cianoetilcelulosa, cianoetilsacarosa, poliéster, poliamida, poliéter, poliimida, policarboxilato, ácido policarboxílico, ácido poliacrílico, poliacrilato, ácido polimetacrílico, polimetacrilato, poliacrilamida, poliuretano, polímero fluorado, polímero clorado, una sal de ácido algínico, fluoruro de polivinilideno, poli(fluoruro de vinilideno)-hexafluoropropeno, y combinaciones de los mismos.

65

En ciertas realizaciones, la sal de ácido algínico comprende un catión seleccionado entre Na, Li, K, Ca, NH<sub>4</sub>, Mg, Al o una combinación de los mismos.

5 En otro aspecto, se proporciona en el presente documento una batería de litio que comprende el conjunto de electrodos preparado por el método divulgado en el presente documento.

### Breve descripción de los dibujos

- 10 La Figura 1 representa una realización del método divulgado en el presente documento.
- La Figura 2 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un conjunto de electrodos preparada por el método descrito en el Ejemplo 2.
- 15 La figura 3 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un conjunto de electrodos preparada mediante el método descrito en el Ejemplo 4.
- La figura 4 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un conjunto de electrodos preparada mediante el método descrito en el Ejemplo 6.
- 20 La figura 5 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un conjunto de electrodos preparada mediante el método descrito en el Ejemplo 8.
- La figura 6 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un conjunto de electrodos preparada mediante el método descrito en el Ejemplo 10.
- 25 La figura 7 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un conjunto de electrodos preparada mediante el método descrito en el Ejemplo 11.
- La figura 8 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un conjunto de electrodos preparada mediante el método descrito en el Ejemplo 12.
- 30 La figura 9 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un conjunto de electrodos preparada mediante el método descrito en el Ejemplo 13.

### 35 Descripción detallada de la invención

En el presente documento se proporciona un método de secado de un conjunto de electrodos, que comprende las etapas de

- 40 1) apilar al menos un ánodo, al menos un cátodo, y al menos un separador interpuesto entre el al menos un ánodo y al menos un cátodo para preparar un conjunto de electrodos;
- 2) colocar el conjunto de electrodos en una cámara de secado;
- 45 3) secar el conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 155 °C;
- 4) llenar la cámara de secado con aire seco o gas inerte; y
- 50 5) repetir las etapas 3) y 4) para obtener un conjunto de electrodos seco,

en donde el contenido de agua del conjunto de electrodos seco es inferior a 20 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos seco.

55 El término "electrodo" se refiere a un "cátodo" o a un "ánodo".

La expresión "electrodo positivo" se utiliza indistintamente con cátodo. Igualmente, la expresión "electrodo negativo" se utiliza indistintamente con ánodo.

60 La expresión "material aglutinante" se refiere a una sustancia química o una sustancia que puede usarse para mantener el material del electrodo y el agente conductor en su lugar.

65 La expresión "material aglutinante a base de agua" se refiere a un polímero aglutinante soluble en agua o dispersable en agua. Algunos ejemplos no limitantes del material aglutinante a base de agua incluyen caucho de estireno-butadieno, caucho de estireno-butadieno acrilado, caucho de acrilonitrilo-butadieno, caucho de acrílo, caucho de butilo, caucho de flúor, politetrafluoroetileno, polietileno, polipropileno, copolímeros de etileno/propileno, polibutadieno, óxido

de polietileno, polivinilpirrolidona, poliepiclorohidrina, polifosfaceno, poliacrilonitrilo, poliestireno, copolímeros de etileno/propileno/dieno, polivinilpiridina, polietileno clorosulfonado, látex, resinas de poliéster, resinas acrílicas, resinas fenólicas, resinas epoxídicas, alcohol polivinílico, carboximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa y combinaciones de los mismos.

5 La expresión "material aglutinante de base orgánica" se refiere a un aglutinante disuelto o dispersado en un disolvente orgánico, en particular, N-metil-2-pirrolidona (NMP). Algunos ejemplos no limitantes del material aglutinante de base orgánica incluyen politetrafluoroetileno (PTFE), polímero de perfluoroalcoxi (PFA), fluoruro de polivinilideno (PVDF),  
10 copolímero de tetrafluoroetileno (TFE) y hexafluoropropileno (HFP), copolímero de etileno-propileno fluorado (FEP), y terpolímero de tetrafluoroetileno, hexafluoropropileno y fluoruro de vinilideno, y combinaciones de los mismos.

La expresión "colector de corriente" se refiere a un soporte para revestir el material del electrodo y un conductor de alto electrón químicamente inactivo para mantener una corriente eléctrica que fluye hacia los electrodos durante la carga o descarga de una batería secundaria.

15 La expresión "agente conductor" se refiere a un material que es químicamente inactivo y tiene buena conductividad eléctrica. Por tanto, el agente conductor a menudo se mezcla con un material activo de electrodo en el momento de formar un electrodo para mejorar la conductividad eléctrica del electrodo. En algunas realizaciones, el agente conductor es un material carbonoso.

20 La expresión "conjunto de electrodos" se refiere a una estructura que comprende al menos un electrodo positivo, al menos un electrodo negativo y al menos un separador interpuesto entre el electrodo positivo y el electrodo negativo.

25 La expresión "temperatura ambiente" se refiere a temperaturas interiores de aproximadamente 18 °C a aproximadamente 30 °C, por ejemplo, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 o 30 °C. En algunas realizaciones, temperatura ambiente se refiere a una temperatura de aproximadamente 20 °C +/- 1 °C o +/- 2 °C o +/- 3 °C. En otras realizaciones, temperatura ambiente se refiere a una temperatura de aproximadamente 22 °C o aproximadamente 25 °C.

30 Las expresiones "contenido de agua" y "contenido de humedad" se usan indistintamente.

La expresión "presión atmosférica" se refiere a la presión ejercida por el peso de la atmósfera, que tiene un valor medio de 101.325 Pa al nivel del mar.

35 La expresión "tasa C" se refiere a la tasa de carga o descarga de una celda o batería, expresado en términos de su capacidad de almacenamiento total en Ah o mAh. Por ejemplo, una tasa de 1 C significa la utilización de toda la energía almacenada en una hora; 0,1 C significa la utilización del 10 % de la energía en una hora o la energía completa en 10 horas; y 5 C significa la utilización de energía completa en 12 minutos.

40 La expresión "amperios-hora (Ah)" se refiere a una unidad usada para especificar la capacidad de almacenamiento de una batería. Por ejemplo, una batería con capacidad de 1 Ah puede suministrar una corriente de un amperio durante una hora o 0,5 A durante dos horas, etc. Por tanto, 1 amperio-hora (Ah) es el equivalente a 3600 culombios de carga eléctrica. De modo similar, la expresión "miliamperio-hora (mAh)" también se refiere a una unidad de la capacidad de almacenamiento de una batería y es 1/1.000 de un amperio-hora.

45 La expresión "vida cíclica de la batería" se refiere al número de ciclos completos de carga/descarga que una batería puede realizar antes de que su capacidad nominal caiga por debajo del 80 % de su capacidad asignada inicial.

50 En la siguiente descripción, todos los números desvelados en el presente documento son valores aproximados, independientemente de si se usa la palabra "aproximadamente" o "aproximado" en relación con los mismos. Pueden variar en un 1 por ciento, 2 por ciento, 5 por ciento o, a veces, de 10 a 20 por ciento. Siempre que un intervalo numérico con un límite inferior,  $R^L$  y un límite superior,  $R^U$ , se desvele, se desvela específicamente cualquier número que se encuentre dentro del intervalo. En particular, se desvelan específicamente los siguientes números dentro del intervalo:  $R=R^L+k*(R^U-R^L)$ , en donde k es una variable que varía del 1 por ciento al 100 por ciento con un incremento del 1 por  
55 ciento, es decir, k es 1 por ciento, 2 por ciento, 3 por ciento, 4 por ciento, 5 por ciento, ..., 50 por ciento, 51 por ciento, 52 por ciento, ..., 95 por ciento, 96 por ciento, 97 por ciento, 98 por ciento, 99 por ciento o 100 por ciento. Además, cualquier intervalo numérico definido por dos números R como se define en lo anterior también se desvela específicamente.

60 La Figura 1 muestra una realización del método divulgado en el presente documento. Un conjunto de electrodos se realiza al apilar una pluralidad de ánodos y una pluralidad de cátodos con separadores interpuestos entre ellos. El conjunto de electrodos se seca en una cámara de secado al vacío a una temperatura elevada. La cámara de secado se llenó luego con aire seco y caliente. Las etapas de secado al vacío y restauración de la presión se repiten hasta que se alcanza el contenido de agua deseado.

65 Por lo general, los procesos de fabricación de baterías de ion litio se llevan a cabo en recintos secos donde el entorno

ha de ser cuidadosamente controlado para preservar las condiciones óptimas de producción. El punto de rocío del aire es un indicador de la calidad del recinto seco. Los valores típicos del punto de rocío para la producción de baterías oscilan entre -40 °C y -65 °C. La eficacia y la vida útil de una batería se determinan en la fase de producción de una celda.

5 Un conjunto de electrodos puede construirse apilando secuencialmente al menos un electrodo negativo, al menos un separador y al menos un electrodo positivo. El número y la disposición del al menos un electrodo positivo, el al menos un electrodo negativo y el al menos un separador, para configurar el conjunto de electrodos no están particularmente limitados. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos tiene una estructura apilada en la que los dos electrodos más externos comprenden una polaridad opuesta (es decir, un electrodo positivo y un electrodo negativo), tal como una estructura de electrodo positivo/separador/estructura de electrodo negativo o una estructura de electrodo positivo/separador/electrodo negativo/separador/electrodo positivo/separador/electrodo negativo.

10 En algunas realizaciones, se desvela un conjunto de electrodos para su uso en una batería secundaria de electrolito no acuoso. En ciertas realizaciones, se desvela un conjunto de electrodos para su uso en una batería de iones de litio.

15 En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos tiene una estructura apilada en la que los dos electrodos más externos comprenden la misma polaridad (es decir, electrodos positivos o electrodos negativos), tal como una estructura de electrodo positivo/separador/electrodo negativo/separador/electrodo positivo o una estructura de electrodo negativo/separador/electrodo positivo/separador/electrodo negativo.

20 En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos tiene una estructura en la que se dispone un separador en uno de los lados más externos, tal como una estructura de separador/electrodo positivo/separador/electrodo negativo o una estructura de electrodo positivo/separador/electrodo negativo/separador. En otras realizaciones, el conjunto de electrodos tiene una estructura en la que se disponen separadores en ambos lados más externos, tal como una estructura de separador/electrodo positivo/separador/electrodo negativo/separador.

25 En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos se monta bajo un estricto control de humedad en el que el aire tiene un punto de rocío de -65 °C. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos se monta en condiciones secas en las que el aire tiene un punto de rocío de -50 °C, -40 °C, -30 °C, -20 °C, -10 °C, 0 °C, 5 °C o 10 °C. En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos se monta al aire libre sin control de la humedad.

30 En algunas realizaciones, no es necesario que la etapa de montaje para el conjunto de electrodos se lleve a cabo en una estancia seca. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos se puede montar con una humedad relativa de aproximadamente 40 % a aproximadamente 100 %, de aproximadamente el 40 % a aproximadamente el 90 %, de aproximadamente el 40 % a aproximadamente el 80 %, de aproximadamente el 50 % a aproximadamente el 100 %, de aproximadamente de aproximadamente el 50 % a aproximadamente el 90 %, de aproximadamente el 50 % a aproximadamente el 80 %, de aproximadamente el 60% a aproximadamente el 100% o de aproximadamente el 60% a aproximadamente el 90%. En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos se puede montar con una humedad relativa mayor del 40 %, mayor del 50 %, mayor del 60 %, mayor del 70 % o mayor del 80 %. Por lo general, el conjunto de electrodos preparado se secará inmediatamente después de la etapa de montaje. Una de las ventajas de la presente invención es que el conjunto de electrodos preparado no es necesario para su uso inmediato. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos se puede almacenar durante al menos 1 hora, 2 horas, 3 horas, 5 horas, 8 horas, 12 horas, 1 día, 2 días, 3 días, 4 días, 5 días, 6 días o 1 semana al aire libre a temperatura ambiente y a presión atmosférica antes de la etapa de secado a alta temperatura. En otras realizaciones, el conjunto de electrodos se puede almacenar durante al menos 1 hora, 2 horas, 3 horas, 5 horas, 8 horas, 12 horas, 1 día, 2 días, 3 días, 4 días, 5 días, 6 días o 1 semana a una temperatura elevada (tal como 40-60 °C) a presión atmosférica antes de la etapa de secado a alta temperatura.

35 Otra ventaja de la presente invención es que el electrodo preparado se puede almacenar a una temperatura elevada (tal como 40-60 °C) a presión atmosférica durante un tiempo relativamente largo (tal como 1-3 meses) sin controlar la humedad. A pesar del tiempo de almacenamiento relativamente largo de los electrodos en condiciones de humedad no controlada, el conjunto de electrodos aún se puede secar hasta un contenido de humedad bajo deseado (tal como, por debajo de 20 ppm o incluso menor).

40 Antes de montar el conjunto de electrodos, no se requiere una etapa previa de secado para el cátodo y/o el ánodo. Antes de montar el conjunto de electrodos, se mide el contenido de agua de los electrodos. En algunas realizaciones, el contenido de agua de los electrodos es de aproximadamente 100 ppm a aproximadamente 1.000 ppm, de aproximadamente 100 ppm a aproximadamente 800 ppm, de aproximadamente 100 ppm a aproximadamente 600 ppm, de aproximadamente 100 ppm a aproximadamente 400 ppm, por ejemplo, de aproximadamente 100 ppm a aproximadamente 200 ppm de aproximadamente 200 ppm a aproximadamente 600 ppm. En ciertas realizaciones, el contenido de agua de los electrodos es superior a 100 ppm, superior a 200 ppm, superior a 400 ppm, superior a 600 ppm, superior a 800 ppm, superior a 1.000 ppm, superior a 1.500 ppm, superior a 2.000 ppm, superior a 2.500 ppm o superior a 3.000 ppm.

45 El separador dispuesto entre las superficies opuestas del ánodo y el cátodo activo puede evitar el contacto entre el

ánodo y el cátodo y un cortocircuito de la batería de ion litio. En algunas realizaciones, el separador puede comprarse fibras poliméricas tejidas o no tejidas, fibras naturales, fibras de carbono, fibras de vidrio o fibras de cerámica. En ciertas realizaciones, el separador comprende fibras poliméricas tejidas o no tejidas.

- 5 En algunas realizaciones, las fibras del no tejido o tejido están hechas de polímeros orgánicos, tales como poliolefina, polietileno (PE), polietileno de alta densidad, polietileno lineal de baja densidad, polietileno de baja densidad, polietileno de peso molecular ultraalto, polipropileno (PP), copolímero de polipropileno/polietileno, polibutileno, polipenteno, poliacetato, poliamida, policarbonato, poliimida (PI), poliéter éter cetona, polisulfonas, óxido de polifenileno, sulfuro de polifenileno, poliacrilonitrilo, fluoruro de polivinilideno, polioximetileno, polivinilpirrolidona, poliéster, tereftalato de polietileno (PET), tereftalato de polibutileno, naftaleno de polietileno, naftalato de polibutileno, derivados de los mismos o una combinación de los mismos. En ciertas realizaciones, el separador está hecho de fibras poliolefínicas seleccionadas entre el grupo que consiste en polietileno, polietileno de alta densidad, polietileno lineal de baja densidad, polietileno de baja densidad, polietileno de peso molecular ultraalto, polipropileno, copolímero de polipropileno/polietileno y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el separador está hecho de fibras poliméricas seleccionadas entre el grupo que consiste en poliéster, poliacetato, poliamida, policarbonato, poliimida, poliéter éter cetona, polietersulfona, óxido de polifenileno, sulfuro de polifenileno, naftaleno de polietileno y combinaciones de los mismos. En otras realizaciones, la fibra polimérica no es polietileno, polietileno de alta densidad, polietileno lineal de baja densidad, polietileno de baja densidad, polietileno de peso molecular ultraalto, polipropileno o copolímero de polipropileno/polietileno. En realizaciones adicionales, la fibra polimérica no es poliacetato, polietersulfona, óxido de polifenileno, sulfuro de polifenileno o policarbonato. En otras realizaciones más, la fibra polimérica no es poliamida, poliimida o poliéter éter cetona. Pero también pueden usarse todas las demás fibras poliméricas conocidas o muchas fibras naturales.

