

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 979 030**

51 Int. Cl.:

**H01M 4/04** (2006.01)

**H01M 4/36** (2006.01)

**H01M 4/62** (2006.01)

**H01M 4/139** (2010.01)

**H01M 4/1391** (2010.01)

**H01M 4/1397** (2010.01)

**H01M 10/0525** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.12.2016 PCT/CN2016/109723**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.07.2017 WO17124859**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.12.2016 E 16886119 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2024 EP 3408883**

54 Título: **Método de preparación de electrodos de batería**

30 Prioridad:

**18.01.2016 US 201662279841 P**

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

**23.09.2024**

73 Titular/es:

**GRST INTERNATIONAL LIMITED (100.0%)  
Unit 212, 2/F, Photonics Centre, No. 2 Science  
Park East Avenue, Hong Kong Science Park,  
Shatin, New Territories  
Hong Kong, CN**

72 Inventor/es:

**SHEN, PEIHUA y  
WONG, SING HUNG ERIC**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 979 030 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 preparación de electrodos de batería

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a baterías de iones de litio en la aplicación del área de la energía sostenible. Más particularmente, esta invención se refiere al uso de suspensiones de base acuosa para preparar electrodos de batería.

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, las BIL de alto rendimiento y bajo coste ofrecen actualmente una de las opciones más prometedoras para dispositivos de almacenamiento de energía a gran escala.

En general, una batería de ion litio incluye un separador, un cátodo y un ánodo. 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 recubierta 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.

El fluoruro de polivinilideno (PVDF) ha sido el material aglutinante más utilizado tanto para electrodos catódicos como anódicos. En comparación con los materiales aglutinantes sin PVDF, el PVDF proporciona una buena estabilidad electroquímica y una alta adhesión a los materiales del electrodo y a los colectores de corriente. Sin embargo, el PVDF solo se puede disolver en algunos disolventes orgánicos específicos tal como la N-metil-2-pirrolidona (NMP), que requiere una manipulación específica, estándares de producción y reciclaje de disolventes orgánicos de forma respetuosa con el medio ambiente. Esto supondrá costes importantes en el proceso de fabricación.

Se prefiere el uso de soluciones acuosas en lugar de disolventes orgánicos por razones ambientales y de manipulación y, por lo tanto, se han considerado suspensiones a base de agua. Se han probado aglutinantes solubles en agua tales como carboximetilcelulosa (CMC) y caucho de estireno-butadieno (SBR). Sin embargo, CMC y SBR generalmente se limitan a aplicaciones de ánodos.

La patente de EE. UU. N.º 8.956.688 B2 describe un método para fabricar un electrodo de batería. El método comprende medir el potencial zeta del material del electrodo activo y del material aditivo conductor; seleccionar un dispersante catiónico o aniónico basándose en el potencial zeta; determinar el punto isoeléctrico (IEP) del material del electrodo activo y del material aditivo conductor; dispersar un material del electrodo activo y un aditivo conductor en agua con al menos un dispersante para crear una dispersión mixta; tratar una superficie de un colector de corriente para elevar la energía superficial de la superficie hasta al menos la tensión superficial de la dispersión mezclada; depositar el material del electrodo activo disperso y el aditivo conductor en un colector de corriente; y calentar la superficie recubierta para eliminar el agua del recubrimiento. Sin embargo, el método es complicado, implicando mediciones del potencial zeta del material del electrodo activo y del material aditivo conductor, y del punto isoeléctrico (IEP) del material del electrodo activo y del material aditivo conductor. Asimismo, se requiere una etapa de tratamiento de superficie adicional para tratar la superficie del colector de corriente con el fin de mejorar la retención de capacidad.

La patente de EE. UU. N.º 8.092.557 B2 describe un método para fabricar un electrodo para una batería recargable de iones de litio utilizando una suspensión a base de agua que tiene un pH entre 7,0 y 11,7, en donde el electrodo incluye un material electroactivo, un polímero (caucho de poliestirenobutadieno-poli(acrilonitrilo-co-acrilamida) y un aditivo conductor. Sin embargo, este método no proporciona ningún dato para evaluar el rendimiento electroquímico de los electrodos preparados por este método.

La solicitud de patente de EE. UU. N.º 2013/0034651 A1 describe una suspensión para la fabricación de un electrodo, en donde la suspensión comprende una combinación de al menos tres de ácido poliacrílico (PAA), carboximetilcelulosa (CMC), caucho de estireno-butadieno (SBR) y fluoruro de polivinilideno (PVDF) en una solución acuosa y un compuesto activable electroquímicamente. Sin embargo, la suspensión para preparar el electrodo catódico comprende acetona u otros disolventes orgánicos tales como NMP y DM AC.

Los documentos JP 2000090917 A, US 2009/317718 A1 y CN 101276909 A describen además otros métodos para preparar materiales o suspensiones catódicas y fabricar cátodos a partir de los mismos.

En vista de lo anterior, siempre existe la necesidad de desarrollar un método para preparar electrodos catódicos y anódicos para baterías de iones de litio utilizando un método simple, económico y respetuoso con el medio ambiente.

**Sumario de la invención**

Las necesidades anteriormente mencionadas se satisfacen mediante el método descrito en las reivindicaciones 1 y 2. Las realizaciones opcionales de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

5

**Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 representa una realización del método desvelado en el presente documento.

10 La figura 2 muestra una imagen SEM de la morfología de la superficie del Ejemplo 1, una realización del electrodo catódico recubierto desvelado en el presente documento.

La figura 3 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo 2.

15

La figura 4 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo 4.

20 La figura 5 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo 6.

La figura 6 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo 8.

25 La figura 7 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo 10.

La figura 8 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo 12.

30

La figura 9 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo 14.

35 La figura 10 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo 15.

La figura 11 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo 16.

40 La figura 12 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo 17.

La figura 13 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo 18.

45

La figura 14 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo comparativo 1.

50 La figura 15 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo comparativo 2.

La figura 16 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo comparativo 3.

55 La figura 17 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo comparativo 4.

La figura 18 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo comparativo 5.

60

La figura 19 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo comparativo 6.

65 La figura 20 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo comparativo 7.

La figura 21 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo comparativo 8.

5 La figura 22 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo comparativo 9.

La figura 23 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un cátodo y un ánodo preparados mediante el método descrito en el Ejemplo comparativo 10.

## 10 Descripción detallada de la invención

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

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

20 El término "ácido" incluye cualquier molécula o ion que pueda donar un ion hidrógeno a otra sustancia y/o contener iones H<sup>+</sup> total o parcialmente desplazables. Algunos ejemplos no limitantes de ácidos adecuados incluyen ácidos inorgánicos y ácidos orgánicos. Algunos ejemplos no limitantes del ácido inorgánico incluyen ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido bórico, ácido fluorhídrico, ácido bromhídrico, ácido perclórico, ácido yodhídrico y combinaciones de los mismos. Algunos ejemplos no limitantes de ácidos orgánicos incluyen ácido acético, ácido láctico, ácido oxálico, ácido cítrico, ácido úrico, ácido trifluoroacético, ácido metanosulfónico, ácido fórmico, ácido propiónico, ácido butírico, ácido valérico, ácido glucónico, ácido málico, ácido caproico y combinaciones de los mismos

25 La expresión "solución ácida" se refiere a una solución de un ácido soluble, que tiene un pH inferior a 7,0, inferior a 6,5, inferior a 6,0, inferior a 5,0, inferior a 4,0, inferior a 3,0 o inferior a 2,0. En algunas realizaciones, el pH es superior a 6,0, superior a 5,0, superior a 4,0, superior a 3,0 o superior a 2,0.

30 El término "pretratamiento" como se utiliza en el presente documento se refiere a un acto de mejorar o alterar las propiedades de un material, o eliminar cualquier contaminante en un material actuando sobre algunos agentes, o un acto de suspender un material en algunos disolventes.

35 El término "dispersar" como se utiliza en el presente documento se refiere al acto de distribuir una especie química o un sólido más o menos uniformemente por todo un fluido.

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

40 El término "homogeneizador" se refiere a un equipo que se puede utilizar para la homogeneización de materiales. El término "homogeneización" se refiere a un proceso para reducir una sustancia o material a partículas pequeñas y distribuir las uniformemente a través de un fluido. Se puede utilizar cualquier homogeneizador convencional para el método desvelado en el presente documento. Algunos ejemplos no limitantes del homogeneizador incluyen mezcladores agitadores, mezcladoras, molinos (por ejemplo, molinos coloidales y molinos de arena), equipos de ultrasonidos, atomizadores, homogeneizadores de rotor-estator y homogeneizadores de alta presión.

45 La expresión "equipo de ultrasonidos" se refiere a un equipo que puede aplicar energía de ultrasonidos para agitar las partículas en una muestra. En el presente documento, puede utilizarse cualquier equipo de ultrasonidos que pueda dispersar la suspensión desvelada en el presente documento. Algunos ejemplos no limitantes del equipo de ultrasonidos incluyen un baño de ultrasonidos, un equipo de ultrasonidos de tipo sonda y una celda de flujo ultrasónico.

50 La expresión "baño de ultrasonidos" se refiere a un aparato a través del cual la energía ultrasónica se transmite a través de la pared del recipiente del baño de ultrasonidos a la muestra líquida.

55 La expresión "equipo de ultrasonidos de tipo sonda" se refiere a una sonda ultrasónica sumergida en un medio para sonicación directa. La expresión "sonicación directa" significa que el ultrasonido está directamente acoplado al líquido de procesamiento.

60 La expresión "celda de flujo ultrasónico" o "cámara del reactor ultrasónico" se refiere a un aparato a través del cual los procesos de sonicación pueden realizarse en un modo de flujo continuo. En algunas realizaciones, la celda de flujo ultrasónico está en una configuración de una sola pasada, de múltiples pasadas o recirculación.

65 La expresión "mezclador planetario" se refiere a un equipo que puede utilizarse para mezclar o combinar diferentes materiales para producir una mezcla homogénea, que consiste en una paleta simple o doble con una paleta de dispersión de alta velocidad. La velocidad de rotación se puede expresar en unidades de rotaciones por minuto (rpm) que se refiere al número de rotaciones que un cuerpo giratorio completa en un minuto.

El término "aplicar" como se utiliza en el presente documento se refiere a un acto de colocar o esparcir una sustancia sobre una superficie.

5 La expresión "colector de corriente" se refiere a un soporte para recubrir el material activo del electrodo de batería y un conductor con alta concentración de electrones químicamente inactivo para mantener una corriente eléctrica que fluye hacia los electrodos durante la carga o descarga de una batería secundaria.

10 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.

15 La expresión "tasa C" se refiere a la tasa de carga o descarga de una celda o batería, expresada 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 y la energía completa en 10 horas; y 5 C significa la utilización de la energía completa en 12 minutos.

20 La expresión "amperios-hora (Ah)" se refiere a una unidad utilizada 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 lo tanto, 1 amperio-hora (Ah) es el equivalente a 3.600 culombios de carga eléctrica. De forma 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.

25 La expresión "recubrimiento con rasqueta" se refiere a un proceso para la fabricación de películas de gran área sobre sustratos rígidos o flexibles. El grosor del recubrimiento se puede controlar mediante una anchura de separación ajustable entre una rasqueta de recubrimiento y una superficie de recubrimiento, que permite la deposición de espesores de capa húmeda variables.

30 La expresión "recubrimiento de transferencia" o "recubrimiento con rodillo" se refiere a un proceso para la fabricación de películas de gran superficie sobre sustratos rígidos o flexibles. Se aplica una suspensión sobre el sustrato transfiriendo un recubrimiento desde la superficie de un rodillo de recubrimiento con presión. El grosor del recubrimiento se puede controlar mediante una anchura de separación ajustable entre una rasqueta dosificadora y una superficie del rodillo de recubrimiento, que permite la deposición de espesores de capa húmeda variables. En un sistema de rodillos de dosificación, el grosor del recubrimiento se controla ajustando el espacio entre un rodillo dosificador y un rodillo de recubrimiento.

40 La expresión "vida útil 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.

La expresión "componente principal" de una composición se refiere al componente que es más del 50 %, más del 55 %, más del 60 %, más del 65 %, más del 70 %, más del 75 %, más del 80 %, más del 85 %, más del 90 % o más del 95 % en peso o volumen, basándose en el peso o volumen total de la composición.

45 La expresión "componente minoritario" de una composición se refiere al componente que es menos del 50 %, menos del 45 %, menos del 40 %, menos del 35 %, menos del 30 %, menos del 25 %, menos del 20 %, menos del 15 %, menos del 10 % o menos del 5 % en peso o volumen, basándose en el peso o volumen total de la composición.

50 La expresión "tasa relativamente lenta" como se utiliza en el presente documento se refiere a la pérdida de disolvente del sólido húmedo en la película recubierta durante un período de tiempo relativamente largo. En algunas realizaciones, el tiempo necesario para secar la película recubierta de una composición de recubrimiento designada a una tasa relativamente lenta es de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 20 minutos.

55 La expresión "tasa de secado relativamente rápida" como se utiliza en el presente documento se refiere a la pérdida de disolvente del sólido húmedo en la película recubierta durante un período de tiempo relativamente corto. En algunas realizaciones, el tiempo necesario para secar la película recubierta de una composición de recubrimiento designada a una tasa de secado relativamente rápida es de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 5 minutos.

60 En la siguiente descripción, todos los números desvelados en el presente documento son valores aproximados, independientemente de si se utiliza la palabra "aproximadamente" o "aproximado" en relación con los mismos. Pueden variar en un 1 por ciento, 2 por ciento, 5 por ciento o, en ocasiones, de un 10 a un 20 por ciento. Siempre que se desvela un intervalo numérico con un límite inferior,  $R^L$  y un límite superior,  $R^U$ , 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 aumento del 1 por 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. Por otra parte, también se desvela específicamente cualquier intervalo numérico definido por dos números R como se ha definido anteriormente. Los métodos para preparar un cátodo de batería de la invención se definen respectivamente en las reivindicaciones 1 y 2.

- 5 La figura 1 muestra una realización del método desvelado en el presente documento, en donde se prepara una primera suspensión pretratando un material del cátodo en una primera solución acuosa que tiene un pH de aproximadamente 5,0 a aproximadamente 8,0 para formar una primera suspensión. A continuación, se seca la primera suspensión para obtener un material del cátodo pretratado. Se prepara una suspensión mezclando el material del cátodo pretratado, un agente conductor y un material aglutinante en una segunda solución acuosa. Se pueden añadir más componentes.
- 10 A continuación, la suspensión se homogeneiza mediante un homogeneizador para obtener una suspensión homogeneizada. Se recubre un colector de corriente con la suspensión homogeneizada y, a continuación, se seca el colector recubierto para formar el cátodo de la batería.

- 15 En determinadas realizaciones, la primera suspensión se prepara pretratando un material del cátodo en una primera solución acuosa que tiene un pH de aproximadamente 3,0 a aproximadamente 8,0.

En el presente documento, se puede utilizar cualquier temperatura que pueda pretratar el material del cátodo. En algunas realizaciones, el material del cátodo se puede añadir a la primera solución acuosa en agitación a aproximadamente 14 °C, aproximadamente 16 °C, aproximadamente 18 °C, aproximadamente 20 °C, aproximadamente 22 °C, aproximadamente 24 °C o aproximadamente 26 °C. En ciertas realizaciones, el proceso de pretratamiento se puede realizar con calentamiento a una temperatura de aproximadamente 30 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 35 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 40 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 45 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 55 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 55 °C a aproximadamente 70 °C, de aproximadamente 45 °C a aproximadamente 85 °C o de aproximadamente 45 °C a aproximadamente 90 °C. En algunas realizaciones, el proceso de pretratamiento se puede realizar a una temperatura por debajo de los 30 °C, por debajo de los 25 °C, por debajo de los 22 °C, por debajo de los 20 °C, por debajo de los 15 °C o por debajo de los 10 °C.

- 30 De acuerdo con una realización de la invención, el material del cátodo se selecciona del grupo que consiste en  $\text{LiCO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ ,  $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ ,  $\text{LiV}_2\text{O}_5$ ,  $\text{LiTiS}_2$ ,  $\text{LiMoS}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$ ,  $\text{LiCrO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFePO}_2$  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. De acuerdo con otra realización de la invención, el material del cátodo es  $\text{LiFePO}_4$ . En determinadas realizaciones, el material del cátodo se selecciona del grupo que consiste en  $\text{LiCO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ ,  $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$  (NMC),  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ ,  $\text{LiV}_2\text{O}_5$ ,  $\text{LiTiS}_2$ ,  $\text{LiMoS}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$ ,  $\text{LiCrO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFePO}_2$  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.

- 40 En determinadas realizaciones, el material del cátodo está dopado con un dopante seleccionado del grupo formado por Fe, Ni, Mn, Al, Mg, Zn, Ti, La, Ce, Sn, Zr, Ru, Si, Ge y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el dopante no es Fe, Ni, Mn, Mg, Zn, Ti, La, Ce, Ru, Si o Ge. En determinadas realizaciones, el dopante no es Al, Sn o Zr.

45 En algunas realizaciones, el material del cátodo comprende o es un compuesto de núcleo-cubierta que comprende un núcleo que comprende un compuesto metálico de transición de litio y una cubierta formada recubriendo la superficie del núcleo con un óxido metálico de transición. En determinadas realizaciones, el compuesto metálico de transición de litio se selecciona del grupo que consiste en  $\text{LiCO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ ,  $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ ,  $\text{LiV}_2\text{O}_5$ ,  $\text{LiTiS}_2$ ,  $\text{LiMoS}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$ ,  $\text{LiCrO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFeO}_2$ ,  $\text{LiFePO}_4$  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 algunas realizaciones, el óxido metálico de transición se selecciona del grupo formado por  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{RuO}_2$  y combinaciones de los mismos.

55 En determinadas realizaciones, el material del cátodo comprende o es un compuesto núcleo-cubierta que tiene una estructura de núcleo y cubierta, en donde el núcleo y la cubierta comprenden cada uno independientemente un compuesto metálico de transición de litio seleccionado del grupo que consiste en  $\text{LiCO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ ,  $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ ,  $\text{LiV}_2\text{O}_5$ ,  $\text{LiTiS}_2$ ,  $\text{LiMoS}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$ ,  $\text{LiCrO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFeO}_2$ ,  $\text{LiFePO}_4$  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 otras realizaciones, el núcleo y la cubierta comprenden cada uno independientemente dos o más compuestos metálicos de transición de litio. Los dos o más compuestos metálicos de transición de litio en el núcleo y la cubierta pueden ser iguales o pueden ser diferentes o parcialmente diferentes. En algunas realizaciones, los dos o más compuestos metálicos de transición de litio están distribuidos uniformemente sobre el núcleo. En determinadas realizaciones, los dos o más compuestos metálicos de transición de litio no están distribuidos uniformemente sobre el núcleo.