25 En ciertas realizaciones, el separador divulgado en el presente documento tiene un punto de fusión de 100 °C o más, 110 °C o más, 120 °C o más, 130 °C o más, 140 °C o más, 150 °C o más, 160 °C o más, 170 °C o más, 180 °C o más, 190 °C o más, 200 °C o más, 210 °C o más, 220 °C o más, 230 °C o más, 240 °C o más o 250 °C o más. En algunas realizaciones, el separador tiene un punto de fusión de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 300 °C, de aproximadamente 120 °C a aproximadamente 300 °C, de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 250 °C, de aproximadamente 120 °C a aproximadamente 250 °C, de aproximadamente 140 °C a aproximadamente 250 °C, de aproximadamente 160 °C a aproximadamente 250 °C, de aproximadamente 180 °C a aproximadamente 250 °C, o de aproximadamente 200 °C a aproximadamente 250 °C. El separador que tiene un alto punto de fusión muestra una alta estabilidad térmica y, por lo tanto, se puede secar a alta temperatura sin contraerse térmicamente. Esto también permite que el secado se realice de forma más eficaz. Por tanto, el conjunto de electrodos puede secarse en un tiempo relativamente corto, lo que da como resultado un tiempo de producción corto.

35 El separador puede estar en forma revestida o no revestida. En algunas realizaciones, el separador tiene un grosor de aproximadamente 10 µm a aproximadamente 200 µm, de aproximadamente 30 µm a aproximadamente 100 µm, de aproximadamente 10 µm a aproximadamente 75 µm, de aproximadamente 10 µm a aproximadamente 50 µm, de aproximadamente 10 µm a aproximadamente 20 µm, de aproximadamente 15 µm a aproximadamente 40 µm, de aproximadamente 15 µm a aproximadamente 35 µm, de aproximadamente 20 µm a aproximadamente 40 µm, de aproximadamente 20 µm a aproximadamente 35 µm, de aproximadamente 20 µm a aproximadamente 30 µm, de aproximadamente 30 µm a aproximadamente 60 µm, de aproximadamente 30 µm a aproximadamente 50 µm o de aproximadamente 30 µm a aproximadamente 40 µm.

45 En ciertas realizaciones, el separador tiene un grosor de aproximadamente 15 µm, aproximadamente 20 µm o aproximadamente 25 µm. En algunas realizaciones, el separador de la presente invención tiene un grosor inferior a 40 µm, inferior a 35 µm, inferior a 30 µm, inferior a 25 µm o inferior a 20 µm. Si el separador es lo suficientemente fino, la humedad puede evaporarse a altas velocidades de secado.

50 En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos está escasamente apilado. En el conjunto de electrodos escasamente apilado, hay un espacio vacío entre la capa de electrodo y la capa de separador, permitiendo que la humedad se escape. Por tanto, el conjunto de electrodos escasamente apilado puede secarse de manera eficaz en un corto período de tiempo. Por otro lado, cuando el conjunto de electrodos se comprimió bajo presión antes de secarse, el conjunto de electrodos fuertemente agrupado tiene un espacio vacío escaso o nulo entre la capa de electrodo y la capa de separador, reduciendo por tanto el flujo de aire y la eficacia de secado.

60 En ciertas realizaciones, el electrodo positivo, el separador y el electrodo negativo se apilan y se enrollan en espiral en una configuración de tipo rollo antes de secarse. Puesto que el conjunto de electrodos de tipo rollo está fuertemente agrupado, hay también un espacio vacío pequeño o nulo entre la capa de electrodo y la capa de separador, reduciendo por tanto el flujo de aire y la eficacia de secado. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos no está enrollado en espiral.

65 Un electrodo positivo incluye una capa de electrodo de cátodo soportada en un colector de corriente catódica. La capa de electrodo de cátodo comprende al menos un material catódico y un material aglutinante. La capa de electrodo de cátodo puede comprender además un agente conductor para mejorar la conductividad de los electrones de la capa de electrodo de cátodo. Un electrodo negativo incluye una capa de electrodo de ánodo soportada en un colector de

corriente anódica. La capa de electrodo de ánodo comprende al menos un material anódico y un material aglutinante. La capa de electrodo de ánodo puede comprender además un agente conductor para mejorar la conductividad de los electrones de la capa de electrodo de ánodo.

5 En algunas realizaciones, el al menos un cátodo comprende un colector de corriente catódica y una capa de electrodo de cátodo que comprende un material catódico, un material aglutinante y un agente conductor, y el al menos un ánodo comprende un colector de corriente anódica y una capa de electrodo de ánodo que comprende un material anódico, un material aglutinante y un agente conductor, en donde cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo tiene independientemente un volumen de vacío inferior a 40 %, inferior al 37 %, inferior al 35 %, inferior al 33 %, inferior al 30 %, inferior al 25 %, inferior al 20 %, inferior al 18 %, inferior al 15 %, inferior al 13 %, inferior al 10 % o inferior al 8 %, en función del volumen total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo. En ciertas realizaciones, cuando el volumen de vacío de la capa de electrodo está entre 8 % y 40 %, entre el 8 % y el 35 %, entre el 8 % y el 30 %, entre el 10 % y el 30 %, entre el 13 % y el 30 %, entre el 13 % y el 33 %, entre el 15 % y el 30 %, entre el 18 % y el 30 %, entre el 20 % y el 30 %, o entre el 25 % y el 30 %, en función del volumen total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

Si el volumen de vacío de la capa de electrodo es del 35 % o más, tanto la densidad de energía como la potencia de salida de la batería son bajas. Cuando el volumen de vacío de la capa de electrodo está entre 10 % y 35 %, la batería muestra una buena difusividad de los iones litio y un alto rendimiento.

El colector de corriente actúa para recoger los electrones generados por las reacciones electroquímicas del material activo del electrodo de batería o para suministrar los electrones necesarios para las reacciones electroquímicas. En algunas realizaciones, cada uno de los colectores de corriente de cátodo y ánodo, que puede tener la forma de una lámina, hoja o película, es independientemente de acero inoxidable, titanio, níquel, aluminio, cobre o resina conductora de electricidad. En ciertas realizaciones, el colector de corriente catódica es una película fina de aluminio. En algunas realizaciones, el colector de corriente anódica es una película fina de cobre. En ciertas realizaciones, el colector de corriente no es sometido a un tratamiento de la superficie.

En algunas realizaciones, el colector de corriente tiene un grosor de aproximadamente 6  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ . El grosor del colector de corriente afectará al volumen ocupado por el colector de corriente dentro de una batería y la cantidad de material del electrodo y, por ende, a la capacidad en la batería.

En ciertas realizaciones, el grosor de cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo en el colector de corriente está independientemente de aproximadamente 1  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 300  $\mu\text{m}$ , de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 300  $\mu\text{m}$ , de aproximadamente 20  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ , de aproximadamente 1  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ , de aproximadamente 1  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 50  $\mu\text{m}$ , de aproximadamente 1  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 40  $\mu\text{m}$ , de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 40  $\mu\text{m}$ , de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 30  $\mu\text{m}$  o de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 25  $\mu\text{m}$ . En algunas realizaciones, el grosor de la capa de electrodo en el colector de corriente es de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ , aproximadamente 15  $\mu\text{m}$ , aproximadamente 20  $\mu\text{m}$ , aproximadamente 25  $\mu\text{m}$ , aproximadamente 30  $\mu\text{m}$ , aproximadamente 35  $\mu\text{m}$  o aproximadamente 40  $\mu\text{m}$ .

En algunas realizaciones, la densidad de cada una de las capas de los electrodos de cátodo y ánodo en el colector de corriente está independientemente de aproximadamente 1,0  $\text{g/cm}^3$  a aproximadamente 6,5  $\text{g/cm}^3$ , de aproximadamente 1,0  $\text{g/cm}^3$  a aproximadamente 5,0  $\text{g/cm}^3$ , de aproximadamente 1,0  $\text{g/cm}^3$  a aproximadamente 4,0  $\text{g/cm}^3$ , de aproximadamente 1,0  $\text{g/cm}^3$  a aproximadamente 3,5  $\text{g/cm}^3$ , de aproximadamente 1,0  $\text{g/cm}^3$  a aproximadamente 3,0  $\text{g/cm}^3$ , de aproximadamente 1,0  $\text{g/cm}^3$  a aproximadamente 2,0  $\text{g/cm}^3$ , de aproximadamente 2,0  $\text{g/cm}^3$  a aproximadamente 5,0  $\text{g/cm}^3$ , de aproximadamente 2,0  $\text{g/cm}^3$  a aproximadamente 4,0  $\text{g/cm}^3$ , de aproximadamente 3,0  $\text{g/cm}^3$  a aproximadamente 5,0  $\text{g/cm}^3$ , o de aproximadamente 3,0  $\text{g/cm}^3$  a aproximadamente 6,0  $\text{g/cm}^3$ . De modo similar, un aumento en la densidad de la capa de electrodo dará como resultado una reducción del volumen vacío en el revestimiento del electrodo final y un electrodo más denso, logrando de esa manera la capacidad deseada de la batería.

En ciertas realizaciones, el material catódico se selecciona entre el grupo que consiste en  $\text{LiCoO}_2$  (LCO),  $\text{LiNiO}_2$  (LNO),  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ ,  $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ ,  $\text{LiV}_2\text{O}_5$ ,  $\text{LiTiS}_2$ ,  $\text{LiMoS}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$ ,  $\text{LiCrO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  (LMO),  $\text{LiFeO}_2$ ,  $\text{LiFePO}_4$  (LFP),  $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$ ,  $\text{LiNi}_{0,4}\text{Mn}_{1,6}\text{O}_4$  y combinaciones de los mismos, en donde cada x es independientemente de 0,3 a 0,8; cada y es independientemente de 0,1 a 0,45; y cada z es independientemente de 0 a 0,2. En ciertas realizaciones, el material catódico se selecciona entre el grupo que consiste en  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ ,  $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ ,  $\text{LiV}_2\text{O}_5$ ,  $\text{LiTiS}_2$ ,  $\text{LiMoS}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$ ,  $\text{LiCrO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFeO}_2$ ,  $\text{LiFePO}_4$ ,  $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$ ,  $\text{LiNi}_{0,4}\text{Mn}_{1,6}\text{O}_4$  y combinaciones de los mismos, en donde cada x es independientemente de 0,4 a 0,6; cada y es independientemente de 0,2 a 0,4; y cada z es independientemente de 0 a 0,1. En otras realizaciones, el material catódico no es  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiV}_2\text{O}_5$ ,  $\text{LiTiS}_2$ ,  $\text{LiMoS}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$ ,  $\text{LiCrO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFeO}_2$ ,  $\text{LiFePO}_4$ ,  $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{1,5}\text{O}_4$  o  $\text{LiNi}_{0,4}\text{Mn}_{1,6}\text{O}_4$ . En realizaciones adicionales, el material catódico no es  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ ,  $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ , o  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ , en donde cada x es independientemente de 0,3 a 0,8; cada y es independientemente de 0,1 a 0,45; y cada z es independientemente de 0 a 0,2.

En ciertas realizaciones, el material activo catódico es un material activo catódico que contiene níquel. En algunas realizaciones, el material activo catódico que contiene níquel se selecciona del grupo que consiste en  $\text{Li}_{1+x}\text{NiO}_2$ ,  $\text{Li}_{1+x}\text{Ni}_a\text{Mn}_b\text{O}_2$ ,  $\text{Li}_{1+x}\text{Ni}_a\text{Co}_c\text{O}_2$ ,  $\text{Li}_{1+x}\text{Ni}_a\text{Mn}_b\text{Co}_c\text{O}_2$ ,  $\text{Li}_{1+x}\text{Ni}_a\text{Co}_c\text{Al}_{(1-a-c)}\text{O}_2$ , y combinaciones de los mismos, en donde  $0 \leq x \leq 0,2$ ,  $0 \leq a \leq 1$ ,  $0 \leq b \leq 1$ ,  $0 \leq c \leq 1$ , y  $a+b+c \leq 1$ . En ciertas realizaciones, el material activo catódico que contiene níquel es  $\text{Li}_{1+x}\text{Ni}_a\text{Mn}_b\text{Co}_c\text{O}_2$ , en donde  $0 \leq x \leq 0,2$ ,  $0,3 \leq a \leq 0,8$ ,  $0,1 \leq b \leq 0,3$  y  $0,1 \leq c \leq 0,3$ . En ciertas realizaciones, el material activo catódico que contiene níquel se selecciona del grupo que consiste en  $\text{LiNi}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33}\text{O}_2$  (NMC333),  $\text{LiNi}_{0,4}\text{Mn}_{0,4}\text{Co}_{0,2}\text{O}_2$  (NMC442),  $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{0,3}\text{Co}_{0,2}\text{O}_2$  (NMC532),  $\text{LiNi}_{0,6}\text{Mn}_{0,2}\text{Co}_{0,2}\text{O}_2$  (NMC622),  $\text{LiNi}_{0,7}\text{Mn}_{0,15}\text{Co}_{0,15}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_{0,8}\text{Mn}_{0,1}\text{Co}_{0,1}\text{O}_2$  (NMC811),  $\text{Li}_{0,9}\text{Mn}_{0,05}\text{Co}_{0,05}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_{0,92}\text{Mn}_{0,04}\text{Co}_{0,04}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$  (NCA)  $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{0,5}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_{0,6}\text{Mn}_{0,4}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_{0,7}\text{Mn}_{0,3}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_{0,8}\text{Mn}_{0,2}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_{0,5}\text{Co}_{0,5}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_{0,6}\text{Co}_{0,4}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_{0,7}\text{Co}_{0,3}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,2}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$  y combinaciones de los mismos. El óxido compuesto que contiene níquel es relativamente inestable en un ambiente que contiene humedad. Por tanto, el rendimiento del cátodo que comprende el material activo catódico rico en níquel se ve fuertemente afectado por el contenido de humedad residual en una batería.

En algunas realizaciones, el materia anódico se selecciona entre el grupo que consiste en material particulado de grafito natural, material particulado de grafito sintético, material particulado de Sn (estaño), material particulado de  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ , material particulado de Si (silicio), material particulado compuesto de Si-C y combinaciones de los mismos. En otras realizaciones, el material anódico no es un material particulado de grafito natural, material particulado de grafito sintético, material particulado de Sn (estaño), material particulado de  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ , material particulado de Si (silicio), o material particulado compuesto de Si-C.

En ciertas realizaciones, la cantidad de cada uno de los materiales catódicos y anódicos es independientemente al menos el 50 %, al menos el 55 %, al menos el 60 %, al menos el 65 %, al menos el 70 %, al menos el 75 %, al menos el 80 %, al menos el 85 %, al menos 90 % o al menos 95 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo. En algunas realizaciones, la cantidad de cada uno de los materiales catódicos y anódicos es independientemente como máximo 50 %, como máximo el 55 %, como máximo el 60 %, como máximo el 65 %, como máximo el 70 %, como máximo el 75 %, como máximo el 80 %, como máximo el 85 %, como máximo el 90 % o como máximo el 95 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

En algunas realizaciones, el agente conductor se selecciona entre el grupo que consiste en carbono, negro de carbono, grafito, grafito expandible, grafeno, nanoplaquitas de grafeno, fibras de carbono, nanofibras de carbono, escamas de carbono grafitizado, tubos de carbono, nanotubos de carbono, carbono activado, carbono mesoporoso y combinaciones de los mismos. En ciertas realizaciones, el agente conductor no es carbono, negro de carbono, grafito, grafito expandible, grafeno, nanoplaquitas de grafeno, fibras de carbono, nanofibras de carbono, escamas de carbono grafitizado, tubos de carbono, nanotubos de carbono, carbono activado o carbono mesoporoso.