- 65 En algunas realizaciones, cada uno de los compuestos metálicos de transición de litio en el núcleo y la cubierta está dopado independientemente con un dopante seleccionado del grupo que consiste en Fe, Ni, Mn, Al, Mg, Zn, Ti, La,

Ce, Sn, Zr, Ru, Si, Ge y combinaciones de los mismos. En determinadas realizaciones, el núcleo y la cubierta comprenden cada uno independientemente dos o más compuestos metálicos de transición de litio dopados. En algunas realizaciones, los dos o más compuestos metálicos de transición de litio dopados están distribuidos uniformemente sobre el núcleo. En determinadas realizaciones, los dos o más compuestos metálicos de transición de litio dopados no están distribuidos uniformemente sobre el núcleo.

En algunas realizaciones, el diámetro del núcleo es de aproximadamente 5 µm a aproximadamente 45 µm, de aproximadamente 5 µm a aproximadamente 35 µm, de aproximadamente 5 µm a aproximadamente 25 µm, de aproximadamente 10 µm a aproximadamente 40 µm o de aproximadamente 10 µm a aproximadamente 35 µm. En determinadas realizaciones, el espesor de la cubierta es de aproximadamente 3 µm a aproximadamente 15 µm, de aproximadamente 15 µm a aproximadamente 45 µm, de aproximadamente 15 µm a aproximadamente 30 µm, de aproximadamente 15 µm a aproximadamente 25 µm, de aproximadamente 20 µm a aproximadamente 30 µm o de aproximadamente 20 µm a aproximadamente 35 µm. En determinadas realizaciones, la relación en diámetro o espesor del núcleo y la cubierta está en el intervalo de 15:85 a 85:15, de 25:75 a 75:25, de 30:70 a 70:30 o de 40:60 a 60:40. En determinadas realizaciones, la relación en volumen o peso del núcleo y la cubierta es de 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 o 30:70.

En determinadas realizaciones, la primera solución acuosa es una solución que contiene agua como componente principal y un disolvente volátil, tal como alcoholes, cetonas alifáticas inferiores, acetatos de alquilo inferior o similares, como componente minoritario además del agua. De acuerdo con la invención, la cantidad de agua en la primera solución acuosa es al menos del 50 %. En algunas realizaciones, la primera solución acuosa consiste únicamente en agua, es decir, la proporción de agua en la primera solución acuosa es del 100 % en volumen.

Se puede usar cualquier disolvente miscible en agua como componente minoritario. Algunos ejemplos no limitantes del componente minoritario (es decir, disolventes distintos del agua) incluyen alcoholes, cetonas alifáticas inferiores, acetatos de alquilo inferior y combinaciones de los mismos. Algunos ejemplos no limitantes del alcohol incluyen alcoholes C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>, tales como metanol, etanol, isopropanol, n-propanol, butanol y combinaciones de los mismos. Algunos ejemplos no limitantes de las cetonas alifáticas inferiores incluyen acetona, dimetilcetona y metiletilcetona. Algunos ejemplos no limitantes de los acetatos de alquilo inferior incluyen acetato de etilo, acetato de isopropilo y acetato de propilo.

En determinadas realizaciones, el disolvente volátil o el componente minoritario es metiletilcetona, etanol, acetato de etilo o una combinación de los mismos.

En algunas realizaciones, la primera solución acuosa es una mezcla de agua y uno o más componentes minoritarios miscibles en agua. En determinadas realizaciones, la primera solución acuosa es una mezcla de agua y un componente minoritario seleccionado entre etanol, isopropanol, n-propanol, t-butanol, n-butanol y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, la relación en volumen del agua y el componente minoritario es de aproximadamente 51:49 a aproximadamente 100:1.

En determinadas realizaciones, la primera solución acuosa es agua. Algunos ejemplos no limitantes de agua incluyen agua del grifo, agua embotellada, agua purificada, agua pura, agua destilada, agua desionizada, D<sub>2</sub>O o una combinación de las mismas. En algunas realizaciones, la primera solución acuosa es agua desionizada. En determinadas realizaciones, la primera solución acuosa no contiene alcohol, cetona alifática, acetato de alquilo o una combinación de los mismos.

De acuerdo con una realización de la invención, la primera solución acuosa es ácida, ligeramente alcalina o neutra y tiene un pH de aproximadamente 3,0 a aproximadamente 8,0. De acuerdo con otra realización de la invención, el pH de la primera solución acuosa es de aproximadamente 5,0 a aproximadamente 8,0.

En determinadas realizaciones, la primera solución acuosa comprende uno o más ácidos seleccionados del grupo que consiste en ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos y combinaciones de los mismos.

En algunas realizaciones, el ácido es una mezcla de uno o más ácidos inorgánicos y uno o más ácidos orgánicos, en donde una relación en peso del uno o más ácidos inorgánicos y uno o más ácidos orgánicos es de aproximadamente 10/1 a aproximadamente 1/10, de aproximadamente 8/1 a aproximadamente 1/8, de aproximadamente 6/1 a aproximadamente 1/6 o de aproximadamente 4/1 a aproximadamente 1/4.

En determinadas realizaciones, el uno o más ácidos inorgánicos se seleccionan del grupo que consiste en ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido bórico, ácido fluorhídrico, ácido bromhídrico, ácido perclórico, ácido yodhídrico y combinaciones de los mismos. En realizaciones adicionales, el uno o más ácidos inorgánicos son ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido bromhídrico, ácido nítrico, ácido fosfórico y combinaciones de los mismos. Incluso en otras realizaciones, el ácido inorgánico es ácido clorhídrico. En algunas realizaciones, el ácido no contiene ácido inorgánico, tal como ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido bórico, ácido fluorhídrico, ácido bromhídrico, ácido perclórico o ácido yodhídrico.

En algunas realizaciones, el uno o más ácidos orgánicos se seleccionan del grupo que consiste en ácido acético, ácido láctico, ácido oxálico, ácido cítrico, ácido úrico, ácido trifluoroacético, ácido metanosulfónico, ácido fórmico, ácido propiónico, ácido butírico, ácido valérico, ácido glucónico, ácido málico, ácido caproico y combinaciones de los mismos. En realizaciones adicionales, el uno o más ácidos orgánicos son ácido fórmico, ácido acético, ácido propiónico y combinaciones de los mismos. Incluso en otras realizaciones, el ácido orgánico es ácido acético. En algunas realizaciones, el ácido no contiene ácido orgánico, tal como ácido acético, ácido láctico, ácido oxálico, ácido cítrico, ácido úrico, ácido trifluoroacético, ácido metanosulfónico, ácido fórmico, ácido propiónico, ácido butírico, ácido valérico, ácido glucónico, ácido málico o ácido caproico.

El pH de la primera solución acuosa se mantiene durante la adición del material activo del electrodo de batería en un intervalo de aproximadamente 4,0 a aproximadamente 7,5 mediante la adición de uno o más ácidos como ajustador del pH. La elección del ajustador de pH no es crítica. Puede usarse cualquier ácido orgánico o inorgánico adecuado. En algunas realizaciones, el ajustador de pH es un ácido seleccionado del grupo que consiste en un ácido inorgánico, un ácido orgánico y combinaciones de los mismos. El pH se puede controlar mediante un dispositivo de medición de pH, tal como sensores de pH. En algunas realizaciones, se utiliza más de un sensor de pH para controlar el valor del pH.

Cuando el material del cátodo que tiene una estructura de núcleo-cubierta se expone a una solución ácida acuosa, la cubierta del compuesto núcleo-cubierta se dañará por el ambiente ácido, afectando de este modo al rendimiento del material del cátodo. En algunas realizaciones, la cubierta del compuesto núcleo-cubierta es muy delgada y tiene un espesor de aproximadamente 3  $\mu\text{m}$  a aproximadamente 15  $\mu\text{m}$ . La fina capa es muy frágil y, por lo tanto, puede dañarse fácilmente. En determinadas realizaciones, la primera solución acuosa es ligeramente alcalina o neutra y tiene un pH en cualquier lugar dentro del intervalo de aproximadamente 7,0 a aproximadamente 7,5 o de aproximadamente 7,0 a aproximadamente 8,0. En algunas realizaciones, el compuesto núcleo-cubierta se pretrata en agua o en una mezcla de agua y alcohol. En una realización, la primera solución acuosa es agua y los contaminantes tales como suciedad e impurezas solubles en agua se pueden eliminar de la superficie del compuesto núcleo-cubierta sin dañar la cubierta. En otra realización, la primera solución acuosa es una mezcla de agua y alcohol y contaminantes tales como suciedad, compuestos orgánicos tales como grasa y aceite y las impurezas solubles en agua se pueden eliminar de la superficie del compuesto núcleo-cubierta sin dañar la cubierta. En realizaciones adicionales, el alcohol se selecciona del grupo que consiste en metanol, etanol, propanol, butanol, pentanol e isómeros y combinaciones de los mismos.

El uso de la solución acuosa ácida para el pretratamiento del material del cátodo rico en Ni tal como NMC532, NMC622 o NMC811 pueden provocar defectos en la superficie del material del cátodo. Estos defectos, a su vez, provocan una degradación de leve a grave del rendimiento electroquímico de una celda electroquímica. El pretratamiento ácido también puede provocar irregularidades en la superficie del material del cátodo, lo que a su vez provoca una reducción del rendimiento de la celda o incluso un fallo de la misma. En algunas realizaciones, el material del cátodo rico en Ni se pretrata en un ambiente ligeramente alcalino o neutro. En determinadas realizaciones, la primera solución acuosa tiene un pH en cualquier lugar dentro del intervalo de aproximadamente 7,0 a aproximadamente 7,5 o de aproximadamente 7,0 a aproximadamente 8,0. En algunas realizaciones, el material del cátodo rico en Ni se pretrata en agua, alcohol o una mezcla de agua y alcohol. En otras realizaciones, el material del cátodo rico en Ni se pretrata en un ambiente ligeramente ácido que tiene un pH de aproximadamente 6,0 a aproximadamente 7,0. En realizaciones adicionales, la primera solución acuosa comprende un ácido en una cantidad de aproximadamente el 0,001 % en peso a aproximadamente el 0,01 % en peso. En otras realizaciones, la primera solución acuosa comprende un ácido en una cantidad inferior a aproximadamente el 0,01 % en peso. Por lo tanto, los contaminantes se pueden eliminar de la superficie del material del cátodo rico en Ni sin crear defectos en la superficie del material del cátodo.

En algunas realizaciones, después de añadir el material del cátodo a la primera solución acuosa, la mezcla se puede agitar adicionalmente durante un período de tiempo suficiente para formar la primera suspensión. En determinadas realizaciones, el período de tiempo es de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 1,5 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 10 minutos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 1,5 horas, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 1 hora, o de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 1 hora.

En algunas realizaciones, la primera suspensión se puede secar para obtener un material del cátodo pretratado. Cualquier secador que pueda secar la suspensión puede utilizarse en el presente documento. En algunas realizaciones, el proceso de secado se realiza mediante un secador al vacío de doble cono, un secador de microondas o un secador al vacío de microondas.

Convencionalmente, no se recomienda utilizar un secador de microondas para secar el material metálico, ya que las características del material metálico pueden reflejar la frecuencia de las microondas. Para sorpresa de los inventores, cuando el secado se realiza mediante un secador de microondas o un secador de vacío de microondas, el material del cátodo se puede secar eficazmente y el tiempo de secado se puede acortar significativamente, reduciendo de este

modo los costos operativos. En algunas realizaciones, el tiempo de secado es de aproximadamente 3 minutos a aproximadamente 25 minutos. Asimismo, secar el material del cátodo a altas temperaturas durante un tiempo prolongado puede dar como resultado una descomposición indeseable del material del cátodo y alterar los estados de oxidación del material del cátodo. El material del cátodo que tiene un alto contenido en níquel y/o manganeso es particularmente sensible a la temperatura. Como tal, el electrodo positivo puede tener un rendimiento reducido. Por lo tanto, los tiempos de secado reducidos reducen o eliminan significativamente la degradación del material del cátodo. En determinadas realizaciones, el secador es un secador de microondas o un secador al vacío de microondas. En algunas realizaciones, el secador de microondas o el secador al vacío de microondas funciona a una potencia de aproximadamente 500 W a aproximadamente 3 kW, de aproximadamente 5 kW a aproximadamente 15 kW, de aproximadamente 6 kW a aproximadamente 20 kW, de aproximadamente 7 kW a aproximadamente 20 kW, de aproximadamente 15 kW a aproximadamente 70 kW, de aproximadamente 20 kW a aproximadamente 90 kW, de aproximadamente 30 kW a aproximadamente 100 kW, o de aproximadamente 50 kW a aproximadamente 100 kW.

En algunas realizaciones, la etapa de secado puede llevarse a cabo durante un período de tiempo que es suficiente para secar la primera suspensión. En determinadas realizaciones, el tiempo de secado es de aproximadamente 3 minutos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 3 horas, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 4 horas, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 4 horas, o de aproximadamente 20 minutos a aproximadamente 5 horas.

Después de la formación del material del cátodo pretratado secando la primera suspensión, se puede formar una suspensión dispersando el material del cátodo pretratado, un agente conductor y un material aglutinante en una segunda solución acuosa.

En determinadas realizaciones, la cantidad del material del cátodo pretratado es de al menos el 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 %, 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 el 90 % o al menos el 95 % en peso o volumen, basándose en el peso o volumen total de la suspensión. En algunas realizaciones, la cantidad de material del cátodo pretratado es como máximo el 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 %, como máximo el 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 o volumen, basándose en el peso o volumen total de la suspensión.

En algunas realizaciones, el material del cátodo pretratado es el componente principal de la suspensión. En algunas realizaciones, el material del cátodo pretratado está presente en una cantidad de aproximadamente el 50 % a aproximadamente el 95 % en peso o volumen, de aproximadamente el 55 % a aproximadamente el 95 % en peso o volumen, de aproximadamente el 60 % a aproximadamente el 95 % en peso o volumen, de aproximadamente el 65 % a aproximadamente el 95 % en peso o volumen, de aproximadamente el 70 % a aproximadamente el 95 % en peso o volumen, de aproximadamente el 75 % a aproximadamente el 95 % en peso o volumen, de aproximadamente el 80 % a aproximadamente el 95 % en peso o volumen, de aproximadamente el 85 % a aproximadamente el 95 % en peso o volumen, de aproximadamente el 55 % a aproximadamente el 85 % en peso o volumen, de aproximadamente el 60 % a aproximadamente el 85 % en peso o volumen, de aproximadamente el 65 % a aproximadamente el 85 % en peso o volumen, de aproximadamente el 70 % a aproximadamente el 85 % en peso o volumen, de aproximadamente el 65 % a aproximadamente el 80 % en peso o volumen, o de aproximadamente el 70 % a aproximadamente el 80 % en peso o volumen, basándose en el peso o volumen total de la suspensión.

El agente conductor en la suspensión es para mejorar la propiedad de conducción eléctrica de un electrodo. De acuerdo con la invención, el agente conductor se selecciona del 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.

El material aglutinante en la suspensión cumple la función de unir el material del electrodo activo y el agente conductor en el colector de corriente. De acuerdo con la invención, el material aglutinante se selecciona del grupo que consiste en caucho de estireno-butadieno (SBR), carboximetilcelulosa (CMC), fluoruro de polivinilideno (PVDF), copolímero de acrilonitrilo, ácido poliacrílico (PAA), poli(acrilonitrilo), poli(fluoruro de vinilideno)-hexafluoropropeno (PVDF-HFP), látex, una sal de ácido algínico y combinaciones de los mismos. En determinadas 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.

En algunas realizaciones, el material aglutinante es SBR, CMC, PAA, una sal de ácido algínico o una combinación de los mismos. En determinadas realizaciones, el material aglutinante es un copolímero de acrilonitrilo. En algunas realizaciones, el material aglutinante es poli(acrilonitrilo).

En determinadas realizaciones, la cantidad de cada uno del agente conductor y el material aglutinante es independientemente de al menos el 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 o volumen, basándose en el peso o volumen total de la suspensión. En algunas realizaciones, la cantidad de cada uno del agente conductor y el material aglutinante es independientemente como máximo el 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 o volumen, basándose en el peso o volumen total de la suspensión.

En algunas realizaciones, el agente conductor se pretrata en una solución alcalina o básica antes de la etapa 3). El pretratamiento del agente conductor antes de la preparación de la suspensión puede mejorar la humectabilidad y la capacidad de dispersión del agente conductor en la suspensión, permitiendo de este modo una distribución homogénea del agente conductor dentro del electrodo compuesto seco. Si las partículas del agente conductor se dispersan heterogéneamente en el electrodo, el rendimiento, la vida y la seguridad de la batería se verán afectadas.

En determinadas realizaciones, el agente conductor se puede pretratar durante un período de tiempo de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 1,5 horas, de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 45 minutos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 45 minutos a aproximadamente 1,5 horas, o de aproximadamente 45 minutos a aproximadamente 1 hora. En algunas realizaciones, la solución alcalina o básica comprende una base seleccionada del grupo que consiste en  $H_2O_2$ ,  $LiOH$ ,  $NaOH$ ,  $KOH$ ,  $NH_3 \cdot H_2O$ ,  $Be(OH)_2$ ,  $Mg(OH)_2$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $Li_2CO_3$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $NaHCO_3$ ,  $K_2CO_3$ ,  $KHCO_3$  y combinaciones de los mismos. En determinadas realizaciones, la solución básica comprende una base orgánica. En algunas realizaciones, la solución básica no contiene base orgánica. En determinadas realizaciones, la solución básica no contiene  $H_2O_2$ ,  $LiOH$ ,  $NaOH$ ,  $KOH$ ,  $NH_3 \cdot H_2O$ ,  $Be(OH)_2$ ,  $Mg(OH)_2$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $Li_2CO_3$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $NaHCO_3$ ,  $K_2CO_3$  o  $KHCO_3$ . Se desea mantener las partículas dispersas uniformemente dentro de una suspensión. El pretratamiento del agente conductor con una solución alcalina puede eliminar impurezas tales como aceite y grasa, promover una distribución más uniforme de las partículas del agente conductor y mejorar su dispensabilidad en la suspensión sin acumular impurezas alcalinas que tienen un impacto negativo en el rendimiento de la batería. En comparación con la adición de agente dispersante, el agente dispersante permanecerá en la suspensión y puede afectar negativamente al rendimiento de la batería.