En ciertas realizaciones, la cantidad del agente conductor en cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente de al menos un 1 %, al menos el 2 %, al menos el 3 %, al menos el 4 %, al menos el 5 %, al menos el 10 %, al menos el 15 %, al menos el 20 %, al menos el 25 %, al menos el 30 %, al menos el 35 %, al menos el 40 %, al menos 45 % o al menos 50 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo. En algunas realizaciones, la cantidad del agente conductor en cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente como máximo un 1 %, como máximo el 2 %, como máximo el 3 %, como máximo el 4 %, como máximo el 5 %, como máximo el 10 %, como máximo el 15 %, como máximo el 20 %, como máximo el 25 %, como máximo el 30 %, como máximo el 35 %, como máximo el 40 %, como máximo el 45 % o como máximo el 50 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

En algunas realizaciones, la cantidad del agente conductor en cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente de aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 0,5 % en peso, de aproximadamente 0,1 % en peso a aproximadamente 1 % en peso, de aproximadamente 0,25 % en peso a aproximadamente 2,5 % en peso, de aproximadamente 0,5 % en peso a aproximadamente 5 % en peso, de aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 5 % en peso, de aproximadamente 3 % en peso a aproximadamente 7 % en peso o de aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

Se prepara una suspensión de electrodos dispersando un material activo de electrodo, un material aglutinante y un agente conductor en un disolvente. En algunas realizaciones, el disolvente es un disolvente acuoso o un disolvente orgánico. En ciertas realizaciones, el disolvente acuoso es agua. En algunas realizaciones, el disolvente orgánico es N-metil-2-pirrolidona (NMP), dimetilformamida, dimetilacetamida, dimetilsulfóxido o tetrahydrofurano. En ciertas realizaciones, el disolvente no es N-metil-2-pirrolidona, dimetilformamida, dimetilacetamida, dimetilsulfóxido o tetrahydrofurano. En algunas realizaciones, el disolvente no es una mezcla de N-metil-2-pirrolidona y agua.

La suspensión de electrodos se reviste sobre el colector de corriente para formar una capa revestida sobre el colector de corriente. A continuación, se seca el colector de corriente revestido para preparar un electrodo. La suspensión de electrodos se seca a una temperatura por debajo de 90 °C para evitar que la suspensión se seque demasiado rápido, lo que puede provocar el agrietamiento de la capa del electrodo. En algunas realizaciones, la capa revestida se seca a una temperatura de aproximadamente 40 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 40 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 40 °C a aproximadamente 70 °C, de aproximadamente 40 °C a

aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 80 °C o de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 70 °C. En ciertas realizaciones, la capa revestida se seca a una temperatura inferior a aproximadamente 90 °C, inferior a aproximadamente 80 °C, inferior a aproximadamente 70 °C, inferior a aproximadamente 60 °C o inferior a aproximadamente 50 °C. En algunas realizaciones, la capa revestida se seca a aproximadamente 40 °C, aproximadamente 50 °C, aproximadamente 60 °C, aproximadamente 70 °C, aproximadamente 80 °C o aproximadamente 90 °C.

Después de montar el conjunto de electrodos, el conjunto de electrodos se coloca en una cámara de secado. En algunas realizaciones, la cámara de secado está conectada a una bomba de vacío, para que la presión en la cámara pueda ser reducida. La presión se reduce lo suficiente como para disminuir el punto de ebullición del agua. Por lo tanto, el tiempo de secado puede reducirse considerablemente. En ciertas realizaciones, la cámara de secado está conectada a un suministro de vacío central, permitiendo de esa manera que varios hornos de secado al vacío funcionen simultáneamente. En algunas realizaciones, el número de hornos de secado al vacío conectados a un suministro de vacío central varía de 1 a 20, dependiendo del número de bombas en funcionamiento. En ciertas realizaciones, una bomba de vacío o un suministro de vacío central se conecta a la cámara de secado por una línea de succión equipada con una válvula de salida de gas. En algunas realizaciones, la cámara de secado también está conectada a un depósito de gas que contiene aire seco o gas inerte por un tubo equipado con una válvula de admisión de gas. Cuando la válvula de salida de gas está cerrada y la válvula de admisión de gas está abierta, el vacío se pierde en la cámara de secado. La válvula puede ser de tipo solenoide o de aguja o un controlador de flujo másico. Se puede utilizar cualquier dispositivo que permita un ajuste apropiado del flujo.

Para reducir la potencia necesaria para las bombas, se puede proporcionar un condensador entre la cámara de secado y la bomba. El condensador condensa el vapor de agua, que luego se separa.

El secado a baja temperatura no puede eliminar eficazmente el agua del conjunto de electrodos. Sin embargo, la capa del electrodo se volverá quebradiza y se agrietará fácilmente cuando sea sometida a altas temperaturas de secado. En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos se puede secar al vacío a una temperatura de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 155 °C, de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 155 °C, de aproximadamente 90 °C a aproximadamente 155 °C, de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 155 °C, de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 140 °C, de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 130 °C, de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 120 °C, de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 110 °C, o de aproximadamente 110 °C a aproximadamente 130 °C. En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos se puede secar al vacío a una temperatura de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 155 °C. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos puede secarse al vacío a una temperatura de aproximadamente 80 °C o más, aproximadamente 90 °C o más, aproximadamente 100 °C o más, aproximadamente 110 °C o más, aproximadamente 120 °C o más, aproximadamente 130 °C o más, aproximadamente 140 °C o más o aproximadamente 150 °C o más. En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos puede secarse al vacío a una temperatura inferior a 155 °C, inferior a 150 °C, inferior a 145 °C, inferior a 140 °C, inferior a 135 °C, inferior a 130 °C, inferior a 125 °C, inferior a 120 °C, inferior a 115 °C, inferior a 110 °C, inferior a 105 °C, inferior a 100 °C o inferior a 90 °C.

En algunas realizaciones, el período de tiempo para secar el conjunto de electrodos al vacío es de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 12 horas, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 4 horas, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 15 minutos, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 3 horas, de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 10 horas, de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 8 horas, de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 6 horas, de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 4 horas, de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 2 horas a aproximadamente 12 horas, de aproximadamente 2 horas a aproximadamente 8 horas, de aproximadamente 2 horas a aproximadamente 5 horas, de aproximadamente 2 horas a aproximadamente 3 horas o de aproximadamente 4 horas a aproximadamente 12 horas. En ciertas realizaciones, el período de tiempo para secar el conjunto de electrodos al vacío es de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 2 horas o de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 30 minutos. En algunas realizaciones, el período de tiempo para secar el conjunto de electrodos al vacío es de al menos 15 minutos, al menos 30 minutos, al menos 1 hora, al menos 1,5 horas, al menos 2 horas, al menos 3 horas, al menos 4 horas o al menos 5 horas. En ciertas realizaciones, el período de tiempo para secar el conjunto de electrodos al vacío es inferior a 5 horas, inferior a 4 horas, inferior a 3 horas, inferior a 2 horas, inferior a 1,5 horas, inferior a 1 hora o inferior a 30 minutos.

Cualquier bomba de vacío que pueda reducir la presión de la cámara de secado puede usarse en el presente documento. Algunos ejemplos no limitantes de las bombas de vacío incluyen bombas de vacío secas, bombas turbo, bombas de vacío de paletas rotativas, bombas criogénicas y bombas de sorción.

En algunas realizaciones, la bomba de vacío es una bomba exenta de aceite. La bomba exenta de aceite funciona sin necesidad de aceite en las partes de la bomba que están expuestas a los gases que se están bombeando o al vacío parcial. Por tanto, cualquier gas que fluya contracorriente por la bomba está exento de vapor de aceite. El vapor de aceite progresivo depositado en las superficies del conjunto de electrodos puede reducir el rendimiento electroquímico

de una batería. Un ejemplo de este tipo de bomba es una bomba de vacío de diafragma.

En ciertas realizaciones, se puede lograr un alto vacío usando un sistema de bombeo de dos fases para evacuar la cámara de secado. El sistema de bombeo comprende una bomba de vacío primaria, tal como una bomba rotativa o una bomba de diafragma dispuesta en serie con una bomba de alto vacío, tal como una bomba turbomolecular.

En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos se seca a presión atmosférica. En ciertas realizaciones, el secado se realiza en un estado de vacío. En algunas realizaciones, el estado de vacío se mantiene a una presión dentro del intervalo de aproximadamente  $1 \times 10^{-4}$  Pa a aproximadamente  $5 \times 10^4$  Pa, de aproximadamente  $1 \times 10^{-4}$  Pa a aproximadamente  $2,5 \times 10^4$  Pa, de aproximadamente  $1 \times 10^{-4}$  Pa a aproximadamente  $1 \times 10^4$  Pa, de aproximadamente  $1 \times 10^{-4}$  Pa a aproximadamente  $5 \times 10^3$  Pa, de aproximadamente  $1 \times 10^{-4}$  Pa a aproximadamente  $3 \times 10^3$  Pa, de aproximadamente  $1 \times 10^{-4}$  Pa a aproximadamente  $2 \times 10^3$  Pa, de aproximadamente  $1 \times 10^{-4}$  Pa a aproximadamente  $1 \times 10^3$  Pa, de aproximadamente  $1 \times 10^3$  Pa a aproximadamente  $5 \times 10^4$  Pa, de aproximadamente  $1 \times 10^3$  Pa a aproximadamente  $1 \times 10^4$  Pa, de aproximadamente  $1 \times 10^3$  Pa a aproximadamente  $5 \times 10^3$  Pa, de aproximadamente  $1 \times 10^3$  Pa a aproximadamente  $2 \times 10^3$  Pa. En ciertas realizaciones, el estado de vacío se mantiene a una presión inferior a aproximadamente  $5 \times 10^4$  Pa, inferior a aproximadamente  $2,5 \times 10^4$  Pa, inferior a aproximadamente  $1 \times 10^4$  Pa, inferior a aproximadamente  $5 \times 10^3$  Pa, inferior a aproximadamente  $3 \times 10^3$  Pa, inferior a aproximadamente  $2 \times 10^3$  Pa o inferior a aproximadamente  $1 \times 10^3$  Pa. En algunas realizaciones, el estado de vacío se mantiene a aproximadamente  $5 \times 10^4$  Pa, aproximadamente  $2,5 \times 10^4$  Pa, aproximadamente  $1 \times 10^4$  Pa, aproximadamente  $5 \times 10^3$  Pa, aproximadamente  $3 \times 10^3$  Pa, aproximadamente  $2 \times 10^3$  Pa o aproximadamente  $1 \times 10^3$  Pa.

Después de un período de tiempo de secado predeterminado, la cámara de secado se ventila directamente a un depósito de gas que contiene aire seco o gas inerte a través de una válvula de admisión de gas. El llenado de gas puede mejorar la eliminación de vapor de agua de la cámara de secado, aumentando así la eficiencia de eliminación de agua del conjunto de electrodos y acortando el ciclo de secado. En algunas realizaciones, el depósito de gas es un cilindro de gas nitrógeno. En ciertas realizaciones, el gas inerte se selecciona entre el grupo que consiste en helio, argón, neón, criptón, xenón, nitrógeno, dióxido de carbono y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el contenido de agua del aire seco o del gas inerte se mantiene inferior o igual a 10 ppm, inferior o igual a 8 ppm, inferior o igual a 5 ppm, inferior o igual a 4 ppm, inferior o igual a 3 ppm, inferior o igual a 2 ppm o inferior o igual a 1 ppm.

En algunas realizaciones, el aire seco o el gas inerte se precalienta antes de entrar en la cámara de secado. En ciertas realizaciones, la temperatura del aire seco o gas inerte es de aproximadamente  $70^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $130^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $70^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $110^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $70^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $100^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $70^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $90^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $70^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $80^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $80^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $155^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $80^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $120^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $80^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $100^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $90^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $155^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $90^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $130^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $90^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $100^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $70^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $155^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $100^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $130^\circ\text{C}$  o de aproximadamente  $100^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $120^\circ\text{C}$ . En algunas realizaciones, el aire seco o el gas inerte se precalienta a una temperatura de aproximadamente  $70^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $155^\circ\text{C}$  antes de entrar en la cámara de secado. En ciertas realizaciones, el aire seco o el gas inerte se precalienta al menos a  $70^\circ\text{C}$ , al menos  $80^\circ\text{C}$ , al menos  $90^\circ\text{C}$ , al menos  $100^\circ\text{C}$ , al menos  $110^\circ\text{C}$  o al menos  $120^\circ\text{C}$ .

En ciertas realizaciones, el aire seco o el gas inerte permanece en la cámara de secado durante un período de tiempo de aproximadamente 30 segundos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 15 minutos, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 10 minutos, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 20 minutos, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 15 minutos, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 20 minutos o de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 1 hora. En algunas realizaciones, el aire seco o el gas inerte permanece en la cámara de secado durante un período de tiempo de aproximadamente 30 segundos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 2 horas o de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 30 minutos. En ciertas realizaciones, el aire seco o el gas inerte permanece en la cámara de secado durante al menos 30 segundos, al menos 1 minuto, al menos 5 minutos, al menos 10 minutos, al menos 15 minutos, al menos 20 minutos, al menos 25 minutos, al menos 30 minutos o al menos 1 hora. En otras realizaciones, el aire seco o el gas inerte permanece en la cámara de secado durante menos de 5 minutos, menos de 10 minutos, menos de 15 minutos, menos de 20 minutos, menos de 25 minutos, menos de 30 minutos o menos de 1 hora.

En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos puede ser secado además al vacío después de incubar el conjunto de electrodos con el gas seco durante un tiempo predeterminado. Este procedimiento puede repetirse tantas veces como sea necesario para reducir el contenido de humedad del conjunto de electrodos a un nivel apropiado. En ciertas realizaciones, este procedimiento puede repetirse entre 2 y 50 veces hasta que el contenido de humedad en el conjunto

de electrodos sea inferior a 50 ppm, inferior a 40 ppm, inferior a 30 ppm, inferior a 20 ppm, inferior a 19 ppm, inferior a 18 ppm, inferior a 17 ppm, inferior a 16 ppm, inferior a 15 ppm, inferior a 14 ppm, inferior a 13 ppm, inferior a 12 ppm, inferior a 11 ppm, inferior a 10 ppm, inferior a 9 ppm, inferior a 8 ppm, inferior a 7 ppm, inferior a 6 ppm o inferior a 5 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos seco.

5 En ciertas realizaciones, las etapas de secado al vacío y llenado de gas pueden repetirse al menos 2 veces, al menos 3 veces, al menos 4 veces, al menos 5 veces, al menos 6 veces, al menos 7 veces, al menos 8 veces, al menos 9 veces, al menos 10 veces, al menos 12 veces, al menos 14 veces, al menos 16 veces, al menos 18 veces, al menos 20 veces, al menos 22 veces, al menos 24 veces, al menos 26 veces, al menos 28 veces o al menos 30 veces. En  
10 algunas realizaciones, las etapas de secado al vacío y llenado de gas pueden repetirse menos de 30 veces, menos de 28 veces, menos de 26 veces, menos de 24 veces, menos de 22 veces, menos de 20 veces, menos de 18 veces, menos de 16 veces, menos de 14 veces, menos de 12 veces, menos de 10 veces, menos de 8 veces o menos de 6 veces. En ciertas realizaciones, las etapas de secado al vacío y llenado de gas pueden repetirse entre 2 y 50 veces,  
15 entre 2 y 40 veces, entre 2 y 30 veces, entre 2 y 20 veces, entre 2 y 10 veces, entre 5 y 30 veces, entre 5 y 20 veces o entre 5 y 10 veces. En otras realizaciones, las etapas de secado al vacío y llenado de gas pueden repetirse entre 2 o más veces.

En algunas realizaciones, el proceso de secado del conjunto de electrodos comprende secado al vacío, seguido de secado al aire caliente. En algunas realizaciones, la cámara de secado sopla aire caliente hacia el conjunto de  
20 electrodos desde arriba y/o abajo. En ciertas realizaciones, el secado al aire caliente se realiza a una velocidad del aire de aproximadamente 1 metro/segundo a aproximadamente 50 metros/segundo, de aproximadamente 1 metro/segundo a aproximadamente 40 metros/segundo, de aproximadamente 1 metro/segundo a aproximadamente 30 metros/segundo, de aproximadamente 1 metro/segundo a aproximadamente 20 metros/segundo, de aproximadamente  
25 1 metro/segundo a aproximadamente 10 metros/segundo, de aproximadamente 10 metros/segundo a aproximadamente 50 metros/segundo, de aproximadamente 10 metros/segundo a aproximadamente 40 metros/segundo, de aproximadamente 10 metros/segundo a aproximadamente 30 metros/segundo, de aproximadamente 10 metros/segundo a aproximadamente 20 metros/segundo, de aproximadamente 20 metros/segundo a aproximadamente 30 metros/segundo, de aproximadamente  
30 30 metros/segundo a aproximadamente 40 metros/segundo o de aproximadamente 40 metros/segundo a aproximadamente 50 metros/segundo. En otras realizaciones, un gas inerte calentado (es decir, helio, argón) es usado en lugar de aire caliente.

El gas de secado puede ser precalentado a través de superficies de intercambio térmico. En algunas realizaciones, la  
35 temperatura del aire caliente oscila en el intervalo de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 155 °C, de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 150 °C, de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 150 °C, de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 150 °C, de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 150 °C, de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 130 °C, de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 100 °C, de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 150 °C, de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 130 °C, de  
40 aproximadamente 80 °C a aproximadamente 110 °C, de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 140 °C o de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 120 °C. En ciertas realizaciones, la temperatura del aire caliente es de al menos 70 °C, al menos 80 °C, al menos 90 °C, al menos 100 °C, al menos 110 °C o al menos 120 °C.

En ciertas realizaciones, el período de tiempo para el secado al aire caliente es de aproximadamente 1 minuto a  
45 aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 15 minutos, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 20 minutos, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 15 minutos, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 10 minutos, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 10 minutos a  
50 aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 20 minutos, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 1 hora o de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 30 minutos.

En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos puede ser secado además al vacío después de soplar aire caliente durante un tiempo predeterminado. Este procedimiento puede repetirse tantas veces como sea necesario para reducir el contenido de humedad del conjunto de electrodos a un nivel apropiado, tal como 50 ppm, 40 ppm, 30 ppm, 20 ppm,  
55 19 ppm, 18 ppm, 17 ppm, 16 ppm, 15 ppm, 14 ppm, 13 ppm, 12 ppm, 11 ppm, 10 ppm, 9 ppm, 8 ppm, 7 ppm, 6 ppm o 5 ppm.

En ciertas realizaciones, el tiempo total de procesamiento para las etapas 3-5 es de aproximadamente 10 horas a  
60 aproximadamente 40 horas, de aproximadamente 10 horas a aproximadamente 35 horas, de aproximadamente 10 horas a aproximadamente 30 horas, de aproximadamente 10 horas a aproximadamente 25 horas, de aproximadamente 10 horas a aproximadamente 20 horas, de aproximadamente 10 horas a aproximadamente 15 horas, de aproximadamente 15 horas a aproximadamente 30 horas, de aproximadamente 15 horas a aproximadamente 25 horas, de aproximadamente 15 horas a aproximadamente 20 horas o de aproximadamente 20 horas a aproximadamente 30 horas. En algunas realizaciones, el tiempo total de procesamiento para las etapas 3-5  
65 es inferior a 40 horas, menos de aproximadamente 35 horas, menos de aproximadamente 30 horas, menos de aproximadamente 25 horas, inferior a aproximadamente 20 horas o inferior a aproximadamente 15 horas. En ciertas

realizaciones, el tiempo total de procesamiento de las etapas 3-5 es de al menos aproximadamente 10 horas, al menos aproximadamente 15 horas, al menos aproximadamente 20 horas, al menos aproximadamente 25 horas, al menos aproximadamente 30 horas o al menos aproximadamente 35 horas.

5 Se han realizado varios intentos para reducir el contenido de agua de un conjunto de electrodos. Por ejemplo, un conjunto de electrodos sin secar se sumerge en un disolvente orgánico. Después de un período de inmersión designado, el conjunto de electrodos se retiró del disolvente orgánico, se colocó en una cámara de secado al vacío y se secó. La cámara de secado se puede retrorellenar con el gas inerte y se puede repetir la etapa de secado. Algunos ejemplos no limitantes del disolvente orgánico incluyen cloroformo, tetraclorometano, benceno, acrilonitrilo, carbonato de etilo, 1,2-dicloroetano, acetonitrilo, éter dietílico y disulfuro de carbono. Sumergir el conjunto de electrodos en un disolvente orgánico permite que el agua atrapada sea desplazada por el disolvente a granel. Se ha descubierto que el conjunto de electrodos se puede secar eficazmente. Sin embargo, también se observa cierre de los poros en el separador debido a la disolución del material polimérico en el disolvente orgánico incluso en un período de tiempo corto (tal como unos pocos segundos) de inmersión del conjunto de electrodos. La velocidad de disolución del polímero se acelera a una temperatura de secado elevada. Esto disminuirá o incluso detendrá el flujo iónico entre el ánodo y el cátodo y, por lo tanto, el rendimiento de una batería se verá afectado significativamente. Es más, la resistencia mecánica del separador también puede verse afectada debido al daño del disolvente al separador. La integridad mecánica de un separador de batería es fundamental para la prevención de cortocircuitos internos. Por tanto, el rendimiento de seguridad de la batería también puede verse afectado. Además, las cantidades residuales del disolvente orgánico en el conjunto de electrodos seco también pueden dañar el separador.

Una de las ventajas de la presente invención es que el conjunto de electrodos se puede secar hasta un contenido de agua de aproximadamente 20 ppm o incluso menos sin la ayuda de ningún disolvente orgánico. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos seco está libre de disolvente orgánico. En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos seco está exento de cloroformo, tetraclorometano, benceno, acrilonitrilo, carbonato de etilo, 1,2-dicloroetano, acetonitrilo, éter dietílico, disulfuro de carbono o una combinación de los mismos. En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos seco comprende un disolvente orgánico en una cantidad inferior a aproximadamente 100 ppm, inferior a aproximadamente 50 ppm, inferior a aproximadamente 40 ppm, inferior a aproximadamente 30 ppm, inferior a aproximadamente 20 ppm, inferior a aproximadamente 10 ppm, inferior a aproximadamente 5 ppm, inferior a aproximadamente 4 ppm, inferior a aproximadamente 3 ppm, inferior a aproximadamente 2 ppm, inferior a aproximadamente 1 ppm inferior a aproximadamente 0,5 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos seco.

En la actualidad, el agua es el factor clave que debe ser estrictamente controlado en el proceso de producción de baterías de ion litio de base orgánica. Una batería con un alto contenido de agua puede conducir a una importante atenuación del rendimiento electroquímico y afecta a la estabilidad de la batería.

Las ventajas de la presente invención es que la mayor parte de la fabricación puede tener lugar fuera de un recinto seco. En algunas realizaciones, el proceso de ensamblaje puede tener lugar fuera de un recinto seco o de una caja de guantes. En ciertas realizaciones, solo la etapa para llenar el electrolito o ambas etapas para secar el conjunto de electrodos y llenar el electrolito se realizan en un recinto seco o en una caja de guantes. Por tanto, se puede evitar el control de la humedad en la fábrica, reduciendo significativamente el coste de inversión.

La presencia de humedad es perjudicial para el funcionamiento de una batería. Por lo general, el contenido de agua en el conjunto de electrodos preparado por métodos convencionales contiene una cantidad de agua superior a 100 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos. Incluso si el rendimiento inicial de la batería es aceptable, la tasa de deterioro del rendimiento de la batería puede ser inaceptable. Para poder lograr un rendimiento suficientemente alto de la batería, sería ventajoso por lo tanto tener un bajo contenido de agua en la batería.

En algunas realizaciones, el contenido de agua del conjunto de electrodos es mayor de 100 ppm, mayor de 200 ppm, mayor de 300 ppm, mayor de 400 ppm, mayor de 500 ppm, mayor de 1.000 ppm, mayor de 2.000 ppm, mayor de 3.000 ppm, mayor de 4.000 ppm, mayor de 5.000 ppm o mayor de 10.000 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos antes de secar.

En ciertas realizaciones, el método de secado puede reducir el contenido de agua del conjunto de electrodos de unos pocos miles de ppm a menos de 20 ppm. En algunas realizaciones, el método de secado puede reducir el contenido de agua del conjunto de electrodos de unos pocos cientos de ppm a menos de 20 ppm. El conjunto de electrodos preparado por el método desvelado en el presente documento tiene un contenido de agua particularmente bajo, contribuyendo al rendimiento fiable de las baterías de ion litio. En algunas realizaciones, el contenido de agua del conjunto de electrodos seco es menor que el contenido de agua del conjunto de electrodos sin secar. En algunas realizaciones, el contenido de agua en el conjunto de electrodos seco es de aproximadamente 5 ppm a aproximadamente 50 ppm, de aproximadamente 5 ppm a aproximadamente 40 ppm, de aproximadamente 5 ppm a aproximadamente 30 ppm, de aproximadamente 5 ppm a aproximadamente 20 ppm, de aproximadamente 5 ppm a aproximadamente 15 ppm, de aproximadamente 5 ppm a aproximadamente 10 ppm, de aproximadamente 3 ppm a aproximadamente 30 ppm, de aproximadamente 3 ppm a aproximadamente 20 ppm, de aproximadamente 3 ppm a aproximadamente 15 ppm, o de aproximadamente 3 ppm a aproximadamente 10 ppm en peso, en función del peso

total del conjunto de electrodos seco.

En ciertas realizaciones, el contenido de agua en el conjunto de electrodos seco es inferior a 50 ppm, inferior a 40 ppm, inferior a 30 ppm, inferior a 20 ppm, inferior a 19 ppm, inferior a 18 ppm, inferior a 17 ppm, inferior a 16 ppm, inferior a 15 ppm, inferior a 14 ppm, inferior a 13 ppm, inferior a 12 ppm, inferior a 11 ppm, inferior a 10 ppm, inferior a 9 ppm, inferior a 8 ppm, inferior a 7 ppm, inferior a 6 ppm, inferior a 5 ppm, inferior a 4 ppm, inferior a 3 ppm, inferior a 2 ppm o inferior a 1 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos seco. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos seco desvelado en el presente documento tiene una concentración de agua en él no superior a aproximadamente 5 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos seco.

En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos sin secar comprende al menos un ánodo sin secar y al menos un cátodo sin secar. En ciertas realizaciones, cada uno del al menos un ánodo sin secar y el al menos un cátodo sin secar tiene un contenido de agua mayor de 5 ppm, mayor de 6 ppm, mayor de 7 ppm, mayor de 8 ppm, mayor de 9 ppm, mayor de 10 ppm, mayor de 11 ppm, mayor de 12 ppm, mayor de 13 ppm, mayor de 14 ppm, mayor de 15 ppm, mayor de 16 ppm, mayor de 17 ppm, mayor de 18 ppm, mayor de 19 ppm, mayor de 20 ppm, mayor de 30 ppm, mayor de 40 ppm, mayor de 50 ppm, mayor de 100 ppm, mayor de 200 ppm, mayor de 300 ppm, mayor de 400 ppm, mayor de 500 ppm, mayor de 1.000 ppm, mayor de 2.000 ppm, mayor de 3.000 ppm, mayor de 4.000 ppm, mayor de 5.000 ppm o mayor de 10.000 ppm en peso, en función del peso total del al menos un ánodo seco y el al menos un cátodo sin secar.

En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos seco comprende al menos un ánodo seco y al menos un cátodo seco, en donde el al menos un ánodo seco y al menos un cátodo seco tienen un contenido de agua inferior a 50 ppm, inferior a 40 ppm, inferior a 30 ppm, inferior a 20 ppm, inferior a 19 ppm, inferior a 18 ppm, inferior a 17 ppm, inferior a 16 ppm, inferior a 15 ppm, inferior a 14 ppm, inferior a 13 ppm, inferior a 12 ppm, inferior a 11 ppm, inferior a 10 ppm, inferior a 9 ppm, inferior a 8 ppm, inferior a 7 ppm, inferior a 6 ppm o inferior a 5 ppm en peso, en función del peso total del al menos un ánodo seco y al menos un cátodo seco.

En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos sin secar comprende al menos un separador sin secar. En algunas realizaciones, el al menos un separador sin secar tiene un contenido de agua mayor de 5 ppm, mayor de 6 ppm, mayor de 7 ppm, mayor de 8 ppm, mayor de 9 ppm, mayor de 10 ppm, mayor de 11 ppm, mayor de 12 ppm, mayor de 13 ppm, mayor de 14 ppm, mayor de 15 ppm, mayor de 16 ppm, mayor de 17 ppm, mayor de 18 ppm, mayor de 19 ppm, mayor de 20 ppm, mayor de 30 ppm, mayor de 40 ppm, mayor de 50 ppm, mayor de 100 ppm, mayor de 200 ppm, mayor de 300 ppm, mayor de 400 ppm, mayor de 500 ppm, mayor de 600 ppm, mayor de 700 ppm, mayor de 800 ppm, mayor de 900 ppm, mayor de 1.000 ppm, mayor de 1.500 ppm, mayor de 2.000 ppm, mayor de 3.000 ppm, mayor de 4.000 ppm, mayor de 5.000 ppm o mayor de 10.000 ppm en peso, en función del peso total del al menos un separador sin secar.

En algunas realizaciones, el contenido de agua del al menos un separador seco es menor que el contenido de agua del al menos un separador sin secar. En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos seco comprende al menos un separador seco, en donde el al menos un separador seco tiene un contenido de agua inferior a 50 ppm, inferior a 40 ppm, inferior a 30 ppm, inferior a 20 ppm, inferior a 19 ppm, inferior a 18 ppm, inferior a 17 ppm, inferior a 16 ppm, inferior a 15 ppm, inferior a 14 ppm, inferior a 13 ppm, inferior a 12 ppm, inferior a 11 ppm, inferior a 10 ppm, inferior a 9 ppm, inferior a 8 ppm, inferior a 7 ppm, inferior a 6 ppm o inferior a 5 ppm en peso, en función del peso total del al menos un separador seco.

Después de la etapa de secado, el conjunto de electrodos puede entonces enfriarse naturalmente a 50 °C o menos antes de ser retirado de la cámara de secado. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos se enfría a 45 °C o menos, 40 °C o menos, 35 °C o menos, 30 °C o menos, o 25 °C o menos antes de ser retirado de la cámara de secado. En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos se enfría a temperatura ambiente. En ciertas realizaciones, el conjunto de electrodos se enfría soplando un gas seco o gas inerte con el fin de alcanzar la temperatura diana más rápidamente.

El material aglutinante en la capa de electrodo cumple la función de unir el material del electrodo y el agente conductor entre sí en el colector de corriente. En ciertas realizaciones, cada uno del al menos un ánodo y al menos un cátodo comprende independientemente un material aglutinante seleccionado entre el grupo que consiste en un material aglutinante de base orgánica, un material aglutinante a base de agua y una mezcla de materiales aglutinantes a base de agua y de base orgánica.

En algunas realizaciones, cada uno de los materiales aglutinantes en las capas de los electrodos de cátodo y ánodo se selecciona independientemente entre el grupo que consiste en caucho de estireno-butadieno, caucho de estireno-butadieno acrilado, copolímero de acrilonitrilo, caucho de acrilonitrilo-butadieno, caucho de nitrilo y butadieno, copolímero de acrilonitrilo-estireno-butadieno, caucho de acrílico, caucho de butilo, caucho de flúor, politetrafluoroetileno, polietileno, polipropileno, copolímeros de etileno/propileno, polibutadieno, óxido de polietileno, polietileno clorosulfonado, polivinilpirrolidona, polivinilpiridina, alcohol polivinílico, acetato de polivinilo, poliepiclorohidrina, polifosfaceno, poliácrlonitrilo, poliestireno, látex, resinas acrílicas, resinas fenólicas, resinas epoxídicas, carboximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, acetato de celulosa, acetato butirato de celulosa, propionato

acetato de celulosa, cianoetilcelulosa, cianoetilsacarosa, poliéster, poliamida, poliéter, poliimida, policarboxilato, ácido policarboxílico, ácido poliacrílico, poliacrilato, ácido polimetacrílico, polimetacrilato, poliacrilamida, poliuretano, polímero fluorado, polímero clorado, una sal de ácido algínico, fluoruro de polivinilideno, poli(fluoruro de vinilideno)-hexafluoropropeno, y combinaciones de los mismos. En realizaciones adicionales, la sal de ácido algínico comprende un catión seleccionado entre Na, Li, K, Ca, NH<sub>4</sub>, Mg, Al o una combinación de los mismos.