En algunas realizaciones, el pH de la solución alcalina o básica es superior a 7, superior a 8, superior a 9, superior a 10, superior a 11, superior a 12 o superior a 13. En algunas realizaciones, el pH de la solución alcalina o básica es inferior a pH 8, inferior a 9, inferior a 10, inferior a 11, inferior a 12 o inferior a 13.

En determinadas realizaciones, el agente conductor se dispersa en una tercera solución acuosa para formar una segunda suspensión antes de la etapa 3).

En comparación con un material activo del electrodo de batería, un agente conductor tiene un área superficial específica relativamente alta. Por lo tanto, el agente conductor tiene tendencia a aglomerarse debido a su área superficial específica relativamente alta, especialmente cuando las partículas del agente conductor deben dispersarse en una suspensión muy densa del material activo del electrodo de batería. Dispersar el agente conductor antes de la preparación de la suspensión puede minimizar la aglomeración de las partículas, permitiendo de este modo una distribución más homogénea del agente conductor dentro del electrodo compuesto seco. Esto podría reducir la resistencia interna y mejorar el rendimiento electroquímico de los materiales del electrodo.

Cada uno del material del cátodo pretratado, el agente conductor y el material aglutinante se puede añadir independientemente a la segunda solución acuosa en una porción, simplificando de este modo enormemente el método de la presente invención.

En algunas realizaciones, la cantidad del agente conductor en la segunda suspensión es de aproximadamente el 0,05 % en peso a aproximadamente el 0,5 % en peso, de aproximadamente el 0,1 % en peso a aproximadamente el 1 % en peso, de aproximadamente el 0,25 % en peso a aproximadamente el 2,5 % en peso, de aproximadamente el 0,5 % en peso a aproximadamente el 5 % en peso, de aproximadamente el 2 % en peso a aproximadamente el 5 % en peso, de aproximadamente el 3 % en peso a aproximadamente el 7 % en peso o de aproximadamente el 5 % en peso a aproximadamente el 10 % en peso, basándose en el peso total de la mezcla del agente conductor y la tercera solución acuosa.

En determinadas realizaciones, el material aglutinante se disuelve en una cuarta solución acuosa para formar una solución resultante o una solución aglutinante antes de la etapa 3).

Dispersar el material aglutinante sólido antes de la preparación de la suspensión puede evitar la adhesión del material aglutinante sólido a la superficie de otros materiales, permitiendo de este modo que el material aglutinante se disperse homogéneamente en la suspensión. Si el material aglutinante se dispersa heterogéneamente en el electrodo, el rendimiento de la batería puede deteriorarse.

5 En algunas realizaciones, la cantidad del material aglutinante en la solución aglutinante es de aproximadamente el 3 % en peso a aproximadamente el 6 % en peso, de aproximadamente el 5 % en peso a aproximadamente el 10 % en peso, de aproximadamente el 7,5 % en peso a aproximadamente el 15 % en peso, de aproximadamente el 10 % en peso a aproximadamente el 20 % en peso, de aproximadamente el 15 % en peso a aproximadamente el 25 % en peso, de aproximadamente el 20 % en peso a aproximadamente el 40 % en peso, o de aproximadamente el 35 % en peso a aproximadamente el 50 % en peso, basándose en el peso total de la mezcla del material aglutinante y la cuarta solución acuosa.

10 En determinadas realizaciones, cada una de la segunda, la tercera y la cuarta solución acuosa independientemente es una solución que contiene agua como componente principal y un disolvente volátil, tal como alcoholes, cetonas alifáticas inferiores, acetatos de alquilo inferior o similares, como componente minoritario además del agua. En determinadas realizaciones, la cantidad de agua en cada solución es independientemente de 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 el 90 % o al menos el 95 % de la cantidad total de agua y disolventes distintos del agua. En algunas realizaciones, la cantidad de agua es 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 % de la cantidad total de agua y disolventes distintos del agua. En algunas realizaciones, cada una de la segunda, la tercera y la cuarta solución acuosa consiste independientemente únicamente en agua, es decir, la proporción de agua en cada solución es del 100 % en volumen.

25 Se puede utilizar cualquier disolvente miscible en agua como componente minoritario de la segunda, la tercera o la cuarta solución acuosa. Algunos ejemplos no limitantes del componente menor incluyen alcoholes, cetonas alifáticas inferiores, acetatos de alquilo inferior y combinaciones de los mismos. Algunos ejemplos no limitantes del alcohol incluyen alcoholes C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>, tales como metanol, etanol, isopropanol, n-propanol, butanol y combinaciones de los mismos. Algunos ejemplos no limitantes de las cetonas alifáticas inferiores incluyen acetona, dimetilcetona y metiletilcetona. Algunos ejemplos no limitantes de los acetatos de alquilo inferior incluyen acetato de etilo, acetato de isopropilo y acetato de propilo.

30 En algunas realizaciones, el disolvente volátil o el componente minoritario es metiletilcetona, etanol, acetato de etilo o una combinación de los mismos.

35 En algunas realizaciones, la composición de la suspensión no requiere disolventes orgánicos. En determinadas realizaciones, cada una de la segunda, la tercera y la cuarta solución acuosa independientemente es agua. Algunos ejemplos no limitantes de agua incluyen agua del grifo, agua embotellada, agua purificada, agua pura, agua destilada, agua desionizada, D<sub>2</sub>O o una combinación de las mismas. En algunas realizaciones, cada una de la segunda, la tercera y la cuarta solución acuosa independientemente es agua purificada, agua pura, agua desionizada, agua destilada o una combinación de las mismas. En determinadas realizaciones, cada una de la segunda, la tercera y la cuarta solución acuosa no contiene un disolvente orgánico tal como alcoholes, cetonas alifáticas inferiores, acetatos de alquilo inferior. Puesto que la composición de la suspensión no contiene ningún disolvente orgánico, se evita el manejo costoso, restrictivo y complicado de los disolventes orgánicos durante la fabricación de la suspensión.

45 En el presente documento, se puede utilizar cualquier temperatura que pueda utilizarse en la etapa de dispersión para formar la suspensión. En algunas realizaciones, se añaden el material del cátodo pretratado, el agente conductor y el material aglutinante a la segunda solución acuosa en agitación a aproximadamente 14 °C, aproximadamente 16 °C, aproximadamente 18 °C, aproximadamente 20 °C, aproximadamente 22 °C, aproximadamente 24 °C o aproximadamente 26 °C. En ciertas realizaciones, el proceso de dispersión se puede realizar calentando a una temperatura de aproximadamente 30 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 35 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 40 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 45 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 55 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 55 °C a aproximadamente 70 °C, de aproximadamente 45 °C a aproximadamente 85 °C o de aproximadamente 45 °C a aproximadamente 90 °C. En algunas realizaciones, el proceso de dispersión se puede realizar a una temperatura por debajo de los 30 °C, por debajo de los 25 °C, por debajo de los 22 °C, por debajo de los 20 °C, por debajo de los 15 °C o por debajo de los 10 °C.

55 Se pueden utilizar componentes opcionales para ayudar a dispersar el material del cátodo pretratado, el agente conductor y el material aglutinante en la suspensión. En algunas realizaciones, el componente opcional es un agente dispersante. Se puede añadir cualquier agente dispersante que pueda mejorar la dispersión a la suspensión desvelada en el presente documento. En determinadas realizaciones, el agente dispersante se selecciona del grupo que consiste en etanol, isopropanol, n-propanol, t-butanol, n-butanol, dodecil sulfato de litio, cloruro de trimetilhexadecil amonio, etoxilato de polietileno, dodecilbencensulfonato sódico, estearato de sodio y combinaciones de los mismos.

65 En algunas realizaciones, la cantidad total del agente dispersante es de aproximadamente el 0,1 % a aproximadamente el 10 %, de aproximadamente el 0,1 % a aproximadamente el 8 %, de aproximadamente el 0,1 % a aproximadamente el 6 %, de aproximadamente el 0,1 % a aproximadamente el 5 %, de aproximadamente el 0,1 % a aproximadamente el 4 %, de aproximadamente el 0,1 % a aproximadamente el 3 %, de aproximadamente el 0,1 %

a aproximadamente el 2 %, o de aproximadamente el 0,1 % a aproximadamente el 1 % en peso, basándose en el peso total de la suspensión.

5 En algunas realizaciones, cada una de la segunda, la tercera y la cuarta solución acuosa comprende independientemente un agente dispersante para promover la separación de partículas y/o prevenir la aglomeración de las partículas. Se puede utilizar como agente dispersante cualquier tensioactivo que pueda reducir la tensión superficial entre un líquido y un sólido.

10 En determinadas realizaciones, el agente dispersante es un tensioactivo no iónico, un tensioactivo aniónico, un tensioactivo catiónico, un tensioactivo anfótero o una combinación de los mismos.

15 Algunos ejemplos no limitantes de tensioactivo no iónico adecuado incluyen un alcohol alcoxilado, un éster carboxílico, un éster de polietilenglicol y combinaciones de los mismos. Algunos ejemplos no limitantes de alcohol alcoxilado adecuado incluyen alcoholes etoxilados y propoxilados. En algunas realizaciones, la suspensión desvelada en el presente documento no contiene tensioactivos no iónicos.

20 Algunos ejemplos no limitantes de tensioactivo aniónico adecuado incluyen una sal de un sulfato de alquilo, un alquil éter sulfato polietoxilado, un alquil bencenosulfonato, un alquil éter sulfato, un sulfonato, un sulfosuccinato, un sarcosinato y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el tensioactivo aniónico comprende un catión seleccionado del grupo que consiste en sodio, potasio, amonio y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, la suspensión desvelada en el presente documento no contiene tensioactivo aniónico.

25 Algunos ejemplos no limitantes de tensioactivo catiónico adecuado incluyen una sal de amonio, una sal de fosfonio, una sal de imidazolio, una sal de sulfonio y combinaciones de las mismas. Algunos ejemplos no limitantes de sal de amonio adecuada incluyen bromuro de estearil trimetilamonio (STAB), bromuro de cetil trimetilamonio (CTAB) y bromuro de miristil trimetilamonio (MTAB) y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, la suspensión desvelada en el presente documento no contiene tensioactivo catiónico.

30 Algunos ejemplos no limitantes de tensioactivo anfótero adecuado son tensioactivos que contienen grupos catiónicos y aniónicos. El grupo catiónico es amonio, fosfonio, imidazolio, sulfonio o una combinación de los mismos. El grupo aniónico hidrófilo es carboxilato, sulfonato, sulfato, fosfonato o una combinación de los mismos. En algunas realizaciones, la suspensión desvelada en el presente documento no contiene tensioactivos anfóteros.

35 La suspensión se puede homogeneizar mediante un homogeneizador. Puede utilizarse cualquier equipo que pueda homogeneizar la suspensión. En algunas realizaciones, el homogeneizador es un mezclador agitador, una mezcladora, un molino, un equipo de ultrasonidos, un homogeneizador de rotor-estator, un atomizador o un homogeneizador de alta presión.

40 En algunas realizaciones, el homogeneizador es un equipo de ultrasonidos. En el presente documento puede usarse cualquier equipo de ultrasonidos que pueda aplicar energía de ultrasonidos para agitar y dispersar las partículas en una muestra. En algunas realizaciones, el equipo de ultrasonidos es un equipo de ultrasonidos de tipo sonda o una celda de flujo ultrasónico.

45 En determinadas realizaciones, la suspensión se homogeneiza mediante agitación mecánica durante un periodo de tiempo de aproximadamente 2 horas a aproximadamente 8 horas. En algunas realizaciones, el mezclador agitador es un mezclador planetario que consiste en paletas de dispersión planetarias y de alta velocidad. En determinadas realizaciones, la velocidad de rotación de la paleta planetaria es de aproximadamente 20 rpm a aproximadamente 200 rpm y la velocidad de rotación de la paleta de dispersión es de aproximadamente 1.000 rpm a aproximadamente 3.500 rpm. En realizaciones adicionales, la velocidad de rotación de la paleta planetaria es de aproximadamente 20 rpm a aproximadamente 150 rpm o de aproximadamente 30 rpm a aproximadamente 100 rpm, y la velocidad de rotación de la paleta de dispersión es de aproximadamente 1.000 rpm a aproximadamente 3.000 rpm o de aproximadamente 1.500 rpm a aproximadamente 2.500 rpm. Cuando el homogeneizador es un mezclador agitador, la suspensión se agita durante al menos dos horas para asegurar una dispersión suficiente. Si la dispersión no es suficiente, el rendimiento de la batería, tal como la vida útil, puede verse seriamente afectado. En realizaciones adicionales, el tiempo de agitación es de aproximadamente 2 horas a aproximadamente 6 horas, de aproximadamente 3 horas a aproximadamente 8 horas, de aproximadamente 3 horas a aproximadamente 6 horas o de aproximadamente 4 horas a aproximadamente 8 horas.

60 En determinadas realizaciones, la celda de flujo ultrasónica se puede hacer funcionar en un modo de una sola pasada, de múltiples pasadas o de recirculación. En algunas realizaciones, la celda de flujo ultrasónico puede incluir una camisa de refrigeración por agua para ayudar a mantener la temperatura requerida. Como alternativa, se puede utilizar un intercambiador de calor separado. En determinadas realizaciones, la celda de flujo puede estar fabricada de acero inoxidable o vidrio.

65 En algunas realizaciones, la suspensión se homogeneiza durante un período de tiempo de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 10 horas, de aproximadamente 2 horas a aproximadamente 4 horas, de aproximadamente 15

minutos a aproximadamente 4 horas, de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 4 horas, de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 4 horas, de aproximadamente 2 horas a aproximadamente 5 horas, de aproximadamente 3 horas a aproximadamente 5 horas o de aproximadamente 2 horas a aproximadamente 6 horas.

- 5 En determinadas realizaciones, el equipo de ultrasonidos funciona a una densidad de potencia de aproximadamente 10 W/l a aproximadamente 100 W/l, de aproximadamente 20 W/l a aproximadamente 100 W/l, de aproximadamente 30 W/l a aproximadamente 100 W/l, de aproximadamente 40 W/l a aproximadamente 80 W/l, de aproximadamente 40 W/l a aproximadamente 70 W/l, de aproximadamente 40 W/l a aproximadamente 50 W/l, de aproximadamente 40 W/l a aproximadamente 60 W/l, de aproximadamente 50 W/l a aproximadamente 60 W/l, de aproximadamente 20 W/l a aproximadamente 80 W/l, de aproximadamente 20 W/l a aproximadamente 60 W/l, o de aproximadamente 20 W/l a aproximadamente 40 W/l.

15 El sistema de flujo continuo tiene varias ventajas sobre el procesamiento de tipo por lotes. Mediante la sonicación a través de la celda de flujo ultrasónico, la capacidad de procesamiento llega a ser significativamente mayor. El tiempo de retención del material en la celda de flujo puede ajustarse mediante el ajuste del caudal.

20 Mediante sonicación a través del modo de recirculación, el material se recircula muchas veces a través de la celda de flujo en una configuración de recirculación. La recirculación aumenta el tiempo de exposición acumulado puesto que el líquido pasa una vez a través de la celda de flujo ultrasónico en una configuración de una sola pasada.

25 El modo de múltiples pasadas tiene una configuración de celda de flujo múltiple. Esta disposición permite un procesamiento de una sola pasada sin necesidad de recirculación o de múltiples pasadas a través del sistema. Esta disposición proporciona un factor de aumento a escala de la productividad adicional igual al número de celdas de flujo utilizadas.

La etapa de homogeneización desvelada en el presente documento reduce o elimina la agregación potencial del material del cátodo y el agente conductor y mejora la dispersión de cada ingrediente en la suspensión.

30 Cuando la suspensión es homogeneizada por un molino, un medio tal como bolas, guijarros, roca pequeña, arena u otros medios se usa en una mezcla agitada junto con el material de muestra que se va a mezclar. Las partículas de la mezcla se mezclan y reducen de tamaño mediante el impacto con superficies que se mueven rápidamente en un molino. En algunas realizaciones, la bola está hecha de materiales duros tales como acero, acero inoxidable, cerámica o dióxido de circonio ( $ZrO_2$ ). Sin embargo, se observa que la tensión mecánica durante el proceso de molienda causa daños a la estructura del material del cátodo dando como resultado distorsión o daños estructurales importantes tales como grietas. El material del cátodo también puede ser desgastado por la bola, causando daños estructurales y una superficie de forma irregular. Estos defectos, a su vez, provocan una degradación de leve a grave del rendimiento electroquímico de una celda electroquímica. El material del cátodo que tiene una estructura de núcleo-cubierta es aún más susceptible a daños mecánicos debido a la vulnerabilidad de la cubierta.

40 La suspensión homogeneizada se puede aplicar sobre un colector de corriente para formar una película recubierta sobre el colector de corriente. 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 los electrodos positivos y negativos, 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 determinadas realizaciones, el colector de corriente del electrodo positivo es una película delgada de aluminio. En algunas realizaciones, el colector de corriente del electrodo negativo es una película delgada de cobre.

50 En algunas realizaciones, el colector de corriente tiene un espesor de aproximadamente 6  $\mu m$  a aproximadamente 100  $\mu m$ , ya que el espesor afectará al volumen ocupado por el colector de corriente dentro de una batería y la cantidad de material activo del electrodo de batería y, por lo tanto, a la capacidad en la batería.

55 En determinadas realizaciones, el proceso de recubrimiento se realiza con un recubridor de rasqueta, un recubridor de ranura, un recubridor de transferencia, un recubridor de pulverización, un recubridor de rodillos, un recubridor de huecogrado, un recubridor de inmersión o un recubridor de cortina. En algunas realizaciones, el espesor de la película recubierta sobre el colector de corriente es de aproximadamente 10  $\mu m$  a aproximadamente 300  $\mu m$  o de aproximadamente 20  $\mu m$  a aproximadamente 100  $\mu m$ .

60 Después de aplicar la suspensión homogeneizada sobre un colector de corriente, la película recubierta sobre el colector de corriente se puede secar con una secadora para obtener el electrodo de la batería. En el presente documento, puede utilizarse cualquier secadora que pueda secar la película recubierta sobre el colector de corriente. Algunos ejemplos no limitantes de la secadora son un horno de secado por lotes, un horno de secado de tipo transportador y un horno de secado de tipo microondas. Algunos ejemplos no limitantes del horno de secado de tipo transportador incluyen un horno de secado de aire caliente de tipo transportador, un horno de secado con resistencia de tipo transportador, un horno de secado inductivo de tipo transportador y un horno de secado por microondas de tipo transportador.

5 En algunas realizaciones, el horno de secado de tipo transportador para secar la película recubierta sobre el colector de corriente incluye una o más secciones de calentamiento, en donde cada una de las secciones de calentamiento tiene controlada individualmente su temperatura, y en donde cada una de las secciones de calentamiento puede incluir zonas de calentamiento controladas independientemente.

10 En determinadas realizaciones, el horno de secado de tipo transportador comprende una primera sección de calentamiento situada en un lado del transportador y una segunda sección de calentamiento situada en un lado opuesto del transportador desde la primera sección de calentamiento, en donde cada una de la primera y segunda secciones de calentamiento comprende, independientemente, uno o más elementos calefactores y un sistema de control de temperatura conectado a los elementos calefactores de la primera sección de calentamiento y la segunda sección de calentamiento de una manera que supervisa y controla selectivamente la temperatura de cada sección de calentamiento.

15 En algunas realizaciones, el horno de secado de tipo transportador comprende una pluralidad de secciones de calentamiento, en donde cada sección de calentamiento incluye elementos calefactores independientes que funcionan para mantener una temperatura constante dentro de la sección de calentamiento.

20 En determinadas realizaciones, cada una de la primera y segunda secciones de calentamiento tiene, independientemente, una zona de calentamiento de entrada y una zona de calentamiento de salida, en donde cada una de las zonas de calentamiento de entrada y salida comprende, independientemente, uno o más elementos calefactores y un sistema de control de temperatura conectado a los elementos calefactores de la zona de calentamiento de entrada y la zona de calentamiento de salida, de una manera que supervisa y controla selectivamente la temperatura de cada zona de calentamiento por separado del control de temperatura de las otras zonas de calentamiento.

30 El intervalo de temperatura significa un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura aumenta gradualmente desde la temperatura de entrada hasta la temperatura de salida. El gradiente de temperatura controlable evita que la película recubierta del colector de corriente se seque demasiado rápido. Secar la película recubierta demasiado rápido puede degradar los materiales de la suspensión. Secar la película recubierta demasiado rápido también puede causar defectos de tensión en el electrodo debido a que el disolvente se puede eliminar de la película recubierta más rápidamente de lo que la película puede relajarse o ajustarse a los cambios de volumen resultantes, lo que puede causar defectos tales como grietas. Se cree que evitar tales defectos generalmente puede mejorar el rendimiento del electrodo. Asimismo, secar la película recubierta demasiado rápido puede hacer que el material aglutinante migre y forme una capa del material aglutinante sobre la superficie del electrodo.

40 En determinadas realizaciones, la película recubierta sobre el colector de corriente se seca a una tasa relativamente lenta. En determinadas realizaciones, la película recubierta sobre el colector de corriente se seca de forma relativamente lenta a una tasa constante, seguida de una tasa de secado relativamente rápida.

45 De acuerdo con la invención, la película recubierta sobre el colector de corriente se seca a una temperatura de aproximadamente 45 °C a aproximadamente 100 °C durante un período de tiempo de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 30 minutos. Las temperaturas de secado inferiores pueden evitar la descomposición indeseable del material del cátodo que tiene un alto contenido de níquel y/o manganeso.

50 En determinadas realizaciones, el transportador se mueve a una velocidad de aproximadamente 2 metros/minuto a aproximadamente 30 metros/minuto, de aproximadamente 2 metros/minuto a aproximadamente 25 metros/minuto, de aproximadamente 2 metros/minuto a aproximadamente 20 metros/minuto, de aproximadamente 2 metros/minuto a aproximadamente 16 metros/minuto, de aproximadamente 3 metros/minuto a aproximadamente 30 metros/minuto, de aproximadamente 3 metros/minuto a aproximadamente 20 metros/minuto o de aproximadamente 3 metros/minuto a aproximadamente 16 metros/minuto.

55 Controlar la longitud y la velocidad del transportador puede regular el tiempo de secado de la película recubierta. Por lo tanto, el tiempo de secado se puede aumentar sin aumentar la longitud del transportador.

Después de que la película recubierta sobre el colector de corriente se seque, se forma el cátodo de la batería. En algunas realizaciones, el cátodo de la batería se comprime mecánicamente para mejorar la densidad del cátodo.

60 El método desvelado en el presente documento tiene la ventaja de que se utiliza un disolvente acuoso en el proceso de fabricación, lo que puede ahorrar tiempo de procesamiento e instalaciones al evitar la necesidad de manipular o reciclar disolventes orgánicos peligrosos. Además, los costes se reducen al simplificarse el proceso total. Por lo tanto, este método es especialmente adecuado para procesos industriales debido a su bajo coste y facilidad de manipulación.

65 En algunas realizaciones, las baterías que comprenden el cátodo preparado mediante el método desvelado en el presente documento muestran una retención de capacidad de al menos aproximadamente el 89 %, aproximadamente el 94 %, aproximadamente el 95 %, aproximadamente el 97 % o aproximadamente el 98 % después de 500 ciclos

cuando se descarga a una tasa de 1 C. En ciertas realizaciones, las baterías muestran una retención de capacidad de al menos aproximadamente el 83 %, aproximadamente el 88 %, aproximadamente el 90 %, aproximadamente el 92 %, aproximadamente el 94 %, aproximadamente el 95 % o aproximadamente el 96 % después de 1.000 ciclos cuando se descarga a una tasa de 1 C. En algunas realizaciones, las baterías muestran una retención de capacidad de al menos

5 aproximadamente el 73 %, aproximadamente el 77 %, aproximadamente el 80 %, aproximadamente el 81 %, aproximadamente el 88 %, aproximadamente el 90 % o aproximadamente el 92 % después de 2.000 ciclos cuando se descarga a una tasa de 1 C.

Los siguientes ejemplos se presentan para ejemplificar realizaciones de la invención, pero no pretenden limitar la invención a las realizaciones específicas expuestas. A menos que se indique lo contrario, todas las partes y los porcentajes son en peso. 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.

## Ejemplos

### Ejemplo 1

#### A) Pretratamiento del material del cátodo

Se añade un material del cátodo de partículas  $\text{LiNi}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33}\text{O}_2$  (NMC333) (obtenido en Xiamen Tungsten CO. Ltd., China) a una solución en agitación que contenía el 50 % de agua desionizada y el 50 % de etanol a temperatura ambiente para formar una suspensión que tenía un contenido sólido de aproximadamente el 35 % en peso. El pH de la suspensión se midió utilizando un medidor de pH y el pH fue aproximadamente 7. La suspensión se agitó más a temperatura ambiente durante 5 horas. A continuación, la suspensión se separó y se secó mediante un secador de microondas de 2,45 GHz (ZY-4HO, obtenido en Zhiya Industrial Microwave Equipment Co, Ltd., Guangdong, China) a 750 W durante 5 minutos para obtener un material del cátodo pretratado.

#### B) Preparación de la suspensión de electrodo positivo

Se preparó una suspensión de electrodo positivo mezclando un 91 % en peso de material del cátodo pretratado, 4 % en peso de negro de carbono (SuperP; Timcal Ltd, Bodio, Suiza), 4 % en peso de poliacrilonitrilo (PAN) (LA 132, Chengdu Indigo Power Sources Co., Ltd., China) y 1 % de isopropanol (obtenido en Aladdin Industries Corporation, China) en agua desionizada para formar una suspensión que tenía un contenido sólido del 70 % en peso. La suspensión se homogeneizó mediante un mezclador agitador planetario (mezclador de 200 l, Chienmei Industry Co. Ltd., China) durante 6 horas a una velocidad de agitación de 20 rpm y una velocidad de dispersión de 1.500 rpm para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo 1 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

#### C) Preparación del electrodo positivo

La suspensión homogeneizada se recubrió por ambos lados de una lámina de aluminio que tenía un grosor de 20  $\mu\text{m}$  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  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron durante 3 minutos mediante un horno de secado por aire caliente de tipo transportador de 24 metros de largo, como un submódulo del recubridor de transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 8 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. El horno con temperatura programada permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente de la temperatura de entrada de 55 °C a la temperatura de salida de 80 °C.

#### D) Preparación del electrodo negativo

Se preparó una suspensión de electrodo negativo mezclando un 90 % en peso de carbono duro (HC; 99,5 % de pureza, 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 recubrió por ambos lados de una lámina de cobre que tenía un grosor de 9  $\mu\text{m}$  utilizando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Las películas recubiertas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente de tipo transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo.

### Medición morfológica del Ejemplo 1

La Figura 2 muestra la imagen SEM de la morfología de la superficie del electrodo del cátodo recubierto después del secado. La morfología del electrodo del cátodo recubierto se caracterizó mediante un microscopio electrónico de barrido (JEOL-6300, obtenido en JEOL, Ltd., Japón). La imagen SEM muestra claramente un recubrimiento uniforme,

estable y sin grietas en toda la superficie del electrodo. Asimismo, el electrodo muestra una distribución homogénea del material del cátodo pretratado y del agente conductor sin grandes aglomerados.

Ejemplo 2

5 Ensamblaje de la batería de tipo bolsa

Después del secado, la película de cátodo y la película de ánodo resultantes del Ejemplo 1 se utilizaron para preparar el cátodo y el ánodo, respectivamente, cortando en placas de electrodo individuales. Se montó una celda tipo bolsa apilando las placas de electrodo catódico y anódico alternativamente y, a continuación, se envasaron en una cajita hecha de una película laminada de aluminio y plástico. Las placas de electrodo catódico y anódico se mantuvieron separadas por separadores y se preformó la cajita. 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 LiPF<sub>6</sub> (1 M) en una mezcla de carbonato de etileno (EC), etil metil carbonato (EMC) y dimetil carbonato (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, a continuación, se comprimieron mecánicamente usando un punzón con forma cuadrada convencional.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo 2

I) Capacidad nominal

La celda se ensayó galvanostáticamente 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 4,3 V. La capacidad nominal era de aproximadamente 10 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,3 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Figura 3. La retención de capacidad después de 450 ciclos fue de aproximadamente el 95,6 % del valor inicial. El resultado de la prueba se muestra en la Tabla 2 a continuación.

Ejemplo 3

A) Pretratamiento del material del cátodo

Se añadió un material del cátodo particulado LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (LMO) (obtenido en HuaGuan HengYuan LiTech Co. Ltd., Qingdao, China) a una solución agitada de ácido acético al 7 % en peso en agua (obtenida en Aladdin Industries Corporation, China) a temperatura ambiente para formar una suspensión que tenía un contenido sólido de aproximadamente el 50 % en peso. El pH de la suspensión se midió utilizando un medidor de pH y el pH fue aproximadamente 6. La suspensión se agitó más a temperatura ambiente durante 2,5 horas. A continuación, la suspensión se separó y se secó mediante un secador de microondas de 2,45 GHz a 750 W durante 5 minutos para obtener un material del cátodo pretratado.

B) Preparación de la suspensión de electrodo positivo

Se pretrató Nanotubo de carbono (NTP2003; Shenzhen Nanotech Port Co., Ltd., China) (25 g) en 2 litros de una solución alcalina que contenía NaOH al 0,5 % en peso durante aproximadamente 15 minutos y, a continuación, se lavó con agua desionizada (5 litros). A continuación, el nanotubo de carbono tratado se dispersó en agua desionizada para formar una suspensión que tenía un contenido sólido del 6,25 % en peso.

Se preparó una suspensión de electrodo positivo mezclando un 92 % en peso de material del cátodo pretratado, 3 % en peso de negro de carbono, 1 % en peso de suspensión del nanotubo de carbono tratado y 4 % en peso de poliacrilonitrilo en agua desionizada para formar una suspensión que tenía un contenido sólido del 65 % en peso. La suspensión se homogeneizó mediante una celda de flujo ultrasónico circulante (NP8000, obtenida en Guangzhou Newpower Ultrasonic Electronic Equipment Co., Ltd., China) durante 8 horas que funcionaba a 1.000 W para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo 3 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

C) Preparación del electrodo positivo

La suspensión homogeneizada se recubrió sobre ambos lados de una lámina de aluminio que tenía un grosor de 20 μm usando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 40 mg/cm<sup>2</sup>. Las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron durante 6 minutos mediante un horno de secado por aire caliente de tipo transportador de 24 metros de largo, como un submódulo del recubridor de transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 4 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. El horno

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 90 °C.

5 D) Preparación del electrodo negativo

Se preparó una suspensión de electrodo negativo mezclando un 90 % en peso de carbono duro (HC; 99,5 % de pureza, 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 recubrió por ambos lados de una lámina de cobre que tenía un grosor de 9 µm utilizando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15 mg/cm<sup>2</sup>. Las películas recubiertas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente de tipo transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo.

15 Ejemplo 4

Ensamblaje de la batería de tipo bolsa

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo 2.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo 4

I) Capacidad nominal

25 La celda se ensayó galvanostáticamente a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,3 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 10 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

30 El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,3 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Figura 4. La retención de capacidad después de 2000 ciclos fue de aproximadamente el 77 % del valor inicial. El resultado de la prueba se muestra en la Tabla 2 a continuación.

35 Ejemplo 5

A) Pretratamiento del material del cátodo

40 Se añadió un material del cátodo de partículas LiNi<sub>0,33</sub>Mn<sub>0,33</sub>Co<sub>0,33</sub>O<sub>2</sub> (NMC333) (obtenido en Shenzhen Tianjiao Technology Co. Ltd., China) a agua desionizada en agitación a temperatura ambiente para formar una suspensión que tenía un contenido sólido de aproximadamente el 65 % en peso. El pH de la suspensión se midió utilizando un medidor de pH y el pH fue aproximadamente 7. La suspensión se agitó más a temperatura ambiente durante 10 horas. A continuación, la suspensión se separó y se secó mediante un secador de microondas de 2,45 GHz a 750 W durante 5 minutos para obtener un material del cátodo pretratado.

45 B) Preparación de la suspensión de electrodo positivo

50 Se preparó una suspensión de electrodo positivo mezclando un 93 % en peso de material del cátodo pretratado, 3 % en peso de negro de carbono, 0,5 % en peso de etoxilato de nonilfenol (TERGITOL™ NP-6, DOW Chemical, EE. UU.) y 3,5 % en peso de poliacrilonitrilo en agua desionizada para formar una suspensión que tenía un contenido sólido del 75 % en peso. La suspensión se homogeneizó mediante una celda de flujo ultrasónico circulante durante 8 horas que funcionaba a 1.000 W para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo 5 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

55 C) Preparación del electrodo positivo

60 La suspensión homogeneizada se recubrió sobre ambos lados de una lámina de aluminio que tenía un grosor de 20 µm usando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 32 mg/cm<sup>2</sup>. Las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron durante 4 minutos mediante un horno de secado por aire caliente de tipo transportador de 24 metros de largo, como un submódulo del recubridor de transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 6 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. El horno con temperatura programada permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente de la temperatura de entrada de 50 °C a la temperatura de salida de 75 °C.

65

D) Preparación del electrodo negativo

Se preparó una suspensión de electrodos negativos mezclando un 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 recubrió por ambos lados de una lámina de cobre que tenía un grosor de 9  $\mu\text{m}$  utilizando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Las películas recubiertas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente de tipo 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 de la batería de tipo bolsa

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo 2.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo 6I) Capacidad nominal

La celda se ensayó galvanostáticamente a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,3 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 10 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,3 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Figura 5. La retención de capacidad después de 560 ciclos fue de aproximadamente el 94,8 % del valor inicial. El resultado de la prueba se muestra en la Tabla 2 a continuación.

Ejemplo 7A) Pretratamiento del material del cátodo

Se añadió un material del cátodo de partículas  $\text{LiFePO}_4$  (obtenido en Xiamen Tungsten Co. Ltd., China) a una solución agitada al 3 % en peso de ácido acético en agua (obtenida en Aladdin Industries Corporation, China) a temperatura ambiente para formar una suspensión que tenía un contenido sólido de aproximadamente el 50 % por peso. El pH de la suspensión se midió utilizando un medidor de pH y el pH fue aproximadamente 3,8. La suspensión se agitó más a temperatura ambiente durante 2,5 horas. A continuación, la suspensión se separó y se secó mediante un secador de microondas de 2,45 GHz a 700 W durante 5 minutos para obtener un material del cátodo pretratado.

B) Preparación de la suspensión de electrodo positivo

Se preparó una suspensión de electrodo positivo mezclando un 88 % en peso de material del cátodo pretratado, 5,5 % en peso de negro de carbono, 0,5 % en peso de etoxilato de nonilfenol (TERGITOL™ NP-6, DOW Chemical, EE. UU.) y 6 % en peso de poliacrilonitrilo en agua desionizada para formar una suspensión que tenía un contenido sólido del 70 % en peso. La suspensión se homogeneizó mediante una celda de flujo ultrasónico circulante durante 6 horas que funcionaba a 1.000 W para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo 7 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

C) Preparación del electrodo positivo

La suspensión homogeneizada se recubrió sobre ambos lados de una lámina de aluminio que tenía un grosor de 30  $\mu\text{m}$  usando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 56  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . A continuación, las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron durante 6 minutos mediante un horno de secado por aire caliente de tipo transportador de 24 metros de largo, como un submódulo del recubridor de transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 4 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. El horno 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 90 °C.

D) Preparación del electrodo negativo

Se preparó una suspensión de electrodo negativo mezclando un 90 % en peso de carbono duro (HC; 99,5 % de pureza, 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 recubrió por ambos lados de una lámina de cobre que tenía un grosor de 9  $\mu\text{m}$  utilizando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . A continuación, las películas recubiertas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire

caliente de tipo transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo.