En ciertas realizaciones, cada uno de los materiales aglutinantes en las capas de los electrodos de cátodo y ánodo se selecciona independientemente entre el grupo que consiste en caucho de estireno-butadieno, carboximetilcelulosa, fluoruro de polivinilideno, copolímero de acrilonitrilo, ácido poliacrílico, poliacrilonitrilo, poli(fluoruro de vinilideno)-hexafluoropropeno, látex, una sal de ácido algínico y combinaciones de los mismos.

En algunas realizaciones, cada uno de los materiales aglutinantes en las capas de electrodos de cátodo y ánodo se selecciona independientemente entre SBR, CMC, PAA, una sal de ácido algínico o una combinación de los mismos. En ciertas realizaciones, cada uno de los materiales aglutinantes en las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente un copolímero de acrilonitrilo. En algunas realizaciones, cada uno de los materiales aglutinantes en las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente un poliacrilonitrilo. En ciertas realizaciones, cada uno de los materiales aglutinantes en las capas de electrodos de cátodo y ánodo está exento independientemente de caucho de estireno-butadieno, carboximetilcelulosa, fluoruro de polivinilideno, copolímero de acrilonitrilo, ácido poliacrílico, poliacrilonitrilo, poli(fluoruro de vinilideno)-hexafluoropropeno, látex o una sal de ácido algínico.

En ciertas realizaciones, la cantidad del material aglutinante en cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente al menos un 1 %, al menos el 2 %, al menos el 3 %, al menos el 4 %, al menos el 5 %, al menos el 10 %, al menos el 15 %, al menos el 20 %, al menos el 25 %, al menos el 30 %, al menos el 35 %, al menos el 40 %, al menos el 45 % o al menos el 50 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

En algunas realizaciones, la cantidad del material aglutinante en cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente como máximo del 1 %, como máximo el 2 %, como máximo el 3 %, como máximo el 4 %, como máximo el 5 %, como máximo el 10 %, como máximo el 15 %, como máximo el 20 %, como máximo el 25 %, como máximo el 30 %, como máximo el 35 %, como máximo el 40 %, como máximo el 45 % o como máximo el 50 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

En algunas realizaciones, la cantidad del material aglutinante en cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente de aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, de aproximadamente 3 % en peso a aproximadamente 6 % en peso, de aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, de aproximadamente 7,5 % en peso a aproximadamente 15 % en peso, de aproximadamente 10 % en peso a aproximadamente 20 % en peso, de aproximadamente 15 % en peso a aproximadamente 25 % en peso, de aproximadamente 20 % en peso a aproximadamente 40 % en peso, o de aproximadamente 35 % en peso a aproximadamente 50 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

Con el fin de evitar que haya humedad en el interior del recipiente sellado, la etapa de llenar el electrolito se lleva a cabo en un recinto seco. Después del secado, el conjunto de electrodos se coloca en el interior de un recipiente y luego se añade un electrolito para llenar los poros de todas las capas del separador y de electrodos, y cada uno de los huecos entre los electrodos positivos y negativos y el separador en el conjunto de electrodos bajo una atmósfera inerte antes de su sellado.

El método desvelado en el presente documento reduce los costes de producción de las baterías de ion litio al consumir menos energía y acorta los tiempos de fabricación necesarios para el secado. Por tanto, este método es especialmente adecuado para procesos industriales debido a su bajo coste y facilidad de manipulación.

En otro aspecto, en el presente documento se proporciona un conjunto de electrodos preparado por el método desvelado en el presente documento para una batería secundaria de electrolito no acuoso, que comprende al menos un ánodo, al menos un cátodo y al menos un separador interpuesto entre el al menos un ánodo y al menos un cátodo, en donde el contenido de agua del conjunto de electrodos es inferior a 20 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos. En algunas realizaciones, el contenido de agua del conjunto de electrodos es inferior a 20 ppm, inferior a 19 ppm, inferior a 18 ppm, inferior a 17 ppm, inferior a 16 ppm, inferior a 15 ppm, inferior a 14 ppm, inferior a 13 ppm, inferior a 12 ppm, inferior a 11 ppm, inferior a 10 ppm, inferior a 9 ppm, inferior a 8 ppm, inferior a 7 ppm, inferior a 6 ppm o inferior a 5 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos.

En algunas realizaciones, el al menos un cátodo comprende un colector de corriente catódica y una capa de electrodo de cátodo que comprende un material catódico, un material aglutinante y un agente conductor, y el al menos un ánodo comprende un colector de corriente anódica y una capa de electrodo de ánodo que comprende un material anódico, un material aglutinante y un agente conductor, en donde cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo tiene independientemente un volumen de vacío inferior a 40 %, inferior al 35 %, inferior al 33 %, inferior al 30 %, inferior al 25 %, inferior al 20 % o inferior al 15 %, en función del volumen total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

En ciertas realizaciones, la batería de litio puede retener al menos aproximadamente el 80 %, al menos

aproximadamente el 85 % o al menos el 90 % de su capacidad de almacenamiento inicial después de 1.000 ciclos a una velocidad de 1C a temperatura ambiente en una celda llena. En algunas realizaciones, la batería de litio es capaz de retener al menos aproximadamente el 80 % o al menos aproximadamente el 85 % de su capacidad de almacenamiento inicial después de 1.500 ciclos a una velocidad de 1C a temperatura ambiente en una celda llena.

5 También se proporciona en el presente documento una batería de litio que comprende el conjunto de electrodos preparado por el método desvelado en el presente documento.

10 Los siguientes ejemplos se presentan para ilustrar las realizaciones de la invención. Todos los valores numéricos son aproximados. Cuando se dan intervalos numéricos, debe entenderse que las realizaciones que están fuera de los intervalos establecidos todavía pueden estar dentro del alcance de la invención. Los detalles específicos descritos en cada ejemplo no deben interpretarse como características necesarias de la invención.

## 15 Ejemplos

15 Se midió el contenido de agua en el conjunto de electrodos mediante valoración de Karl-Fisher. El conjunto de electrodos fue cortado en pequeñas piezas de 1 cm x 1 cm en una caja de guantes llena de gas argón. El conjunto de electrodos cortado que tenía un tamaño de 1 cm x 1 cm se pesó en un vial de muestra. A continuación se añadió el conjunto de electrodos pesado a un recipiente de valoración para la valoración de Karl Fischer usando un analizador de humedad por coulombimetría de Karl Fischer (831 KF Coulometer, Metrohm, Suiza). La medición se repitió tres veces para encontrar el valor promedio.

20 Se midió el contenido de agua en los electrodos o el separador mediante valoración de Karl-Fisher. El conjunto de electrodos fue cortado en pequeñas piezas de 1 cm x 1 cm en una caja de guantes llena de gas argón. El conjunto de electrodos se separó en las capas de ánodo, cátodo y separador. Los contenidos de agua de las capas de electrodos separadas y las capas del separador se analizaron por separado por medio de valoración de Karl Fischer. La medición se repitió tres veces para encontrar el valor promedio.

### 30 Ejemplo 1

#### A) Preparación de la suspensión de electrodos positivos

35 Se preparó una suspensión de electrodos positivos mezclando 94 % en peso de material catódico (LNMC TLM 310, obtenido en Xinxiang Tianli Energy Co. Ltd., China), 3 % en peso de negro de carbono (SuperP; obtenido en Timcal Ltd, Bodio, Suiza) como agente conductor y 0,8 % en peso de ácido poliacrílico (PAA, n.º 181285, obtenido en Sigma-Aldrich, EE. UU.), 1,5 % en peso de caucho de estireno y butadieno (SBR, AL-2001, obtenido en NIPPON A&L INC., Japón) y 0,7 % en peso de fluoruro de polivinilideno (PVDF; Solef® 5130, obtenido en Solvay S.A., Bélgica) como aglutinante, que se dispersaron en agua desionizada para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se homogeneizó con una mezcladora de agitación planetaria.

#### B) Preparación del electrodo positivo

45 Se revistió la suspensión homogeneizada por ambos lados de una lámina de aluminio que tenía un grosor de 20 µm utilizando una máquina de recubrimiento por transferencia (ZY-TSF6-6518, obtenida en Jin Fan Zhanyu New Energy Technology Co. Ltd., China) con una densidad de área de aproximadamente 26 mg/cm<sup>2</sup>. Las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron durante 3 minutos mediante un horno de secado por aire caliente con transportador de 24 metros de largo, como un submódulo de la máquina de recubrimiento por transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 8 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. La estufa con temperatura programada permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente de la temperatura de entrada de 60 °C a la temperatura de salida de 75 °C.

#### C) Preparación del electrodo negativo

55 Se preparó una suspensión de electrodos negativos mezclando 90 % en peso de carbono duro (HC; pureza del 99,5 %, Ruifute Technology Ltd., Shenzhen, Guangdong, China), 5 % en peso de negro de carbono y 5 % en peso de poliacrilonitrilo en agua desionizada para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se revistió por ambos lados de una lámina de cobre que tenía un grosor de 9 µm utilizando una máquina de recubrimiento por transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15 mg/cm<sup>2</sup>. Las películas revestidas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente con transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo.

65

Ejemplo 2Ensamblaje del conjunto de electrodos

Después del secado, se usaron la película de cátodo y la película de ánodo resultantes del ejemplo 1 para preparar el cátodo y el ánodo, respectivamente, cortando en placas de electrodo individuales. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el negativo al aire libre sin control de la humedad. El separador era una membrana microporosa (obtenida en MITSUBISHI PAPER MILLS LTD, Japón) hecha de tela no tejida de PET, que tenía un grosor de 30  $\mu\text{m}$ . El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de  $5 \times 10^3$  Pa a 100 °C durante 2 horas. La cámara de secado se llenó luego con aire seco y caliente que tenía un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 90 °C. El aire seco y caliente se retuvo en la cámara de secado durante 15 minutos antes de evacuar la cámara de secado. Este ciclo se repitió 10 veces.

Contenidos de humedad del conjunto de electrodos, electrodos y separador

Los valores promedio del contenido de humedad del conjunto de electrodos sin secar fue de 938 ppm. Los valores promedio de los contenidos de humedad del conjunto de electrodos, electrodos y separador eran de 9 ppm, 4 ppm y 5 ppm, respectivamente.

Ensamblaje de la batería de tipo bolsa

Se montó una celda de tipo bolsa apilando el conjunto de electrodos seco en una cajita hecha de una película laminada de aluminio y plástico. Las placas de electrodo de cátodo y ánodo se mantuvieron separadas por separadores y la cajita se preformó. A continuación se cargó un electrolito en la cajita que contenía los electrodos empaquetados en una atmósfera de argón de alta pureza con un contenido de humedad y oxígeno < 1 ppm. El electrolito era una solución de  $\text{LiPF}_6$  (1 M) en una mezcla de carbonato de etileno (EC), carbonato de etilmetilo (EMC) y carbonato de dimetilo (DMC) en una relación en volumen de 1:1:1. Después del llenado de los electrolitos, las celdas de tipo bolsa se sellaron al vacío y luego se comprimieron mecánicamente usando un punzón con forma cuadrada convencional.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo 2I) Capacidad nominal

Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías (BTS-5V20A, obtenido en Neware Electronics Co. Ltd., China) entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal era de aproximadamente 10 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

Se estudió el rendimiento de la ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la figura 2.

Ejemplo 3A) Preparación de la suspensión de electrodos positivos

Se preparó una suspensión de electrodos positivos mezclando 92 % en peso de material catódico ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , obtenido en HuaGuan HengYuan LiTech Co. Ltd., Qingdao, China), 4 % en peso de negro de carbono (SuperP; obtenido en Timcal Ltd, Bodio, Suiza) como agente conductor y 4 % en peso de fluoruro de polivinilideno (PVDF; Solef® 5130, obtenido en Solvay S.A., Bélgica) como aglutinante, que se dispersaron en N-metil-2-pirrolidona (NMP; pureza de  $\geq 99$  %, Sigma-Aldrich, EE. UU.) para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se homogeneizó con una mezcladora de agitación planetaria.

B) Preparación del electrodo positivo

Se revistió la suspensión homogeneizada sobre ambos lados de una lámina de aluminio que tenía un grosor de 20  $\mu\text{m}$  usando una máquina de recubrimiento por transferencia con una densidad de área de aproximadamente 40  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron durante 6 minutos mediante un horno de secado por aire caliente con transportador de 24 metros de largo, como un submódulo de la máquina de recubrimiento por transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 4 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. La estufa con temperatura programada permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente de la temperatura de entrada de 65 °C a la temperatura de salida de 80 °C.

C) Preparación del electrodo negativo

Se preparó una pasta de electrodos negativos mezclando 90 % en peso de carbono duro (HC; pureza del 99,5 %, obtenido en Ruifute Technology Ltd., Shenzhen, Guangdong, China) con 1,5 % en peso de carboximetilcelulosa (CMC, BSH-12, DKS Co. Ltd., Japón) y 3,5 % en peso de SBR (AL-2001, NIPPON A&L INC., Japón) como aglutinante y 5 %

5 en peso de negro de carbono como agente conductor, que se dispersaron en agua desionizada para formar otra suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se revistió por ambos lados de una lámina de cobre que tenía un grosor de 9  $\mu\text{m}$  utilizando una máquina de recubrimiento por transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Las películas revestidas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente con transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo.

#### 10 Ejemplo 4

##### Ensamblaje del conjunto de electrodos

15 Después del secado, se usaron la película de cátodo y la película de ánodo resultantes del ejemplo 3 para preparar el cátodo y el ánodo, respectivamente, cortando en placas de electrodo individuales. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el negativo al aire libre sin control de la humedad. El separador era una membrana microporosa (Celgard, LLC, EE. UU.) de polietileno que tenía un grosor de 25  $\mu\text{m}$ . El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de  $1 \times 10^4$  Pa a 92 °C durante 3 horas. La cámara de secado se llenó luego con nitrógeno seco y caliente que tenía un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 85 °C. El nitrógeno seco y caliente se retuvo en la cámara de secado durante 5 minutos antes de evacuar la cámara de secado. Este ciclo se repitió 5 veces.

##### Mediciones electroquímicas del Ejemplo 4

##### 25 I) Capacidad nominal

Se montó una celda de tipo bolsa, que contiene el conjunto de electrodos seco preparado mediante el método descrito en el ejemplo 4, de acuerdo con el método descrito en el ejemplo 2. Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 8,5 Ah.

##### 30 II) Rendimiento de la ciclabilidad

Se estudió el rendimiento de la ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la figura 3.

#### Ejemplo 5

##### 40 A) Preparación de la suspensión de electrodos positivos

Se preparó una suspensión de electrodos positivos mezclando 94 % en peso de material catódico  $\text{LiNi}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33}\text{O}_2$  (obtenido en Shenzhen Tianjiao Technology Co. Ltd., China), 3 % en peso de negro de carbono (SuperP; obtenido en Timcal Ltd, Bodio, Suiza) como agente conductor y 1,5 % en peso de ácido poliacrílico (PAA, n.º 181285, obtenido en Sigma-Aldrich, EE.UU.) y 1,5 % en peso de poliacrilonitrilo (LA 132, Chengdu Indigo Power Sources Co., Ltd., China) como aglutinante, que se dispersaron en agua desionizada para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se homogeneizó con una mezcladora de agitación planetaria.

##### B) Preparación del electrodo positivo

50 Se revistió la suspensión homogeneizada sobre ambos lados de una lámina de aluminio que tenía un grosor de 20  $\mu\text{m}$  usando una máquina de recubrimiento por transferencia con una densidad de área de aproximadamente 32  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron durante 4 minutos mediante un horno de secado por aire caliente con transportador de 24 metros de largo, como un submódulo de la máquina de recubrimiento por transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 6 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. La estufa con temperatura programada permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente de la temperatura de entrada de 60 °C a la temperatura de salida de 75 °C.