#### Ejemplo 8

5

#### Ensamblaje de la batería de tipo bolsa

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo 2.

#### 10 Mediciones electroquímicas del Ejemplo 8

##### I) Capacidad nominal

15 La celda se ensayó galvanostáticamente 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 3,6 Ah.

##### II) Rendimiento de la ciclabilidad

20 El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 2,5 V y 3,6 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Figura 6. La retención de capacidad después de 3000 ciclos fue de aproximadamente el 82,6 % del valor inicial. El resultado de la prueba se muestra en la Tabla 2 a continuación.

#### Ejemplo 9

25

#### A) Preparación de un material del cátodo activo con estructura núcleo-cubierta

30 El núcleo del material del cátodo núcleo-cubierta era  $\text{Li}_{1,03}\text{Ni}_{0,51}\text{Mn}_{0,32}\text{Co}_{0,17}\text{O}_2$  y se preparó mediante un método de coprecipitación. La cubierta del material del cátodo núcleo-cubierta era  $\text{Li}_{0,95}\text{Ni}_{0,53}\text{Mn}_{0,29}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,03}\text{O}_2$  y se preparó formando un precipitado de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  en la superficie del núcleo para formar un precursor, mezclando el precursor con  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  (obtenido en Tianqi Lithium, Shenzhen, China) para obtener una mezcla, y calcinando la mezcla a 900 °C. El producto calcinado se trituró en un molino de chorro (LNJ-6A, obtenido en Mianyang Liuneng Powder Equipment Co., Ltd., Sichuan, China) durante aproximadamente 1 hora, seguido del paso del producto triturado a través de un tamiz de malla 270 para obtener un material de cátodo que tiene un tamaño de partícula D50 de aproximadamente 38  $\mu\text{m}$ .  
35 El contenido de aluminio en el material de cátodo de núcleo-cubierta disminuía gradualmente desde la superficie externa de la cubierta hasta el núcleo interno. El espesor de la cubierta era de aproximadamente 3  $\mu\text{m}$ .

#### B) Pretratamiento del material del cátodo

40 El material del cátodo núcleo-cubierta (C-S NMC532) preparado anteriormente se añadió a una solución en agitación que contenía el 50 % de agua desionizada y el 50 % de metanol a temperatura ambiente para formar una suspensión que tenía un contenido sólido de aproximadamente el 50 % en peso. El pH de la suspensión se midió utilizando un medidor de pH y el pH fue aproximadamente 7,5. La suspensión se agitó más a temperatura ambiente durante 3,5 horas. A continuación, la suspensión se separó y se secó mediante un secador de microondas de 2,45 GHz a 750 W durante 5 minutos para obtener un material del cátodo pretratado.  
45

#### C) Preparación de la suspensión de electrodo positivo

50 Se preparó una suspensión de electrodo positivo mezclando un 90 % en peso de material del cátodo pretratado, 5 % en peso de negro de carbono (SuperP; obtenido en Timcal Ltd, Bodio, Suiza) como agente conductor y 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 mediante un mezclador agitador planetario durante 6 horas a una velocidad de agitación de 20 rpm y una velocidad de dispersión de 1.500 rpm para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo 9 se muestra en la Tabla 1 a continuación.  
55

#### D) Preparación del electrodo positivo

60 La suspensión homogeneizada se recubrió sobre ambos lados de una lámina de aluminio que tenía un grosor de 30  $\mu\text{m}$  usando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 44  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . A continuación, las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron durante 5 minutos mediante un horno de secado por aire caliente de tipo transportador de 24 metros de largo, como un submódulo del recubridor de transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 4 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. El horno con temperatura programada permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente de la temperatura de entrada de 67 °C a la temperatura de salida de 78 °C.  
65

E) Preparación del electrodo negativo

Se preparó una suspensión de electrodo negativo mezclando un 90 % en peso de carbono duro (HC; 99,5 % de pureza, 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 recubrió por ambos lados de una lámina de cobre que tenía un grosor de 9  $\mu\text{m}$  utilizando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . A continuación, las películas recubiertas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente de tipo 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 de la batería de tipo bolsa

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo 2.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo 10I) Capacidad nominal

La celda se ensayó galvanostáticamente 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 10,46 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Figura 7. La retención de capacidad después de 361 ciclos fue de aproximadamente el 98,6 % del valor inicial. El resultado de la prueba se muestra en la Tabla 2 a continuación.

Ejemplo 11 (no forma parte de la presente invención y sirve sólo como antecedente de la técnica)A) Preparación de un material del cátodo activo con estructura núcleo-cubierta

El núcleo del material del cátodo de núcleo-cubierta era  $\text{Li}_{1,01}\text{Ni}_{0,96}\text{Mg}_{0,04}\text{O}_2$  (LNMgO) y se preparó mediante una reacción en estado sólido en la que MgO y  $\text{NiO}_x$  ( $x = 1$  a 2) se mezclaron con LiOH seguido de calcinación a 850 °C. La cubierta del material del cátodo de núcleo-cubierta era  $\text{Li}_{0,95}\text{Co}_{1,1}\text{O}_2$  y se preparó formando un precipitado de  $\text{Co}(\text{OH})_2$  sobre la superficie del núcleo para formar un precursor, mezclando el precursor con  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  (obtenido en Tianqi Lithium, Shenzhen, China) para obtener una mezcla, y calcinando la mezcla a 800 °C. El producto calcinado se trituró en un molino de chorro (LNI-6A, obtenido en Mianyang Liuneng Powder Equipment Co., Ltd., Sichuan, China) durante aproximadamente 1 hora, seguido del paso del producto triturado a través de un tamiz de malla 270 para obtener un material del cátodo que tiene un tamaño de partícula D50 de aproximadamente 33  $\mu\text{m}$ . El contenido de cobalto en el material del cátodo de núcleo-cubierta disminuía gradualmente desde la superficie externa de la cubierta hasta el núcleo interno. El espesor de la cubierta era de aproximadamente 5  $\mu\text{m}$ .

B) Pretratamiento del material del cátodo

El material del cátodo de núcleo-cubierta preparado anteriormente se añadió a una solución de agitación que contenía un 70 % de agua desionizada y un 30 % de isopropanol a temperatura ambiente para formar una suspensión que tenía un contenido sólido de aproximadamente el 60 % en peso. El pH de la suspensión se midió utilizando un medidor de pH y el pH fue aproximadamente 8,0. La suspensión se agitó más a temperatura ambiente durante 6,5 horas. A continuación, la suspensión se separó y se secó mediante un secador de microondas de 2,45 GHz a 750 W durante 5 minutos para obtener un material del cátodo pretratado.

C) Preparación de la suspensión de electrodo positivo

Se preparó una suspensión de electrodo positivo mezclando un 89 % en peso de material del cátodo pretratado, 5,5 % en peso de negro de carbono (SuperP; obtenido en Timcal Ltd, Bodio, Suiza) como agente conductor y 5,5 % 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 mediante un mezclador agitador planetario durante 6 horas a una velocidad de agitación de 20 rpm y una velocidad de dispersión de 1.500 rpm para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo 11 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

D) Preparación del electrodo positivo

La suspensión homogeneizada se recubrió sobre ambos lados de una lámina de aluminio que tenía un grosor de 30  $\mu\text{m}$  usando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 42  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . A continuación, las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron durante 5,5 minutos mediante un horno de secado por aire caliente de tipo transportador de 24 metros de largo, como un submódulo del recubridor de transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 4,2 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. El horno con temperatura programada permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente de la temperatura de entrada de 62 °C a la temperatura de salida de 75 °C.

E) Preparación del electrodo negativo

Se preparó una suspensión de electrodo negativo mezclando un 90 % en peso de carbono duro (HC; 99,5 % de pureza, 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 recubrió por ambos lados de una lámina de cobre que tenía un grosor de 9  $\mu\text{m}$  utilizando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . A continuación, las películas recubiertas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente de tipo transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo.

Ejemplo 12Ensamblaje de la batería de tipo bolsa

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo 2.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo 12I) Capacidad nominal

La celda se ensayó galvanostáticamente 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 10,4 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Figura 8. La retención de capacidad después de 385 ciclos fue de aproximadamente el 98,1 % del valor inicial. El resultado de la prueba se muestra en la Tabla 2 a continuación.

Ejemplo 13A) Pretratamiento del material del cátodo

Se añadió un material del cátodo particulado  $\text{LiCoO}_2$  (obtenido en Xiamen Tungsten CO. Ltd., China) a una solución en agitación que contenía el 50 % de agua desionizada y el 50 % de etanol a temperatura ambiente para formar una suspensión que tenía un contenido sólido de aproximadamente el 2 % en peso. El pH de la suspensión se midió utilizando un medidor de pH y el pH fue aproximadamente 7,0. La suspensión se agitó más a temperatura ambiente durante 1 hora. A continuación, la suspensión se separó y se secó mediante un secador de microondas de 2,45 GHz (ZY-4HO, obtenido en Zhiya Industrial Microwave Equipment Co, Ltd., Guangdong, China) a 750 W durante 5 minutos para obtener un material del cátodo pretratado.

B) Preparación de la suspensión de electrodo positivo

Se preparó una suspensión de electrodo positivo mezclando un 90 % en peso de material del cátodo pretratado, 5 % en peso de negro de carbono (SuperP; obtenido en Timcal Ltd, Bodio, Suiza) como agente conductor y 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 mediante un mezclador agitador planetario durante 6 horas que funcionaba a una velocidad de rotación de 30 rpm y una velocidad de dispersión de 1.500 rpm para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo 13 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

C) Preparación del electrodo positivo

La suspensión homogeneizada se recubrió por ambos lados de una lámina de aluminio que tenía un grosor de 20  $\mu\text{m}$  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 3,4 minutos mediante un horno de secado por aire caliente de tipo transportador de 24 metros de largo, como un submódulo del recubridor de transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 7 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. El horno con temperatura programada permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente de la temperatura de entrada de 70 °C a la temperatura de salida de 80 °C.

#### D) Preparación del electrodo negativo

Se preparó una suspensión de electrodo negativo mezclando un 90 % en peso de carbono duro (HC; 99,5 % de pureza, 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 recubrió por ambos lados de una lámina de cobre que tenía un grosor de 9 µm utilizando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15 mg/cm<sup>2</sup>. Las películas recubiertas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente de tipo transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo.

#### Ejemplo 14

##### Ensamblaje de la batería de tipo bolsa

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo 2.

##### Mediciones electroquímicas del Ejemplo 14

La celda se ensayó galvanostáticamente 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 10,7 Ah.

El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y la Figura 9.

#### Ejemplo 15

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en los Ejemplos 1 y 2, excepto que se utilizó material del cátodo LiNi<sub>0,8</sub>Mn<sub>0,1</sub>Co<sub>0,1</sub>O<sub>2</sub> (NMC811) (obtenido en Henan Kelong NewEnergy Co., Ltd., Xinxiang, China) en lugar de NMC333 y no se añadió aditivo. Se preparó una suspensión de electrodo positivo mezclando un 91 % en peso de material del cátodo pretratado, 5 % en peso de negro de carbono (SuperP; Timcal Ltd, Bodio, Suiza) y 4 % en peso de poliacrilonitrilo (PAN) (LA 132, Chengdu Indigo Power Sources Co., Ltd., China) en agua desionizada para formar una suspensión que tenía un contenido sólido del 55 % en peso. La suspensión se homogeneizó mediante un mezclador agitador planetario (mezclador de 200 l, Chienemei Industry Co. Ltd., China) durante 6 horas a una velocidad de agitación de 20 rpm y una velocidad de dispersión de 1.500 rpm para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo 15 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

La celda se ensayó galvanostáticamente 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 12,7 Ah. El resultado del ensayo de rendimiento de ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y en la Figura 10.

#### Ejemplo 16

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en los Ejemplos 1 y 2, excepto que se utilizó material del cátodo LiNi<sub>0,6</sub>Mn<sub>0,2</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>2</sub> (NMC622) (obtenido en Hunan Rui Xiang New Material Co., Ltd., Changsha, China) en lugar de NMC333 y no se añadió aditivo. Se preparó una suspensión de electrodo positivo mezclando un 90 % en peso de material del cátodo pretratado, 5 % en peso de negro de carbono (SuperP; Timcal Ltd, Bodio, Suiza) y 5 % en peso de poliacrilonitrilo (PAN) (LA 132, Chengdu Indigo Power Sources Co., Ltd., China) en agua desionizada para formar una suspensión que tenía un contenido sólido del 60 % en peso. La suspensión se homogeneizó mediante un mezclador agitador planetario (mezclador de 200 l, Chienemei Industry Co. Ltd., China) durante 6 horas a una velocidad de agitación de 20 rpm y una velocidad de dispersión de 1.500 rpm para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo 16 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

La celda se ensayó galvanostáticamente 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. El resultado del ensayo de rendimiento de ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y en la Figura 11.

Ejemplo 17

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en los Ejemplos 1 y 2, excepto que se utilizó material del cátodo  $\text{Li}_{1,0}\text{Ni}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$  (NCA) (obtenido en Hunan Rui Xiang New Material Co., Ltd., Changsha, China) en lugar de NMC333 y no se añadió aditivo. Se preparó una suspensión de electrodo positivo mezclando un 91 % en peso de material del cátodo pretratado, 5 % en peso de negro de carbono (SuperP; Timcal Ltd, Bodio, Suiza) y 4 % en peso de poliacrilonitrilo (PAN) (LA 132, Chengdu Indigo Power Sources Co., Ltd., China) en agua desionizada para formar una suspensión que tenía un contenido sólido del 55 % en peso. La suspensión se homogeneizó mediante un mezclador agitador planetario (mezclador de 200 l, Chienemei Industry Co. Ltd., China) durante 6 horas a una velocidad de agitación de 20 rpm y una velocidad de dispersión de 1.500 rpm para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo 17 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

La celda se ensayó galvanostáticamente 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. El resultado del ensayo de rendimiento de ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y en la Figura 12.

Ejemplo 18

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en los Ejemplos 13 y 14, excepto que se utilizó material del cátodo  $\text{LiNi}_{0,5}\text{Mn}_{0,3}\text{Co}_{0,2}\text{O}_2$  (NMC532) (obtenido en Hunan Rui Xiang New Material Co. Ltd., Changsha, China) en lugar de  $\text{LiCoO}_2$ ; se utilizaron sal sódica del ácido algínico (alginato sódico, obtenido en Aladdin Industries Corporation, China) y poliacrilonitrilo en lugar de poliacrilonitrilo como material aglutinante del cátodo; y no se añadió aditivo. Se preparó una suspensión de electrodo positivo mezclando un 88 % en peso de material del cátodo pretratado, 6 % en peso de negro de carbono (SuperP; Timcal Ltd, Bodio, Suiza), 2,5 % en peso de sal sódica de ácido algínico y 3,5 % en peso de poliacrilonitrilo (LA 132, Chengdu Indigo Power Sources Co., Ltd., China) en agua desionizada para formar una suspensión que tenía un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se homogeneizó mediante un mezclador agitador planetario (mezclador de 200 l, Chienemei Industry Co. Ltd., China) durante 6 horas a una velocidad de agitación de 20 rpm y una velocidad de dispersión de 1.500 rpm para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo 18 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

La celda se ensayó galvanostáticamente 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 10,7 Ah. El resultado del ensayo de rendimiento de ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y en la Figura 13.

Ejemplo comparativo 1

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en los Ejemplos 13 y 14, excepto que se utilizaron un 1,5 % en peso de carboximetilcelulosa (CMC, BSH-12, DKS Co. Ltd., Japón) y un 3,5 % en peso de SBR (AL-2001, NIPPON A&L INC., Japón) en lugar de un 5 % en peso de poliacrilonitrilo como material aglutinante del cátodo, y se utilizó una solución al 0,01 % en peso de ácido acético en agua en lugar de una mezcla de  $\text{H}_2\text{O}$  y etanol cal pretratar el material del cátodo. Se añadió un material del cátodo particulado  $\text{LiCoO}_2$  (obtenido en Xiamen Tungsten CO. Ltd., China) a una solución agitada de ácido acético en agua al 0,01 % en peso (obtenida en Aladdin Industries Corporation, China) a temperatura ambiente para formar una suspensión que tenía un contenido sólido de aproximadamente el 2 % en peso. El pH de la suspensión se midió utilizando un medidor de pH y el pH fue aproximadamente 3,4. La suspensión se agitó más a temperatura ambiente durante 1 hora. A continuación, la suspensión se separó y se secó mediante un secador de microondas de 2,45 GHz (ZY-4HO, obtenido en Zhiya Industrial Microwave Equipment Co, Ltd., Guangdong, China) a 750 W durante 5 minutos para obtener un material del cátodo pretratado. Se preparó una suspensión de electrodo positivo mezclando un 90 % en peso de material del cátodo pretratado, 5 % en peso de negro de carbono, 1,5 % en peso de carboximetilcelulosa y 3,5 % en peso de SBR en agua desionizada para formar una suspensión que tenía un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se homogeneizó mediante un mezclador agitador planetario (mezclador de 200 l, Chienemei Industry Co. Ltd., China) durante 6 horas a una velocidad de agitación de 30 rpm y una velocidad de dispersión de 1.500 rpm para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo comparativo 1 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

La celda se ensayó galvanostáticamente 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 9,1 Ah.

El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y la Figura 14.

Ejemplo comparativo 2

Se preparó una célula tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo comparativo 1, excepto que se utilizaron un 2 % en peso de carboximetilcelulosa (CMC, BSH-12, DKS Co. Ltd., Japón) y un 3 % en peso de alcohol polivinílico (PVA) (obtenido en The Nippon Synthetic Chemical Industry Co., Ltd., Japón) en lugar de un 1,5 % en peso de carboximetilcelulosa y un 3,5 % en peso de SBR como material aglutinante del cátodo. Se preparó una suspensión de

electrodo positivo mezclando un 90 % en peso de material activo del electrodo de batería pretratado, 5 % en peso de negro de carbono, 2 % en peso de carboximetilcelulosa y 3 % en peso de PVA en agua desionizada para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se homogeneizó mediante un mezclador agitador planetario (mezclador de 200 l, Chienemei Industry Co. Ltd., China) durante 6 horas a una velocidad de agitación de 30 rpm y una velocidad de dispersión de 1.500 rpm para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo comparativo 2 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

La celda se ensayó galvanostáticamente 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 8,2 Ah.