##### C) Preparación del electrodo negativo

60 Se preparó una suspensión de electrodos negativos mezclando 90 % en peso de carbono duro, 5 % en peso de negro de carbono y 5 % en peso de poliacrilonitrilo en agua desionizada para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se revistió por ambos lados de una lámina de cobre que tenía un grosor de 9  $\mu\text{m}$  utilizando una máquina de recubrimiento por transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Se secaron las películas revestidas sobre la lámina de cobre a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente con transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo.

Ejemplo 6Ensamblaje del conjunto de electrodos

5 Se usaron después del secado, la película de cátodo y la película de ánodo resultantes del ejemplo 5 para preparar el cátodo y el ánodo, respectivamente, cortando en placas de electrodo individuales. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el negativo al  
 10 aire libre sin control de la humedad. El separador era una membrana microporosa (Jiangxi Advanced Nanofiber Technology Co., Ltd., China) hecha de poliimida que tenía un grosor de 20  $\mu\text{m}$ . El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de  $1 \times 10^3$  Pa a 110 °C durante 2 horas. La cámara de secado se llenó luego con aire seco y caliente que tenía un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 100 °C. El aire seco y caliente se retuvo en la cámara de secado durante 10 minutos antes de evacuar la cámara de secado. Este ciclo se repitió 10 veces.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo 6I) Capacidad nominal

20 Se montó una celda de tipo bolsa, que contiene el conjunto de electrodos seco preparado mediante el método descrito en el ejemplo 6, de acuerdo con el método descrito en el ejemplo 2. Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 10 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

Se estudió el rendimiento de la ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la figura 4.

Ejemplo 7A) Preparación de la suspensión de electrodos positivos

35 Se preparó una suspensión de electrodos positivos mezclando 91 % en peso de material catódico  $\text{LiFePO}_4$  (obtenido en Xiamen Tungsten Co. Ltd., China), 5 % en peso de negro de carbono (SuperP; obtenido en Timcal Ltd, Bodio, Suiza) como agente conductor y 4 % en peso de poliacrilonitrilo (LA 132, Chengdu Indigo Power Sources Co., Ltd., China) como aglutinante, que se dispersaron en agua desionizada para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se homogeneizó con una mezcladora de agitación planetaria.

B) Preparación del electrodo positivo

Se revistió la suspensión homogeneizada sobre ambos lados de una lámina de aluminio que tenía un grosor de 30  $\mu\text{m}$  usando una máquina de recubrimiento por transferencia con una densidad de área de aproximadamente 56  $\text{mg}/\text{cm}^2$ .  
 45 Las películas recubiertas sobre la lámina de aluminio se secaron luego durante 6 minutos mediante un horno de secado por aire caliente con transportador de 24 metros de largo, como un submódulo de la máquina de recubrimiento por transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 4 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. La estufa con temperatura programada permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente de la temperatura de entrada de 75 °C a la temperatura de salida de  
 50 90 °C.

C) Preparación del electrodo negativo

Se prepararon electrodos negativos mezclando 90 % en peso de carbono duro (HC; pureza del 99,5 %, obtenido en Ruifute Technology Ltd., China) con un 1,5 % en peso de CMC (BSH-12, DKS Co. Ltd., Japón) y 3,5 % en peso de SBR (AL-2001, NIPPON A&L INC., Japón) como aglutinante y 5 % en peso de negro de carbono como agente conductor, que se dispersaron en agua desionizada para formar otra suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se revistió por ambos lados de una lámina de cobre que tenía un grosor de 9  $\mu\text{m}$  utilizando una máquina de recubrimiento por transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Las películas  
 60 revestidas sobre la lámina de cobre se secaron a continuación a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente con transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo.

Ejemplo 8Ensamblaje del conjunto de electrodos

Se usaron después del secado, la película de cátodo y la película de ánodo resultantes del ejemplo 7 para preparar el cátodo y el ánodo, respectivamente, cortando en placas de electrodo individuales. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el negativo al aire libre sin control de la humedad. El separador era una membrana microporosa con un recubrimiento cerámico (SEPARION, Evonik Industries, Alemania) hecho de tela no tejida de PET, que tenía un grosor de aproximadamente 35  $\mu\text{m}$ . El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de  $1 \times 10^3$  Pa a 120 °C durante 4 horas. La cámara de secado se llenó luego con aire seco y caliente que tenía un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 110 °C. El aire seco y caliente se retuvo en la cámara de secado durante 5 minutos antes de evacuar la cámara de secado. Este ciclo se repitió 7 veces.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo 8I) Capacidad nominal

Se montó una celda de tipo bolsa que contiene el conjunto de electrodos seco preparado mediante el método descrito en el ejemplo 8 de acuerdo con el método descrito en el ejemplo 2. Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 2,5 V y 3,6 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 4,6 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

Se estudió el rendimiento de la ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 2,5 V y 3,6 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la figura 5.

Ejemplo 9A) Preparación de la suspensión de electrodos positivos

Se preparó una suspensión de electrodos positivos mezclando 92 % en peso de material catódico  $\text{LiCoO}_2$  (obtenido en Xiamen Tungsten Co. Ltd., China), 3 % en peso de negro de carbono (SuperP; obtenido en Timcal Ltd, Bodio, Suiza) como agente conductor y 1 % en peso de CMC (BSG-12, DKS Co.Ltd., Japón), 2 % en peso de SBR (AL-2001, NIPPON A&L INC., Japón) y 2 % en peso de fluoruro de polivinilideno (PVDF; Solef® 5130, obtenido en Solvay S.A., Bélgica) como aglutinante, que se dispersaron en agua desionizada para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se homogeneizó con una mezcladora de agitación planetaria.

B) Preparación del electrodo positivo

Se revistió la suspensión homogeneizada sobre ambos lados de una lámina de aluminio que tenía un grosor de 20  $\mu\text{m}$  usando una máquina de recubrimiento por transferencia con una densidad de área de aproximadamente 32  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron durante 4 minutos mediante un horno de secado por aire caliente con transportador de 24 metros de largo, como un submódulo de la máquina de recubrimiento por transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 6 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. La estufa con temperatura programada permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente de la temperatura de entrada de 60 °C a la temperatura de salida de 75 °C.

C) Preparación del electrodo negativo

Se preparó una suspensión de electrodos negativos mezclando 90 % en peso de carbono duro, 5 % en peso de negro de carbono y 5 % en peso de poliácilonitrilo en agua desionizada para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se revistió por ambos lados de una lámina de cobre que tenía un grosor de 9  $\mu\text{m}$  utilizando una máquina de recubrimiento por transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Las películas revestidas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente con transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo.

Ejemplo 10Ensamblaje del conjunto de electrodos

Después del secado, se usaron la película de cátodo y la película de ánodo resultantes del ejemplo 9 para preparar el cátodo y el ánodo, respectivamente, cortando en placas de electrodo individuales. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el negativo al aire libre sin control de la humedad. El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de  $5 \times 10^4$  Pa a 95 °C durante 1,5 horas. El separador era una membrana microporosa

(Symmetrix, NEPTCO Corporation, EE. UU.) hecha de PVDF y PET tenía un grosor de 30  $\mu\text{m}$ . La cámara de secado se llenó luego con aire seco y caliente que tenía un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 90 °C. El aire seco y caliente se retuvo en la cámara de secado durante 30 minutos antes de evacuar la cámara de secado. Este ciclo se repitió 10 veces.

5

#### Mediciones electroquímicas del Ejemplo 10

##### I) Capacidad nominal

10 Se montó una celda de tipo bolsa, que contiene el conjunto de electrodos seco preparado mediante el método descrito en el ejemplo 10, de acuerdo con el método descrito en el ejemplo 2. Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 10 Ah.

##### II) Rendimiento de la ciclabilidad

15 Se estudió el rendimiento de la ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la figura 6.

20

#### Ejemplo 11

##### Ensamblaje del conjunto de electrodos

25 Se prepararon los electrodos positivos y negativos mediante el método descrito en el Ejemplo 9. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el negativo al aire libre sin control de la humedad. El separador era una membrana microporosa de PVDF y PET (Symmetrix, NEPTCO Corporation, EE. UU.) que tenía un grosor de 30  $\mu\text{m}$ . El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de  $3 \times 10^3$  Pa a 105 °C durante 1,5 horas. La cámara de secado se llenó luego con aire seco y caliente que tenía un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 100 °C. El aire seco y caliente se retuvo en la cámara de secado durante 10 minutos antes de evacuar la cámara de secado. Este ciclo se repitió 10 veces.

30

#### Mediciones electroquímicas del Ejemplo 11

35

##### I) Capacidad nominal

40 Se montó una celda de tipo bolsa, que contiene el conjunto de electrodos seco preparado mediante el método descrito en el ejemplo 11, de acuerdo con el método descrito en el ejemplo 2. Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 10 Ah.

40

##### II) Rendimiento de la ciclabilidad

45 Se estudió el rendimiento de la ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la figura 7.

45

#### Ejemplo 12

50

##### Ensamblaje del conjunto de electrodos

Los electrodos positivos y negativos se prepararon mediante el método descrito en el Ejemplo 5. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el negativo al aire libre sin control de la humedad. El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de  $2 \times 10^3$  Pa a 125 °C durante 1 hora. El separador era una membrana microporosa (Jiangxi Advanced Nanofiber Technology Co., Ltd., China) hecha de poliimida que tenía un grosor de 20  $\mu\text{m}$ . La cámara de secado se llenó luego con aire seco y caliente que tenía un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 120 °C. El aire seco y caliente se retuvo en la cámara de secado durante 15 minutos antes de evacuar la cámara de secado. Este ciclo se repitió 10 veces.

55

60

#### Mediciones electroquímicas del Ejemplo 12

##### I) Capacidad nominal

65

Se montó una celda de tipo bolsa, que contiene el conjunto de electrodos seco preparado mediante el método descrito

en el ejemplo 12, de acuerdo con el método descrito en el ejemplo 2. Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 10 Ah.

5 II) Rendimiento de la ciclabilidad

Se estudió el rendimiento de la ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la figura 8.

10 Ejemplo 13

Ensamblaje del conjunto de electrodos

15 Los electrodos positivos y negativos se prepararon mediante el método descrito en el Ejemplo 7. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el negativo al aire libre sin control de la humedad. El separador era una membrana microporosa con un recubrimiento cerámico (SEPARION, Evonik Industries, Alemania) hecho de tela no tejida de PET, que tenía un grosor de aproximadamente 35 µm. El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de  $1 \times 10^4$  Pa a 135 °C durante 2 horas. La cámara de secado se llenó luego con aire seco y caliente que tenía un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 120 °C. El aire seco y caliente se retuvo en la cámara de secado durante 5 minutos antes de evacuar la cámara de secado. Este ciclo se repitió 5 veces.

25 Mediciones electroquímicas del Ejemplo 13

I) Capacidad nominal

30 Se montó una celda de tipo bolsa, que contiene el conjunto de electrodos seco preparado mediante el método descrito en el ejemplo 13, de acuerdo con el método descrito en el ejemplo 2. Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 2,5 V y 3,6 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 4,6 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

35 Se estudió el rendimiento de la ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 2,5 V y 3,6 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la figura 9.

40 Ejemplo 14

Ensamblaje del conjunto de electrodos

45 Los electrodos positivos y negativos se prepararon mediante el método descrito en el Ejemplo 5. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el electrodo negativo y enrollados en espiral en una configuración de tipo remolino al aire libre sin control de la humedad. El separador era una membrana microporosa (obtenida en MITSUBISHI PAPER MILLS LTD, Japón) hecha de tela no tejida de PET, que tiene un grosor de 30 µm. El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de 660 Pa a 110 °C durante 2 horas. La cámara de secado se llenó luego con aire seco y caliente que tenía un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 90 °C. El aire seco y caliente se retuvo en la cámara de secado durante 10 minutos antes de evacuar la cámara de secado. Este ciclo se repitió 10 veces.

50 Mediciones electroquímicas del Ejemplo 14

I) Capacidad nominal

55 Se montó una celda de tipo bolsa, que contiene el conjunto de electrodos seco preparado mediante el método descrito en el ejemplo 14, de acuerdo con el método descrito en el ejemplo 2. Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 10 Ah.

60 II) Rendimiento de la ciclabilidad

Se estudió el rendimiento de ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V.

65

Ejemplo comparativo 1

Ensamblaje del conjunto de electrodos

5 Los electrodos positivos y negativos se prepararon mediante el método descrito en el Ejemplo 5. Se montó y se secó un conjunto de electrodos mediante el método descrito en el ejemplo 6, excepto que el conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío a 160 °C en lugar de 110 °C.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo comparativo 1

10 I) Capacidad nominal

15 Se montó una celda de tipo bolsa, que contiene el conjunto de electrodos seco preparado mediante el método descrito en el ejemplo comparativo 1, de acuerdo con el método descrito en el ejemplo 2. Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 10 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

20 Se estudió el rendimiento de ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V.

Ejemplo comparativo 2

Ensamblaje del conjunto de electrodos

25 Los electrodos positivos y negativos se prepararon mediante el método descrito en el Ejemplo 5. Se montó y se secó un conjunto de electrodos mediante el método descrito en el ejemplo 6, excepto que el conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío a 75 °C en lugar de 110 °C.

30 Mediciones electroquímicas del Ejemplo comparativo 2

I) Capacidad nominal

35 Se montó una celda de tipo bolsa, que contiene el conjunto de electrodos seco preparado mediante el método descrito en el ejemplo comparativo 2, de acuerdo con el método descrito en el ejemplo 2. Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 10 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

40 Se estudió el rendimiento de ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V.

Ejemplo comparativo 3

Ensamblaje del conjunto de electrodos

50 Los electrodos positivos y negativos se prepararon mediante el método descrito en el Ejemplo 5. Se montó y se secó un conjunto de electrodos mediante el método descrito en el ejemplo 12, excepto que el conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío durante 24 horas de forma continua sin repetir el llenado y evacuación de la cámara.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo comparativo 3

I) Capacidad nominal

55 Se montó una celda de tipo bolsa, que contiene el conjunto de electrodos seco preparado mediante el método descrito en el ejemplo comparativo 3, de acuerdo con el método descrito en el ejemplo 2. Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 10 Ah.

60 II) Rendimiento de la ciclabilidad

65 Se estudió el rendimiento de ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V.

Ejemplo comparativo 4Ensamblaje del conjunto de electrodos

5 Los electrodos positivos y negativos se prepararon mediante el método descrito en el Ejemplo 1. Se montó y se secó un conjunto de electrodos mediante el método descrito en el ejemplo 2, excepto que el número de ciclos de secado al vacío y llenado de gas es 3 en lugar de 10.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo comparativo 410 I) Capacidad nominal

15 Se montó una celda de tipo bolsa que contiene el conjunto de electrodos seco preparado mediante el método descrito en el ejemplo comparativo 4 de acuerdo con el método descrito en el ejemplo 2. Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 10 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

20 Se estudió el rendimiento de ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V.

Ejemplo comparativo 5Ensamblaje del conjunto de electrodos

25 Los electrodos positivos y negativos se prepararon mediante el método descrito en el Ejemplo 5. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el electrodo negativo y enrollados en espiral en una configuración de tipo remolino al aire libre sin control de la humedad. El separador era una membrana microporosa (obtenida en MITSUBISHI PAPER MILLS LTD, Japón) hecha de tela no tejida de PET, que tenía un grosor de 30 µm. El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de 650 Pa a 80 °C durante 1 hora. La cámara de secado se llenó luego con aire seco y caliente que tenía un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 90 °C. El aire seco y caliente se retuvo en la cámara de secado durante 5 minutos antes de evacuar la cámara de secado. Este ciclo se repitió 5 veces.

35 Mediciones electroquímicas del Ejemplo comparativo 5I) Capacidad nominal

40 Se montó una celda de tipo bolsa, que contiene el conjunto de electrodos seco preparado mediante el método descrito en el ejemplo comparativo 5, de acuerdo con el método descrito en el ejemplo 2. Se sometió la celda a un ensayo galvanostático a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 10 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

45 Se estudió el rendimiento de ciclabilidad de la celda de tipo bolsa cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V.