El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y la Figura 15.

#### Ejemplo comparativo 3

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en los Ejemplos 13 y 14, excepto que se usó un molino de bolas en lugar de un mezclador planetario como homogeneizador al preparar la suspensión de electrodo positivo, y se utilizó una solución al 0,01 % en peso de ácido acético en agua en lugar de una mezcla de H<sub>2</sub>O y etanol al pretratar el material del cátodo. Se añadió un material del cátodo particulado LiCoO<sub>2</sub> (obtenido en Xiamen Tungsten CO. Ltd., China) a una solución agitada de ácido acético en agua al 0,01 % en peso (obtenida en Aladdin Industries Corporation, China) a temperatura ambiente para formar una suspensión que tenía un contenido sólido de aproximadamente el 2 % en peso. El pH de la suspensión se midió utilizando un medidor de pH y el pH fue aproximadamente 3,4. La suspensión se agitó más a temperatura ambiente durante 1 hora. A continuación, la suspensión se separó y se secó mediante un secador de microondas de 2,45 GHz (ZY-4HO, obtenido en Zhiya Industrial Microwave Equipment Co, Ltd., Guangdong, China) a 750 W durante 5 minutos para obtener un material del cátodo pretratado. Se preparó una suspensión de electrodo positivo mezclando un 90 % en peso de material del cátodo pretratado, 5 % en peso de negro de carbono (SuperP; Timcal Ltd, Bodio, Suiza) y 5 % en peso de poliacrilonitrilo (PAN) (LA 132, Chengdu Indigo Power Sources Co., Ltd., China) en agua desionizada para formar una suspensión que tenía un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se homogeneizó en un recipiente de 500 ml en un molino de bolas de tipo planetario (Changsha MITR Instrument & Equipment Co. Ltd., China) con treinta (¿demasiadas?) bolas de óxido de circonio (ZrO<sub>2</sub>) (quince de 5 mm y quince de 15 mm) durante 3 horas que funcionaba a una velocidad de rotación de 150 rpm y una velocidad de giro de 250 rpm para obtener una suspensión homogeneizada. La formulación del Ejemplo comparativo 3 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

La celda se ensayó galvanostáticamente 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 9,9 Ah.

El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y la Figura 16.

#### Ejemplo comparativo 4

Se preparó una célula tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo comparativo 1, excepto que se utilizó un 5 % en peso de poliacrilonitrilo en lugar de un 1,5 % en peso de carboximetilcelulosa y un 3,5 % en peso de SBR como material aglutinante del cátodo. La formulación del Ejemplo comparativo 4 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

La celda se ensayó galvanostáticamente 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 10,1 Ah.

El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y la Figura 17.

#### Ejemplo comparativo 5

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo 15, excepto que se utilizó una solución al 0,01 % en peso de ácido cítrico en agua en lugar de una mezcla de H<sub>2</sub>O y etanol al pretratar el material del cátodo. Se añadió un material del cátodo particulado NMC811 a una solución agitada de ácido cítrico en agua al 0,01 % en peso (obtenida en Aladdin Industries Corporation, China) a temperatura ambiente para formar una suspensión que tenía un contenido sólido de aproximadamente el 2 % en peso. El pH de la suspensión se midió utilizando un medidor de pH y el pH fue aproximadamente 3,4. La suspensión se agitó más a temperatura ambiente durante 1 hora. A continuación, la suspensión se separó y se secó mediante un secador de microondas de 2,45 GHz (ZY-4HO, obtenido en Zhiya Industrial Microwave Equipment Co, Ltd., Guangdong, China) a 750 W durante 5 minutos para obtener un material del cátodo pretratado. La formulación del Ejemplo comparativo 5 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

La celda se ensayó galvanostáticamente 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 11,4 Ah.

- 5 El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y la Figura 18.

#### Ejemplo comparativo 6

- 10 Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo 15, excepto que el material del cátodo no fue pretratado. La formulación del Ejemplo comparativo 6 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

- 15 La celda se ensayó galvanostáticamente 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 12,5 Ah.

- 20 El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y la Figura 19.

#### Ejemplo comparativo 7

- 25 Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo 11, excepto que se utilizó una solución al 0,01 % en peso de ácido cítrico en agua en lugar de una mezcla de H<sub>2</sub>O e isopropanol al pretratar el material del cátodo. Se añadió un material del cátodo particulado C-S LNMgO a una solución agitada de ácido cítrico al 0,01 % en peso en agua (obtenida en Aladdin Industries Corporation, China) a temperatura ambiente para formar una suspensión que tenía un contenido sólido de aproximadamente el 2 % en peso. El pH de la suspensión se midió utilizando un medidor de pH y el pH fue aproximadamente 3,6. La suspensión se agitó más a temperatura ambiente durante 1 hora. A continuación, la suspensión se separó y se secó mediante un secador de microondas de 2,45 GHz (ZY-4HO, obtenido en Zhiya Industrial Microwave Equipment Co, Ltd., Guangdong, China) a 750 W durante 5 minutos para obtener un material del cátodo pretratado. La formulación del Ejemplo comparativo 7 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

- 35 La celda se ensayó galvanostáticamente 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 El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y la Figura 20.

#### Ejemplo 19

- 45 Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo 13, excepto que se utilizaron un 1,5 % en peso de carboximetilcelulosa (CMC, BSH-12, DKS Co. Ltd., Japón) y un 3,5 % en peso de SBR (AL-2001, NIPPON A&L INC., Japón) en lugar de un 5 % en peso de poliácridonitrilo como material aglutinante del ánodo. La formulación del Ejemplo 19 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

La celda se ensayó galvanostáticamente 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 11,2 Ah.

- 50 El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y la Figura 21.

#### Ejemplo 20

- 55 Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo 13, excepto que se utilizó un 5 % en peso de fluoruro de polivinilideno (PVDF; Solef® 5130, obtenido en Solvay S.A., Bélgica) en lugar de un 5 % en peso de poliácridonitrilo como material aglutinante del ánodo; y se utilizó N-metil-2-pirrolidona (NMP; pureza de ≥99 %, Sigma-Aldrich, EE. UU.) en lugar de agua desionizada como disolvente. Se preparó una suspensión de electrodo negativo mezclando un 90 % en peso de carbono duro (HC; 99,5 % de pureza, Ruifute Technology Ltd., Shenzhen, Guangdong, China), 5 % en peso de negro de carbono y 5 % en peso de PVDF en NMP para formar una suspensión que tenía un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se recubrió por ambos lados de una lámina de cobre que tenía un grosor de 9 µm utilizando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15 mg/cm<sup>2</sup>. Las películas recubiertas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 87 °C durante 8 minutos mediante una secadora de aire caliente de tipo transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 3 metros/minuto para obtener un electrodo negativo. La formulación del Ejemplo

20 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

La celda se ensayó galvanostáticamente 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 10,4 Ah.

5 El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y la Figura 22.

10 Ejemplo comparativo 8

Se preparó una celda tipo bolsa de la misma manera que en el Ejemplo 13, excepto que se utilizó un horno de vacío (HSZK-6050, Shanghai Hasuc Instrument Manufacture Co., Ltd., China) en lugar de un secador de microondas para secar el material del cátodo pretratado. El material del cátodo pretratado se secó en un horno de vacío a 88 °C durante 8 horas. La formulación del Ejemplo comparativo 8 se muestra en la Tabla 1 a continuación.

15 La celda se ensayó galvanostáticamente 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 10,3 Ah.

20 El rendimiento de la ciclabilidad de la celda tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Tabla 2 a continuación y la Figura 23.

Tabla 1

Ejemplo	Material del cátodo	Pretratamiento	Suspensión de cátodo			Suspensión de ánodo	
			Aglutinante	Disolvente	Homogeneizador	Aglutinante	Disolvente
Ejemplo 1	NMC333	H <sub>2</sub> O/etanol	PAN	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo 3	LMO	Ácido acético	PAN	H <sub>2</sub> O	Celda de flujo ultrasónico	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo 5	NMC333	H <sub>2</sub> O	PAN	H <sub>2</sub> O	Celda de flujo ultrasónico	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo 7	LiFePO <sub>4</sub>	Ácido acético	PAN	H <sub>2</sub> O	Celda de flujo ultrasónico	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo 9	C-S NMC532	H <sub>2</sub> O/ metanol	PAN	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O
<sup>1</sup> Ejemplo 11	C-S LNMgO	H <sub>2</sub> O/ isopropanol	PAN	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo 13	LiCoO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O/etanol	PAN	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo 15	NMC811	H <sub>2</sub> O/etanol	PAN	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo 16	NMC622	H <sub>2</sub> O/etanol	PAN	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo 17	NCA	H <sub>2</sub> O/etanol	PAN	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo 18	NMC532	H <sub>2</sub> O/etanol	Ácido algínico + PAN	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo comparativo 1	LiCoO <sub>2</sub>	Ácido acético	CMC + SBR	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo comparativo 2	LiCoO <sub>2</sub>	Ácido acético	CMC + PVA	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo comparativo 3	LiCoO <sub>2</sub>	Ácido acético	PAN	H <sub>2</sub> O	Molino de bolas	PAN	H <sub>2</sub> O

(continuación)

Ejemplo	Material del cátodo	Pretratamiento	Suspensión de cátodo			Suspensión de ánodo	
			Aglutinante	Disolvente	Homogeneizador	Aglutinante	Disolvente
Ejemplo comparativo 4	LiCoO <sub>2</sub>	Ácido acético	PAN	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo comparativo 5	NMC811	Ácido cítrico	PAN	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo comparativo 6	NMC811	/	PAN	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O
Ejemplo comparativo 7	C-S LNMgO	Ácido cítrico	PAN	H <sub>2</sub> O	Mezclador planetario	PAN	H <sub>2</sub> O

Ejemplo 19 LiCoO<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O/etanol PAN H<sub>2</sub>O Mezclador planetario CMC+SBR H<sub>2</sub>O

Ejemplo 20 LiCoO<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O/etanol PAN H<sub>2</sub>O Mezclador planetario PVDF NMP

5 <sup>2</sup>Ejemplo comparativo 8 LiCoO<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O/etanol PAN H<sub>2</sub>O Mezclador planetario PAN H<sub>2</sub>O

Nota: <sup>1</sup> Este Ejemplo no forma parte de la presente invención y sirve sólo como antecedente de la técnica.

<sup>2</sup> El material del cátodo pretratado se secó en un horno de vacío.

10 El rendimiento de ciclabilidad de las celdas tipo bolsa de los Ejemplos 1-20 y los Ejemplos Comparativos 1-8 se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1 C. Las retenciones de capacidad de las células se midieron durante el ciclo y se estimaron mediante extrapolación basándose en los resultados trazados en la gráfica. Los valores medidos y estimados se muestran en la Tabla 2 a continuación.

15

Tabla 2

Ejemplo	Valores medidos		Valores estimados por extrapolación	
	N.º de ciclo	Retención de capacidad (%)	N.º de ciclo	Retención de capacidad (%)
Ejemplo 2	450	95,6	2.000	80,4
Ejemplo 4	2.000	77	/	/
Ejemplo 6	560	94,8	2.000	81,4
Ejemplo 8	3.000	82,6	/	/
Ejemplo 10	361	98,6	2.000	92,2
Ejemplo 12	385	98,1	2.000	90,1
Ejemplo 14	576	94,4	2.000	80,6
Ejemplo 15	476	95,7	2.000	81,9
Ejemplo 16	497	94,4	2.000	77,5
Ejemplo 17	553	93,9	2.000	77,9
Ejemplo 18	522	93,1	2.000	73,6
Ejemplo comparativo 1	85	78,7	/	/
Ejemplo comparativo 2	113	70,4	/	/
Ejemplo comparativo 3	506	92,1	2000	70,0
Ejemplo comparativo 4	514	93,4	2.000	74,3
Ejemplo comparativo 5	466	90,1	2.000	57,5

## ES 2 979 030 T3

(continuación)

Ejemplo	Valores medidos		Valores estimados por extrapolación	
	N.º de ciclo	Retención de capacidad (%)	N.º de ciclo	Retención de capacidad (%)
Ejemplo comparativo 6	485	93,8	2.000	74,4
Ejemplo comparativo 7	413	92,6	2.000	64,2

Ejemplo 19 508 95,1 2.000 80,7

Ejemplo 20 606 94,3 2.000 81,2

5 Ejemplo comparativo 8 472 94,8 2.000 78

Las celdas de batería de comparación tenían una retención de capacidad de descarga inferior al 80 % después de solo menos de 100 ciclos cuando se utilizaron aglutinantes solubles en agua como CMC, Se utilizaron SBR y PVA para preparar la suspensión acuosa. Por el contrario, las baterías de los Ejemplos 1-18 tenían una retención de capacidad de descarga de al menos el 86 % después de 1.000 ciclos.

10

Esta excelente ciclabilidad indica que la celda de batería hecha de electrodos catódicos preparados mediante el método desvelado en el presente documento puede lograr una estabilidad comparable o incluso mejor en comparación con la celda de batería hecha de electrodos catódicos y anódicos preparados mediante un método convencional que implica el uso de disolventes orgánicos.

15

## REIVINDICACIONES

1. Un método para preparar un cátodo de batería, que comprende las etapas de:
- 1) pretratar un material del cátodo en una primera solución acuosa que comprende agua y que tiene un pH de aproximadamente 5,0 a aproximadamente 8,0 para formar una primera suspensión;
  - 2) secar la primera suspensión para obtener un material del cátodo pretratado;
  - 3) dispersar el material del cátodo pretratado, un agente conductor y un material aglutinante en una segunda solución acuosa para formar una suspensión;
  - 4) homogeneizar la suspensión mediante un homogeneizador para obtener una suspensión homogeneizada;
  - 5) aplicar la suspensión homogeneizada sobre un colector de corriente para formar una película recubierta sobre el colector de corriente; y
  - 6) secar la película recubierta sobre el colector de corriente para formar el cátodo de la batería a una temperatura de aproximadamente 45 °C a aproximadamente 100 °C durante un período de tiempo de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 30 minutos;
- en donde la cantidad de agua en la primera solución acuosa es de al menos el 50 % en volumen y en donde la cantidad de agua en la segunda solución acuosa es de al menos el 90 % en volumen;
- en donde el material del cátodo es un compuesto metálico de transición de litio seleccionado del grupo que consiste en  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ ,  $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ ,  $\text{LiV}_2\text{O}_5$ ,  $\text{LiTiS}_2$ ,  $\text{LiMoS}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$ ,  $\text{LiCrO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFePO}_2$  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 donde el agente conductor se selecciona del 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; y
- en donde el material aglutinante se selecciona del grupo que consiste en caucho de estireno-butadieno (SBR), carboximetilcelulosa (CMC), fluoruro de polivinilideno (PVDF), copolímero de acrilonitrilo, ácido poliacrílico (PAA), poliacrilonitrilo, poli(fluoruro de vinilideno)-hexafluoropropeno (PVDF-HFP), látex, una sal de ácido algínico y combinaciones de los mismos.
2. Un método para preparar un cátodo de batería, que comprende las etapas de:
- 1) pretratar un material del cátodo en una primera solución acuosa que comprende agua y que tiene un pH de aproximadamente 3,0 a aproximadamente 8,0 para formar una primera suspensión;
  - 2) secar la primera suspensión para obtener un material del cátodo pretratado;
  - 3) dispersar el material del cátodo pretratado, un agente conductor y un material aglutinante en una segunda solución acuosa para formar una suspensión;
  - 4) homogeneizar la suspensión mediante un homogeneizador para obtener una suspensión homogeneizada;
  - 5) aplicar la suspensión homogeneizada sobre un colector de corriente para formar una película recubierta sobre el colector de corriente; y
  - 6) secar la película recubierta sobre el colector de corriente para formar el cátodo de la batería a una temperatura de aproximadamente 45 °C a aproximadamente 100 °C durante un período de tiempo de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 30 minutos;
- en donde la cantidad de agua en la primera solución acuosa es de al menos el 50 % en volumen y en donde la cantidad de agua en la segunda solución acuosa es de al menos el 90 % en volumen;
- en donde el material del cátodo es  $\text{LiFePO}_4$ ;
- en donde el agente conductor se selecciona del 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; y
- en donde el material aglutinante se selecciona del grupo que consiste en caucho de estireno-butadieno (SBR), carboximetilcelulosa (CMC), fluoruro de polivinilideno (PVDF), copolímero de acrilonitrilo, ácido poliacrílico (PAA), poliacrilonitrilo, poli(fluoruro de vinilideno)-hexafluoropropeno (PVDF-HFP), látex, una sal de ácido algínico y combinaciones de los mismos.
3. El método de la reivindicación 1, en donde el material del cátodo comprende o es un compuesto de núcleo-cubierta que tiene una estructura de núcleo-cubierta, en donde la cubierta es un compuesto metálico de transición de litio de acuerdo con la reivindicación 1, y el núcleo comprende un compuesto metálico de transición de litio que es diferente de la cubierta y se selecciona del grupo que consiste en  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$ ,  $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ ,  $\text{LiV}_2\text{O}_5$ ,  $\text{LiTiS}_2$ ,  $\text{LiMoS}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$ ,  $\text{LiCrO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFeO}_2$ ,  $\text{LiFePO}_4$  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.
4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el material del cátodo está dopado con un dopante seleccionado del grupo que consiste en Fe, Ni, Mn, Al, Mg, Zn, Ti, La, Ce, Sn, Zr, Ru, Si, Ge y combinaciones de los mismos.
5. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la primera solución acuosa comprende uno o más

ácidos seleccionados del grupo que consiste en  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ,  $H_3PO_4$ ,  $HCOOH$ ,  $-CH_3COOH$ ,  $H_3C_6H_5O_7$ ,  $H_2C_2O_4$ ,  $C_6H_{12}O_7$ ,  $C_4H_6O_5$  y combinaciones de los mismos.