50 Las formulaciones de la celda de tipo bolsa de cada uno de estos Ejemplos y Ejemplos Comparativos se resumen en la Tabla 1 a continuación. Las condiciones de secado del conjunto de electrodos de cada uno de estos Ejemplos y Ejemplos Comparativos se muestran en la Tabla 2 a continuación. El contenido de humedad del conjunto de electrodos, electrodos y separadores, y las retenciones de capacidad de la celda de cada uno de estos Ejemplos y Ejemplos Comparativos se muestran en la Tabla 3. Las pruebas electroquímicas de estos ejemplos muestran la buena estabilidad electroquímica de la batería en un amplio intervalo de potenciales, así como un excelente rendimiento del ciclo.

Tabla 1

	Material catódico	Material aglutinante de cátodo	Disolvente		Separador
			Cátodo	Ánodo	
Ejemplo 1	NMC333	PAA+SBR+PVDF	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	PET
Ejemplo 3	LMO	PVDF	NMP	H <sub>2</sub> O	EP
Ejemplo 5	NMC333	PAA+LA132	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	IP

(continuación)

	Material catódico	Material aglutinante de cátodo	Disolvente		Separador
			Cátodo	Ánodo	
Ejemplo 7	LFP	LA132	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	PET revestido de cerámica
Ejemplo 9	LCO	CMC+SBR+PVDF	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	PVDF y PET
Ejemplo 11	LCO	CMC+SBR+PVDF	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	PVDF y PET
Ejemplo 12	NMC333	PAA+LA132	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	IP
Ejemplo 13	LFP	LA132	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	PET revestido de cerámica
Ejemplo 14 <sup>1</sup>	NMC333	PAA+LA132	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	PET
Ejemplo comparativo 1	NMC333	PAA+LA132	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	IP
Ejemplo comparativo 2	NMC333	PAA+LA132	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	IP
Ejemplo comparativo 3	NMC333	PAA+LA132	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	IP
Ejemplo comparativo 4	NMC333	PAA+SBR+PVDF	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	PET
Ejemplo comparativo 5 <sup>1</sup>	NMC333	PAA+LA132	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	PET

Observación: <sup>1</sup>El conjunto de electrodos de la celda de tipo bolsa se enrolló en espiral en una configuración de tipo rollo antes de secarlo.

Tabla 2

Secado del conjunto de electrodos

	Desecado al vacío		Llenado de gas		N.º de ciclo	Tiempo total (horas)	
	Presión (Pa)	Temp. (°C)	Tiempo (h)	Temp. del gas (°C)			Tiempo (min)
Ejemplo 2	5.000	100	2	90	15	10	22,5
Ejemplo 4	10.000	92	3	85	5	5	15,4
Ejemplo 6	1.000	110	2	100	10	10	21,7
Ejemplo 8	1.000	120	4	110	5	7	28,6
Ejemplo 10	50.000	95	1,5	90	30	10	20
Ejemplo 11	3.000	105	1,5	100	10	10	16,7
Ejemplo 12	2.000	125	1	120	15	10	12,5
Ejemplo 13	10.000	135	2	120	5	5	10,4
Ejemplo 14	660	110	2	90	10	10	21,7
Ejemplo comparativo 1	1.000	160	2	100	10	10	21,7
Ejemplo comparativo 2	1.000	75	2	100	10	10	21,7
Ejemplo comparativo 3	2.000	125	24	/	/	/	24
Ejemplo comparativo 4	5.000	100	2	90	15	3	6,75
Ejemplo comparativo 5	650	80	1	90	5	5	5,42

Tabla 3

	Contenido de agua (ppm)				Rendimiento de la ciclabilidad	
	Electrodos	Separador	Conjunto de electrodos		N.º de ciclo	Retención de capacidad (%)
			Antes del secado	Después del secado		
Ejemplo 2	4	5	938	9	500	93,1
Ejemplo 4	93	110	773	113	1.500	79,6
Ejemplo 6	5	11	1.344	5	1.200	87,7
Ejemplo 8	6	11	647	4	1.850	82,6
Ejemplo 10	5	21	871	7	1.000	89,2
Ejemplo 11	7	13	950	6	1.000	91,9
Ejemplo 12	5	14	1.192	5	950	89,4

## ES 2 940 296 T3

(continuación)

	Contenido de agua (ppm)		Rendimiento de la ciclabilidad			
	Electrodos	Separador	Conjunto de electrodos		N.º de ciclo	Retención de capacidad (%)
			Antes del secado	Después del secado		
Ejemplo 13	4	10	545	3	1.650	88,3
Ejemplo 14	10	23	897	18	1.380	88,6
Ejemplo comparativo 1	6	9	1.039	18	960	67,9
Ejemplo comparativo 2	33	52	934	101	1.067	75,2
Ejemplo comparativo 3	78	132	792	164	1.210	70,2
Ejemplo comparativo 4	11	19	864	50	1.719	63,5
Ejemplo comparativo 5	92	154	990	203	1.160	74,2

## REIVINDICACIONES

1. Un método de secado de un conjunto de electrodos, que comprende las etapas de:

- 5        1) apilar al menos un ánodo, al menos un cátodo y al menos un separador, interpuesto entre el al menos un ánodo y al menos un cátodo, para preparar un conjunto de electrodos;  
       2) colocar el conjunto de electrodos en una cámara de secado;  
       3) secar el conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de 100 °C a 155 °C;  
 10        4) llenar la cámara de secado con aire seco o gas inerte; y  
       5) repetir las etapas 3) y 4) para obtener un conjunto de electrodos seco,

en donde el aire seco o el gas inerte restauran la cámara de secado a presión atmosférica; en donde la temperatura del aire seco o del gas inerte es de 70 °C a 155 °C; y en donde el aire seco o el gas inerte permanecen en la cámara de secado durante un período de tiempo de al menos 5 minutos y menos de 30 minutos.

15        2. El método de la reivindicación 1, en donde el conjunto de electrodos se monta en la etapa 1) con una humedad relativa de aproximadamente el 50 % a aproximadamente el 100 % o de aproximadamente el 60 % a aproximadamente el 90 %.

20        3. El método de la reivindicación 1, en donde la presión en la cámara de secado en la etapa 3) se reduce a menos de 25 kPa, menos de 15 kPa, menos de 10 kPa o menos de 5 kPa.

4. El método de la reivindicación 1, en donde la temperatura del aire seco o del gas inerte es de 80 °C a 120 °C.

25        5. El método de la reivindicación 1, en donde las etapas 3) y 4) se repiten entre 2 y 50 veces, entre 2 y 30 veces, entre 2 y 20 veces o entre 2 y 10 veces.

30        6. El método de la reivindicación 1, en donde el al menos un separador tiene un grosor de 10 µm a 200 µm, de 10 µm a 50 µm o de 20 µm a 40 µm.

35        7. El método de la reivindicación 1, en donde el al menos un separador está hecho de fibras poliméricas seleccionadas entre el grupo que consiste en poliolefina, polietileno, polietileno de alta densidad, polietileno lineal de baja densidad, polietileno de baja densidad, polietileno de peso molecular ultraalto, polipropileno, copolímero de polipropileno/polietileno, polibutileno, polipenteno, poliacetato, poliamida, policarbonato, poliimida, poliéter éter cetona, polisulfonas, óxido de polifenileno, sulfuro de polifenileno, poliacrilonitrilo, fluoruro de polivinilideno, polioximetileno, polivinilpirrolidona, poliéster, tereftalato de polietileno, tereftalato de polibutileno, naftaleno de polietileno, naftalato de polibutileno y combinaciones de los mismos.

40        8. El método de la reivindicación 1, en donde el al menos un separador comprende un revestimiento.

45        9. El método de la reivindicación 1, en donde cada uno del al menos un ánodo y el al menos un cátodo comprende independientemente un material aglutinante a base de agua seleccionado de entre el grupo que consiste en caucho de estireno-butadieno, caucho de estireno-butadieno acrilado, copolímero de acrilonitrilo, caucho de acrilonitrilo-butadieno, caucho de nitrilo y butadieno, copolímero de acrilonitrilo-estireno-butadieno, caucho de acrílo, caucho de butilo, caucho de flúor, polietileno, polipropileno, copolímeros de etileno/propileno, polibutadieno, óxido de polietileno, polietileno clorosulfonado, polivinilpirrolidona, polivinilpiridina, alcohol polivinílico, acetato de polivinilo, poliepiclorohidrina, polifosfaceno, poliacrilonitrilo, poliestireno, látex, resinas acrílicas, resinas fenólicas, resinas epoxídicas, carboximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, acetato de celulosa, acetato butirato de celulosa, propionato acetato de celulosa, cianoetilcelulosa, cianoetilsacarosa, poliéster, poliamida, poliéter, poliimida, policarboxilato, ácido policarboxílico, ácido poliacrílico, poliacrilato, ácido polimetacrílico, polimetacrilato, poliacrilamida, poliuretano, una sal de ácido algínico y combinaciones de los mismos.

50        10. El método de la reivindicación 1, en donde al menos un ánodo y al menos un cátodo comprenden además un material aglutinante de base orgánica.

55        11. El método de la reivindicación 10, en donde el material aglutinante de base orgánica se selecciona de entre el grupo que consiste en politetrafluoroetileno, polímero de perfluoroalcoxi, polímero fluorado, polímero clorado, fluoruro de polivinilideno, poli(fluoruro de vinilideno)-hexafluoropropeno y combinaciones de los mismos.

60        12. El método de la reivindicación 1, en donde se seca al vacío el conjunto de electrodos en la etapa 3) durante un período de tiempo de 5 minutos a 4 horas o de 30 minutos a 2 horas.

65        13. El método de la reivindicación 1, en donde el tiempo total de procesamiento de las etapas 3)-5) es de 10 horas a 40 horas o de 10 horas a 30 horas.

14. El método de la reivindicación 1, en donde cada uno del al menos un ánodo y del al menos un cátodo comprende

una capa de electrodo y un colector de corriente; y en donde cada uno del al menos un ánodo y del al menos un cátodo se forma independientemente revistiendo una capa revestida de una suspensión de electrodos que comprende agua sobre el colector de corriente.

- 5 15. El método de la reivindicación 1, en donde el contenido de agua del conjunto de electrodos antes del secado es mayor de 300 ppm o mayor de 500 ppm y en donde el conjunto de electrodos seco no contiene ningún disolvente orgánico.

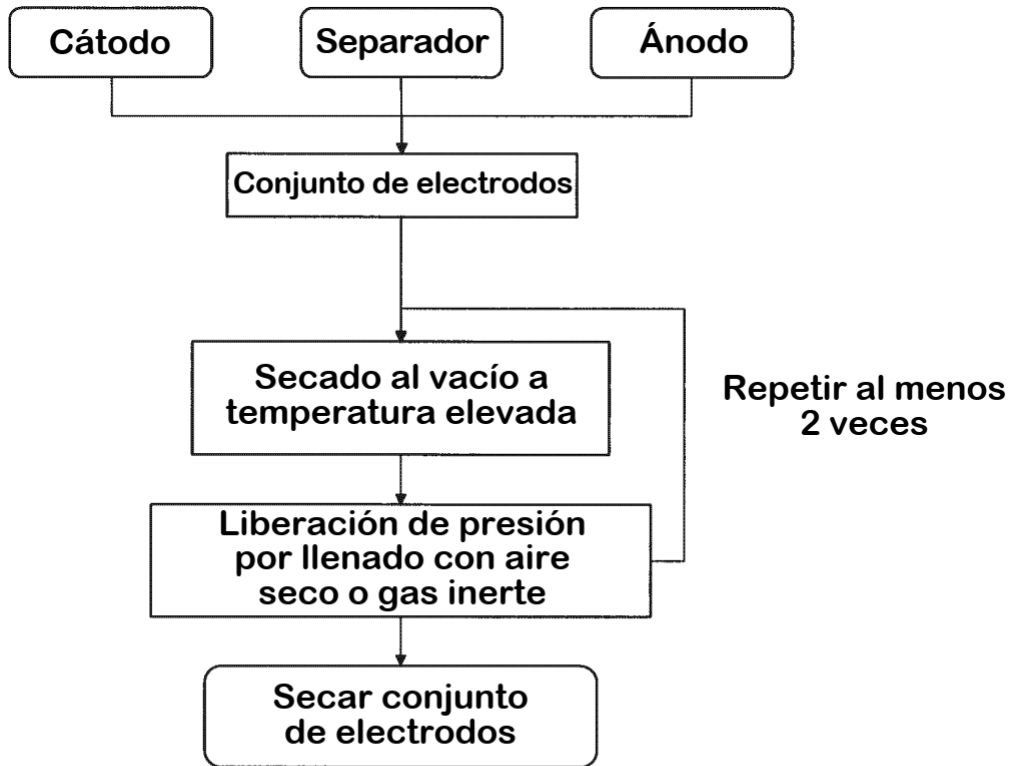


Figura 1

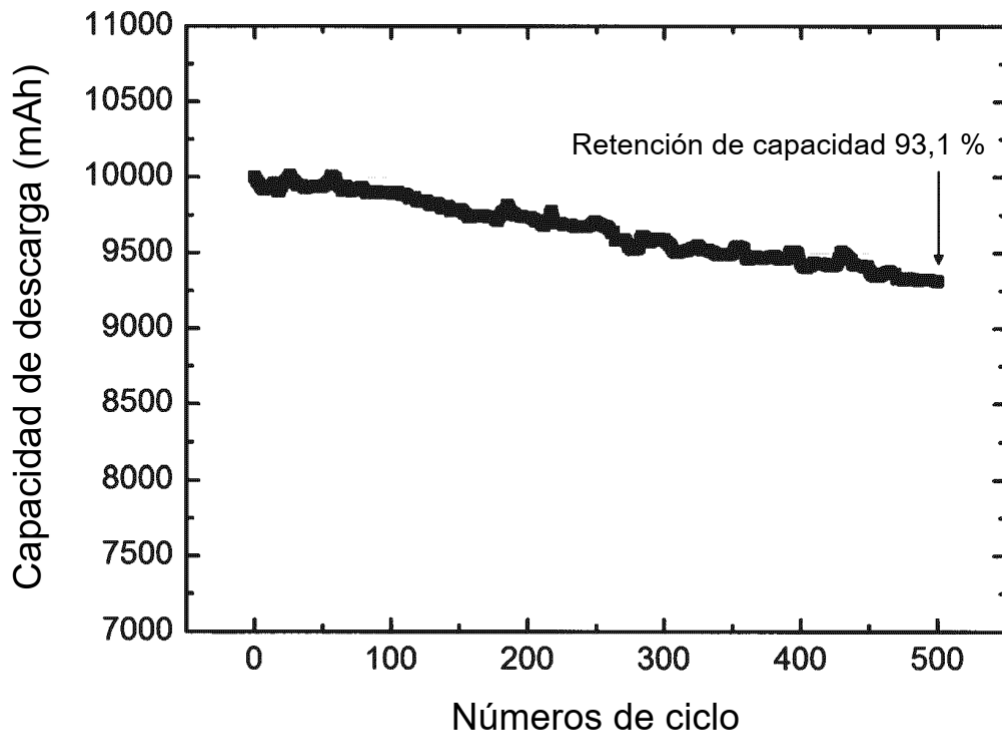


Figura 2

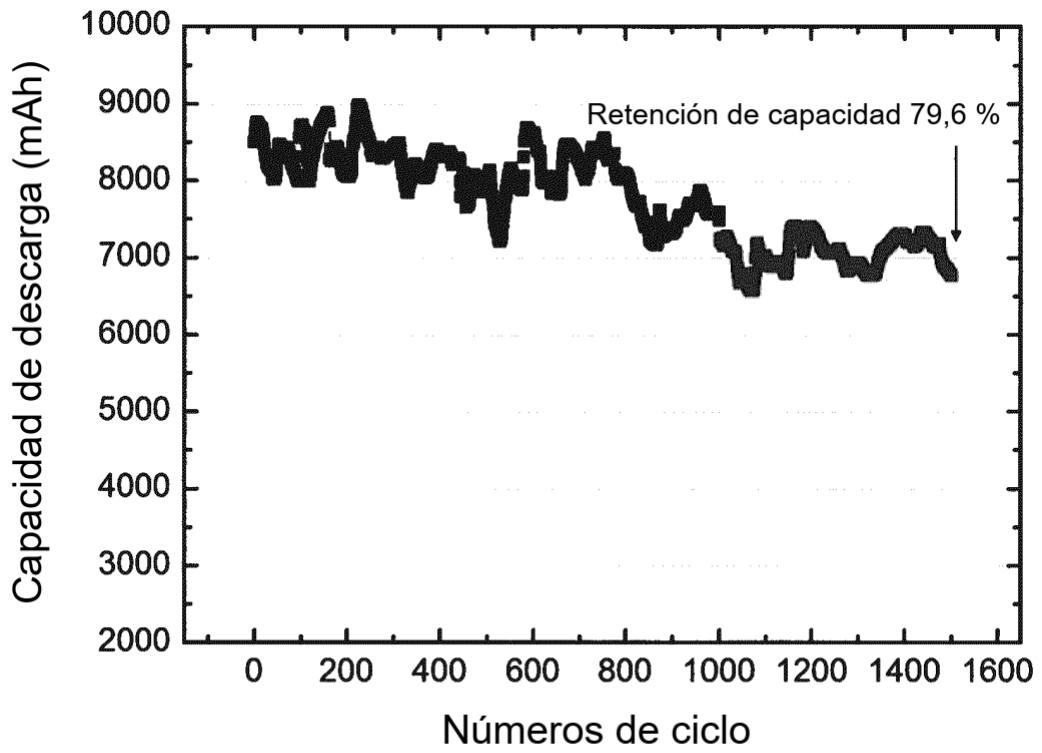


Figura 3

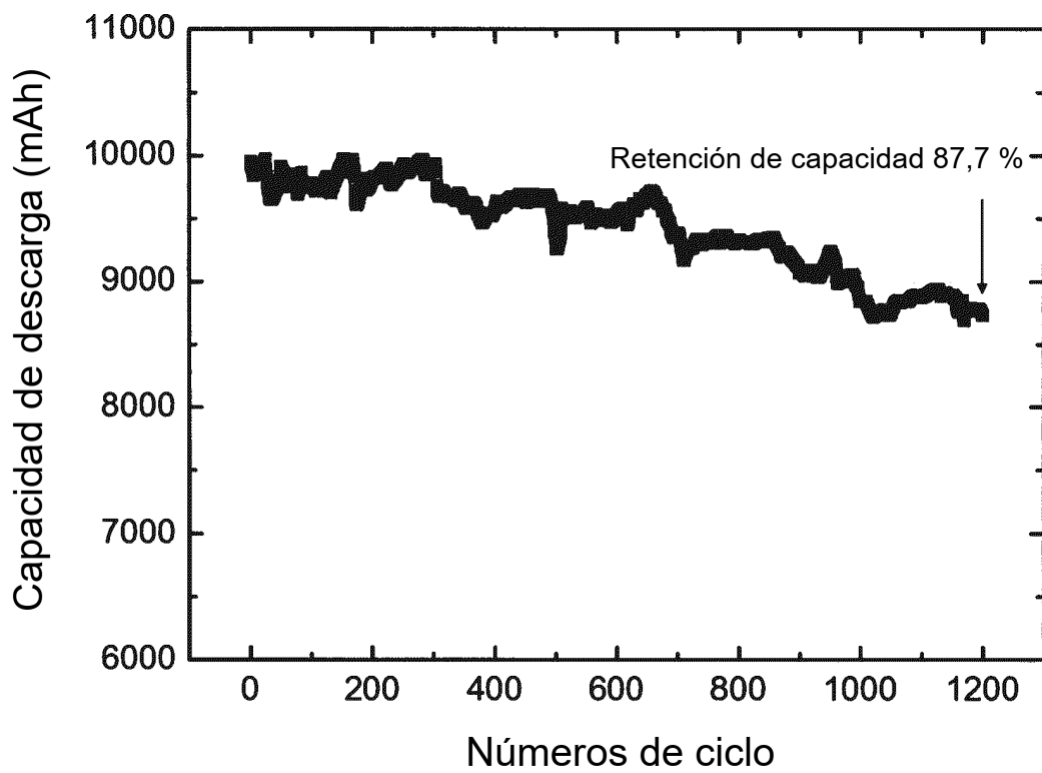


Figura 4

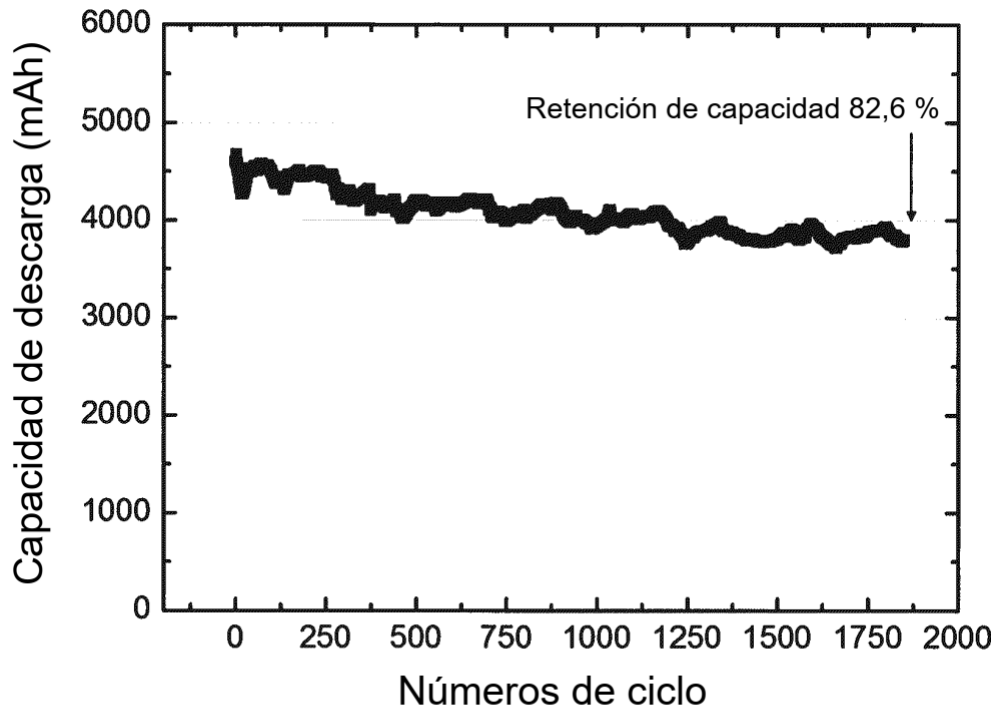


Figura 5

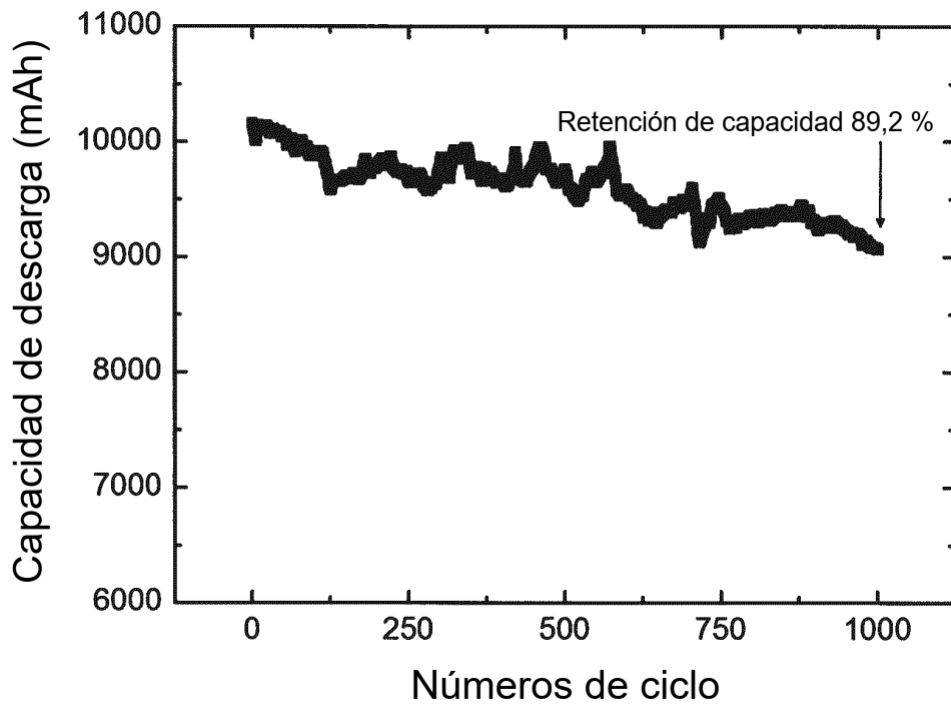


Figura 6

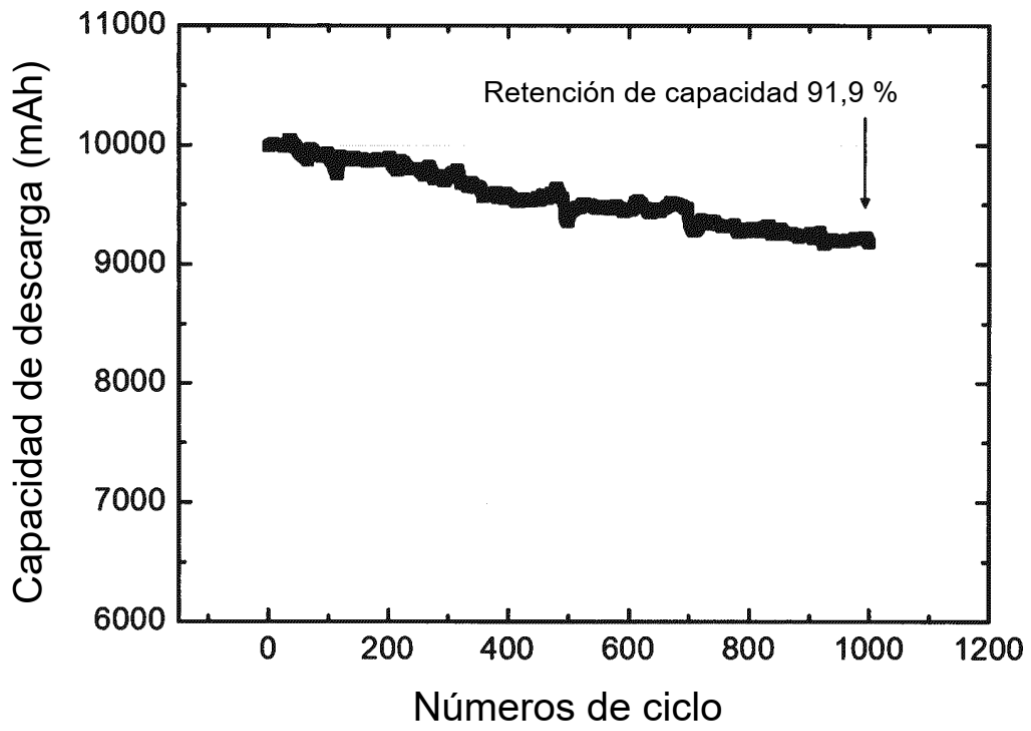


Figura 7

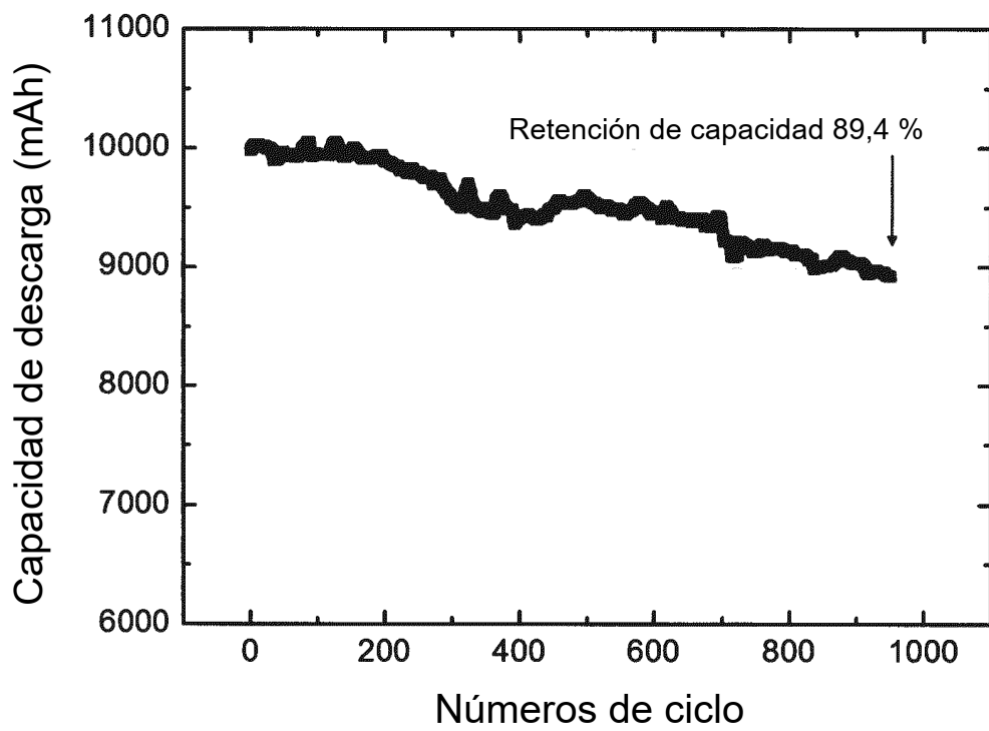


Figura 8

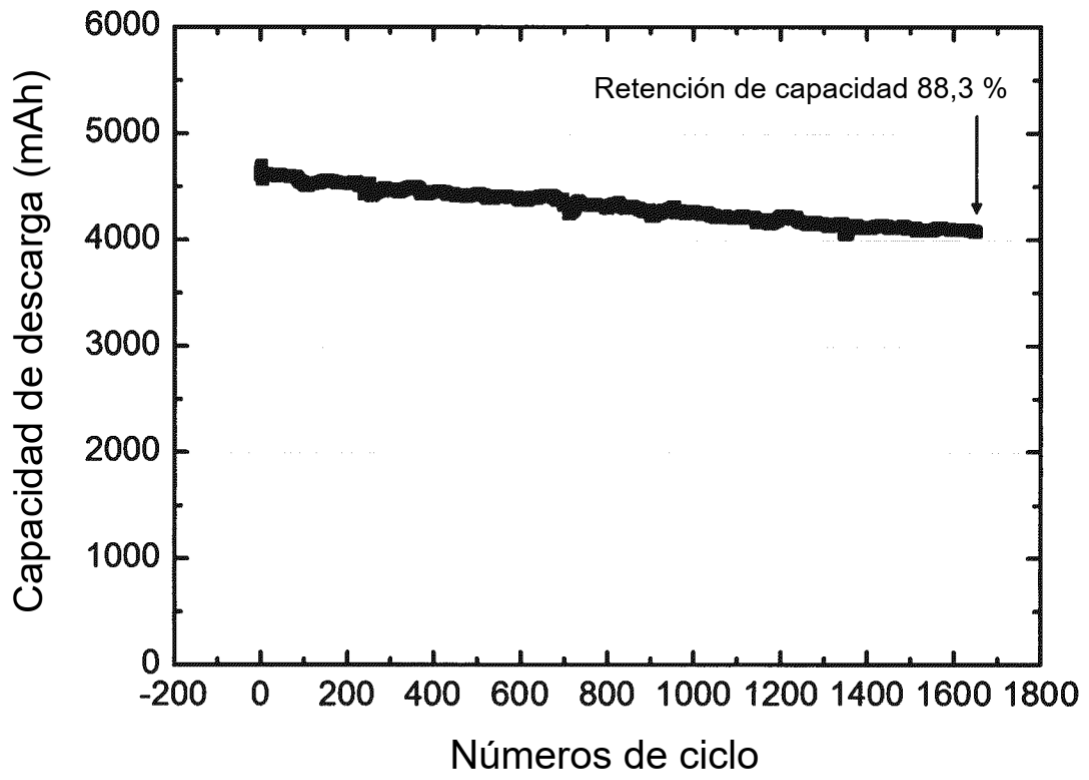


Figura 9