- 5 6. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la primera solución acuosa comprende además etanol, isopropanol, metanol, acetona, n-propanol, t-butanol o una combinación de los mismos.
7. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la primera suspensión se seca mediante un secador de vacío de doble cono, un secador de microondas o un secador al vacío de microondas.
- 10 8. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el agente conductor se pretrata en una solución básica durante un período de tiempo de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 2 horas y en donde la solución básica comprende una base seleccionada del grupo que consiste en  $H_2O_2$ ,  $LiOH$ ,  $NaOH$ ,  $KOH$ ,  $NH_3 \cdot H_2O$ ,  $Be(OH)_2$ ,  $Mg(OH)_2$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $Li_2CO_3$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $NaHCO_3$ ,  $K_2CO_3$ ,  $KHCO_3$  y combinaciones de los mismos.
- 15 9. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el agente conductor se dispersa en una tercera solución acuosa para formar una segunda suspensión antes de la etapa 3).
- 20 10. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la sal de ácido algínico comprende un catión seleccionado de Na, Li, K, Ca,  $NH_4$ , Mg, Al o una combinación de los mismos.
- 25 11. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el material aglutinante se disuelve en una cuarta solución acuosa para formar una solución resultante antes de la etapa 3).
- 30 12. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la suspensión comprende además un agente dispersante seleccionado del grupo que consiste en etanol, isopropanol, n-propanol, t-butanol, n-butanol, dodecil sulfato de litio, cloruro de trimetilhexadecil amonio, alcohol etoxilado, nonilfenol etoxilado, dodecilbencensulfonato sódico, estearato de sodio y combinaciones de los mismos.
- 35 13. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el homogeneizador es un mezclador agitador, una mezcladora, un molino, un equipo de ultrasonidos, un homogeneizador de rotor-estator o un homogeneizador de alta presión.
- 40 14. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la suspensión homogeneizada se aplica sobre el colector de corriente utilizando un recubridor de rasqueta, un recubridor de ranura, un recubridor de transferencia o un recubridor de pulverización.
- 45 15. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la película recubierta se seca mediante un horno de secado por aire caliente con transportador, un horno de secado con resistencia de tipo transportador, un horno de secado inductivo de tipo transportador, o un horno de secado por microondas de tipo transportador durante un período de tiempo de aproximadamente 2 minutos a aproximadamente 10 minutos a una temperatura de aproximadamente  $55\text{ }^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $75\text{ }^\circ\text{C}$ .
16. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la etapa 3) se calienta y se realiza a una temperatura de aproximadamente  $30\text{ }^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $80\text{ }^\circ\text{C}$ .
17. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la película recubierta sobre el colector de corriente tiene un espesor de  $20\text{ }\mu\text{m}$  a aproximadamente  $100\text{ }\mu\text{m}$ , o de aproximadamente  $10\text{ }\mu\text{m}$  a aproximadamente  $300\text{ }\mu\text{m}$ .

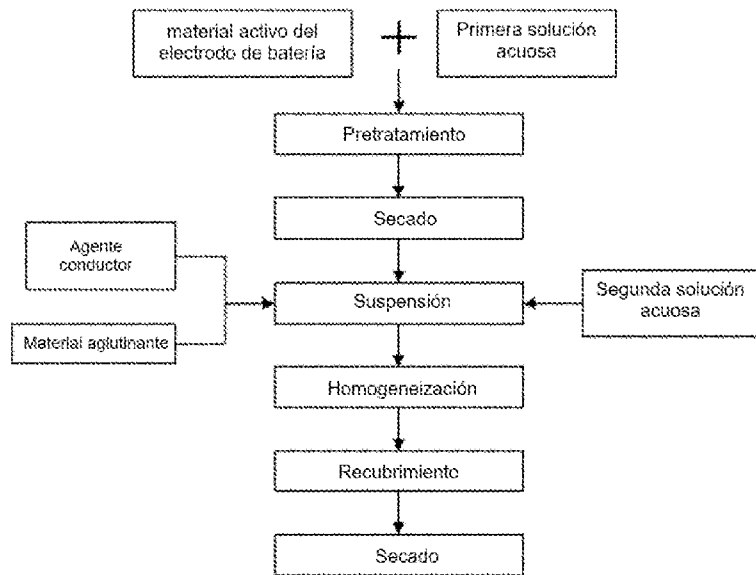
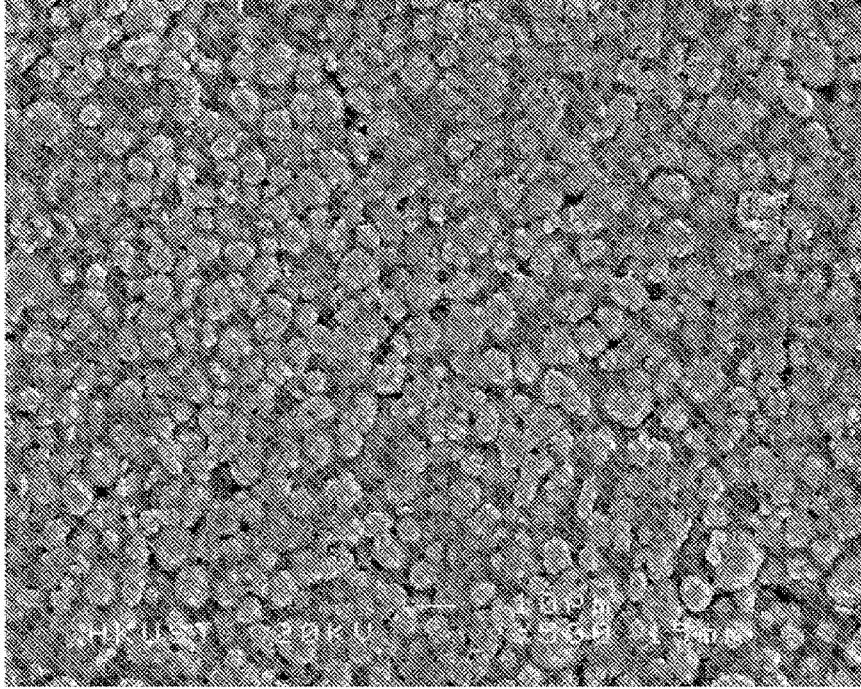


Figura 1



**Figura 2**

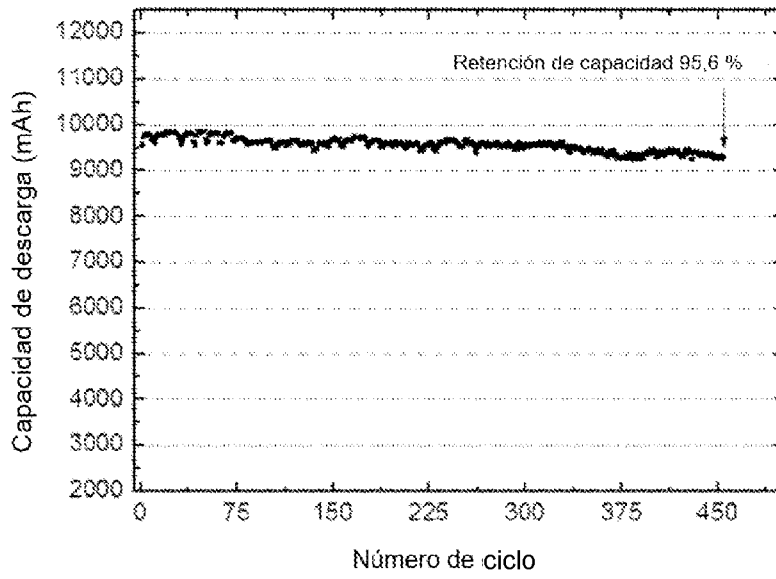


Figura 3

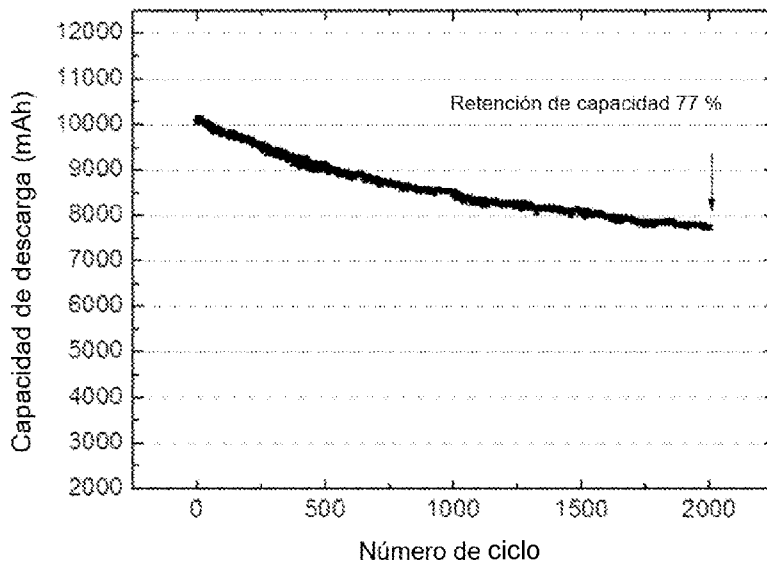


Figura 4

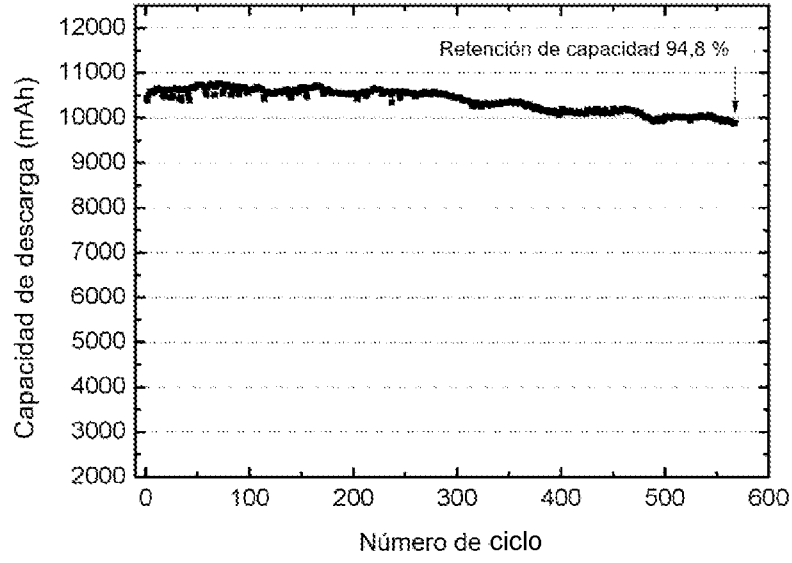


Figura 5

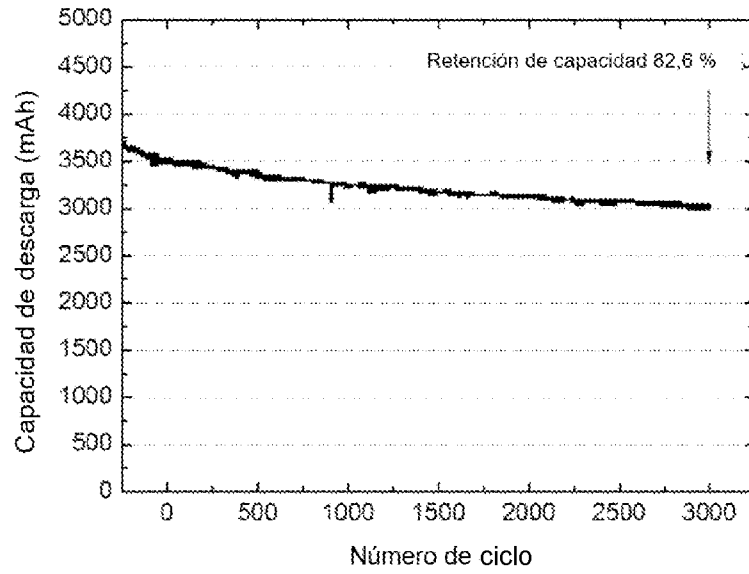


Figura 6

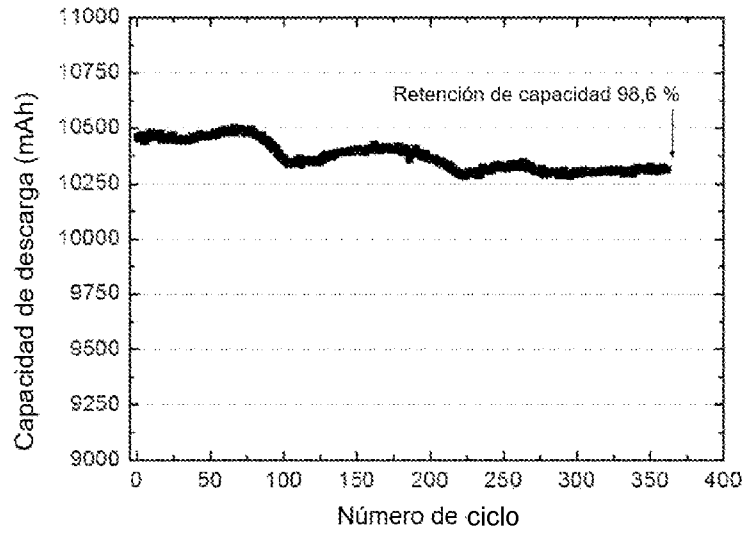


Figura 7

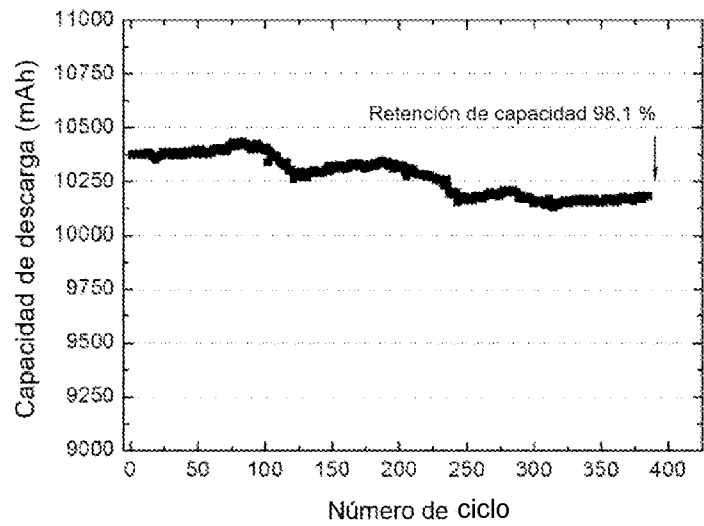


Figura 8

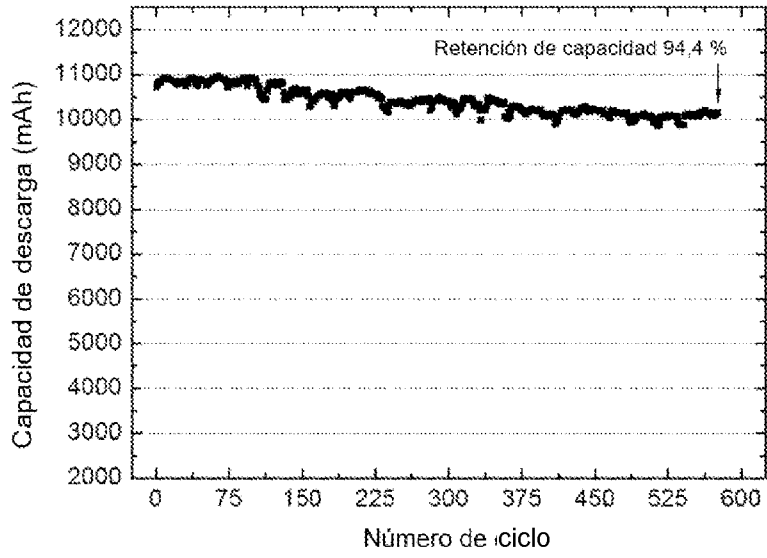


Figura 9

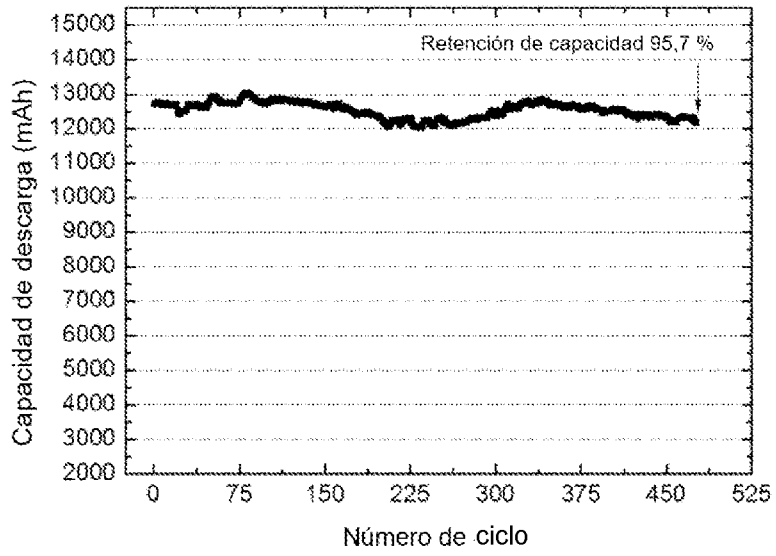


Figura 10

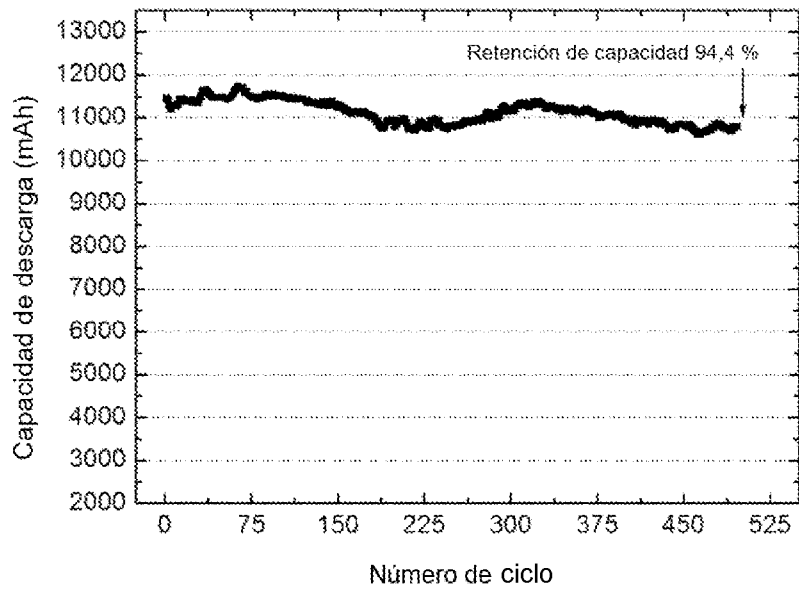


Figura 11

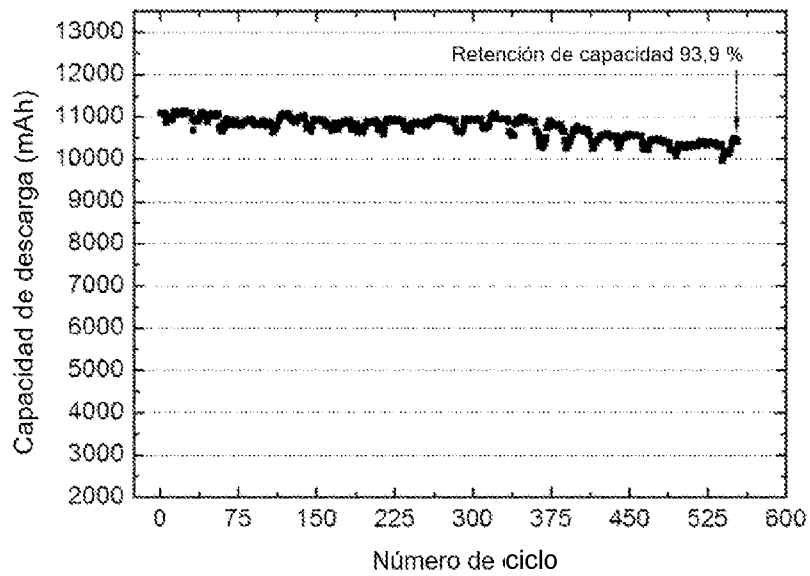


Figura 12

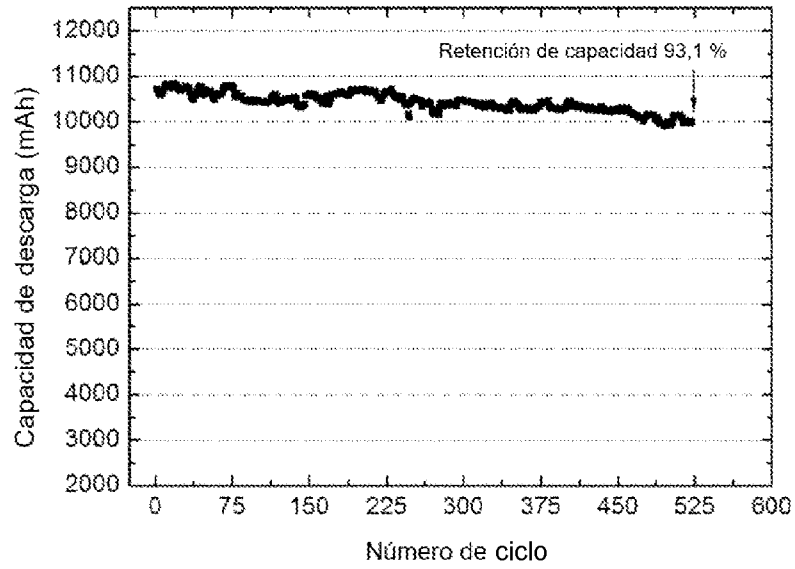


Figura 13

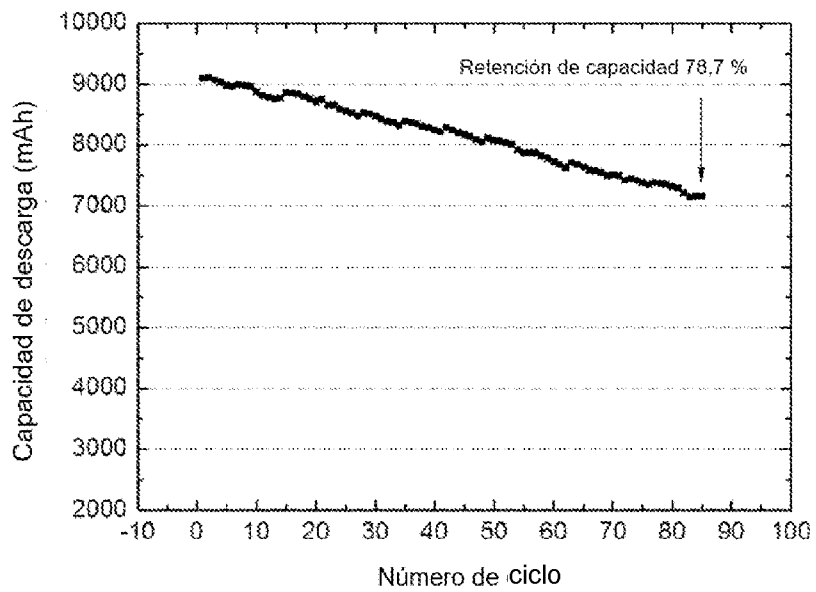


Figura 14

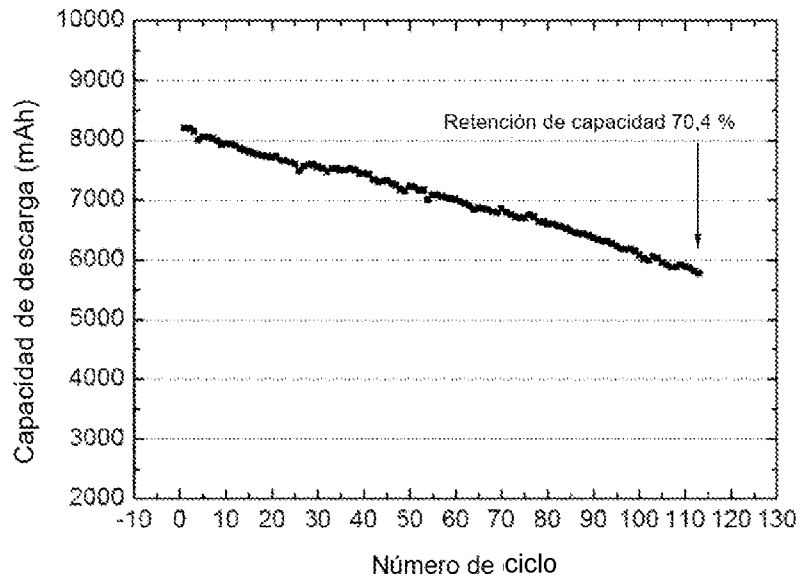


Figura 15

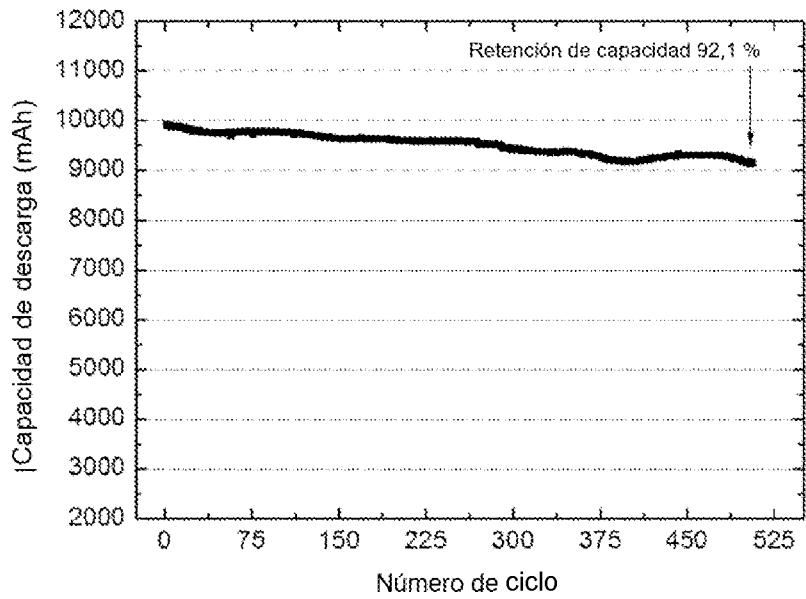


Figura 16

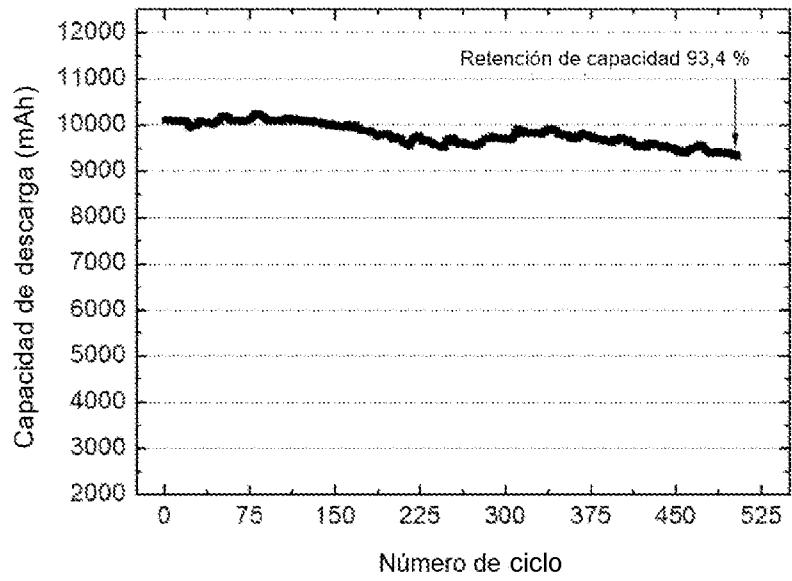


Figura 17

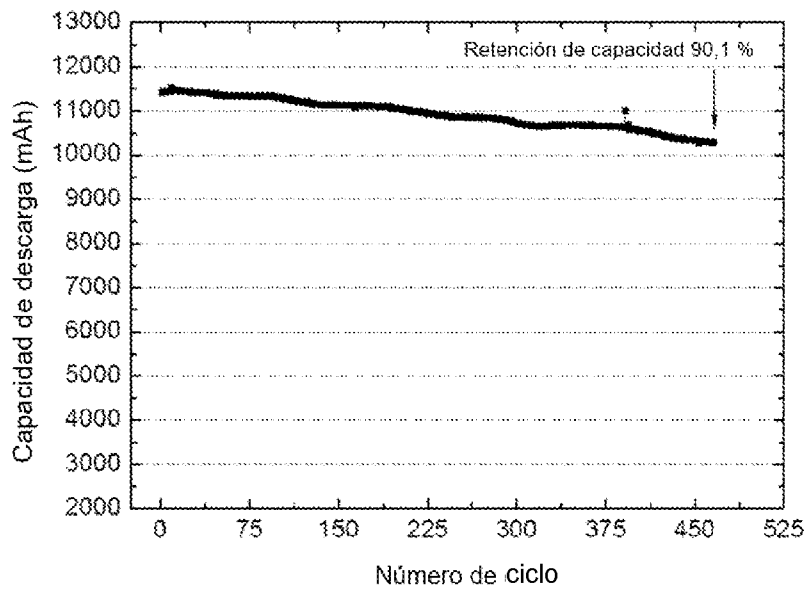


Figura 18

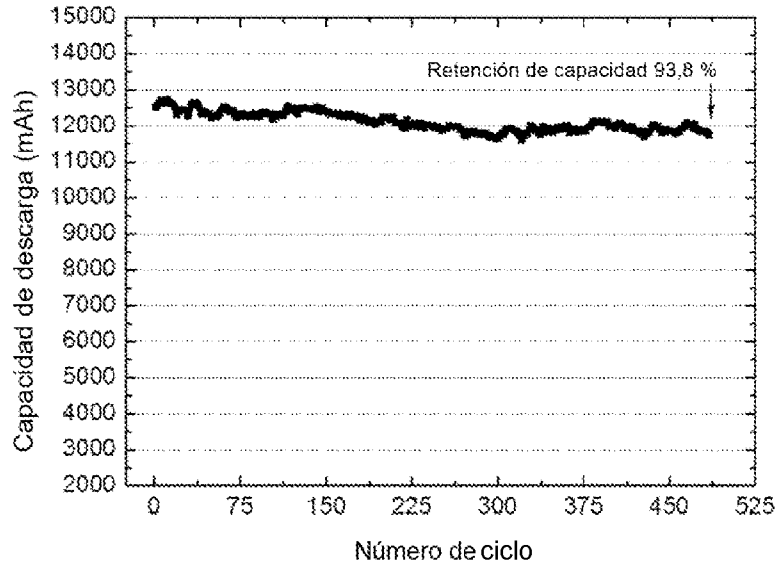


Figura 19

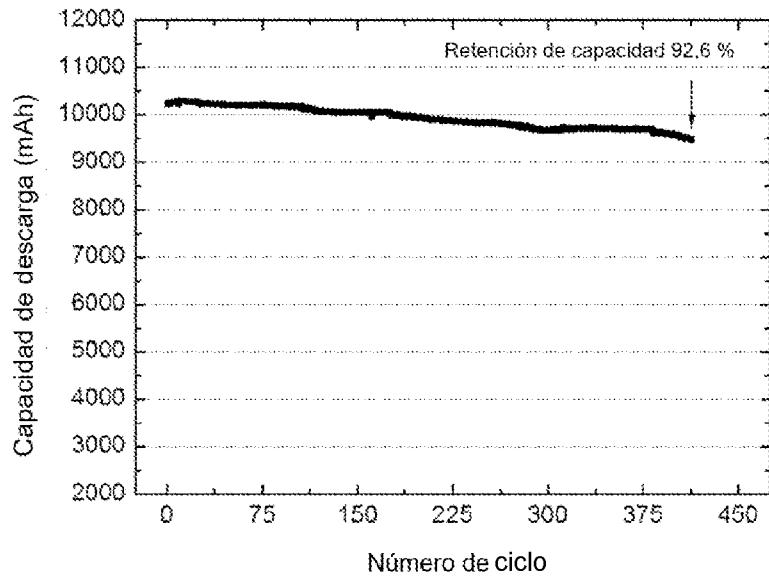


Figura 20

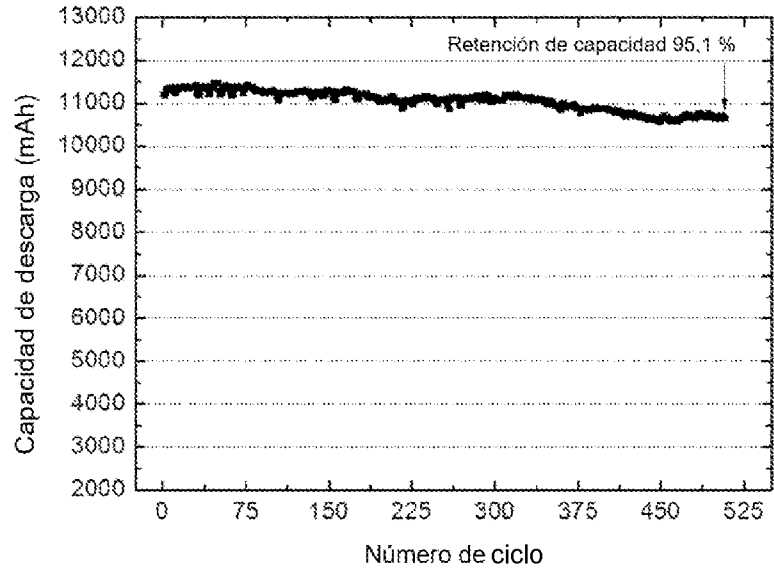


Figura 21

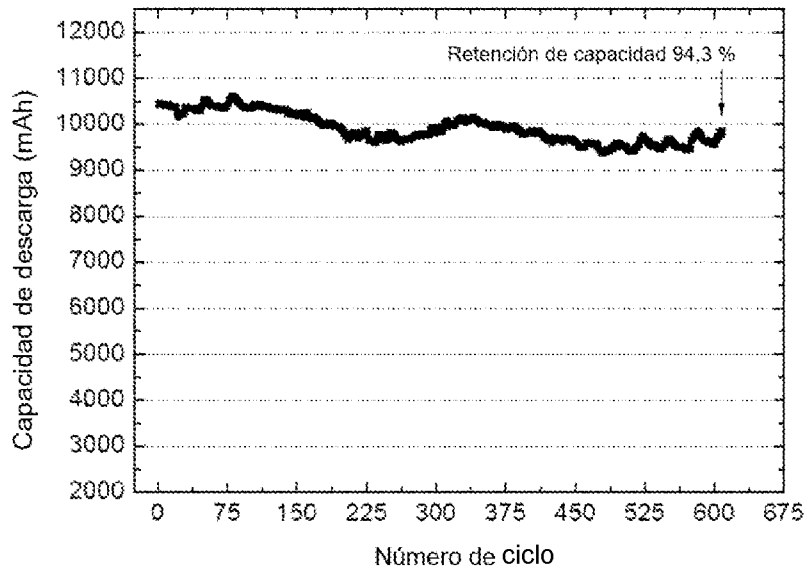


Figura 22

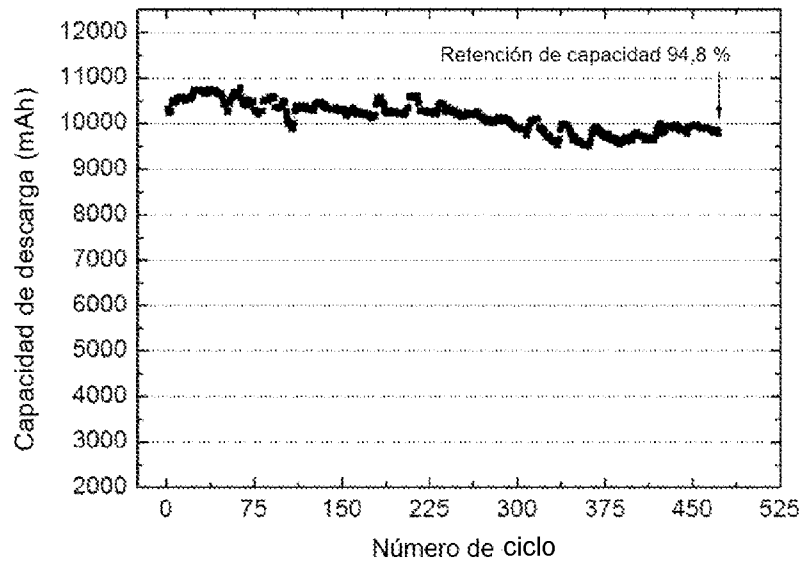


Figura 23