

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 980 369**

51 Int. Cl.:

H01M 10/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.01.2020 PCT/EP2020/050145**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.07.2020 WO20144142**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.01.2020 E 20700245 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2024 EP 3909092**

54 Título: **Método para mejorar el rendimiento de una celda electroquímica**

30 Prioridad:

07.01.2019 GB 201900171

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

01.10.2024

73 Titular/es:

**UCL BUSINESS LTD (100.0%)
University College London Gower Street
London WC1E 6BT, GB**

72 Inventor/es:

**HEENAN, THOMAS;
SHEARING, PAUL;
BRETT, DANIEL y
TAN, CHUN**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 980 369 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 para mejorar el rendimiento de una celda electroquímica

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere al rendimiento de las celdas electroquímicas y, en particular, aunque no exclusivamente, al aumento de la velocidad de carga y descarga y la capacidad de las celdas electroquímicas.

10 **Antecedentes**

Los documentos del estado de la técnica EP3033796, US2004/200731 y US2010/159293 divulgan el uso de celdas electroquímicas en combinación con campo/s magnético/s.

15 Las celdas electroquímicas son vitales para muchos sistemas eléctricos, en particular, dispositivos portátiles tales como teléfonos móviles y ordenadores portátiles y, cada vez más, vehículos eléctricos.

La portabilidad de los dispositivos/vehículos electrónicos depende del rendimiento de sus celdas. En general, es deseable tener una celda que tenga una gran capacidad y un tiempo de carga corto para aumentar la relación de tiempo que los dispositivos/vehículos pueden funcionar independientemente de una fuente de alimentación externa al tiempo que deben estar conectados a una fuente de alimentación externa para su carga.

20 Se pueden seleccionar varios tipos y configuraciones de celdas electroquímicas en función del tamaño, la forma, la tensión, la corriente y otros requisitos. Ejemplos de formas comunes de celdas son celdas de tipo bolsa, celdas cilíndricas, celdas Swagelok y celdas de tipo botón. Las celdas también pueden conectarse en una batería para proporcionar la tensión y/o corriente apropiadas para la aplicación.

25 Si una celda se carga demasiado rápido, pueden ocurrir muchas condiciones de funcionamiento indeseables; tales como: formación de dendritas, revestimiento metálico y puntos calientes de corriente, cada uno de los cuales puede aumentar potencialmente la probabilidad de un cortocircuito y daño a la celda.

30 Un método común para cargar rápidamente una celda mientras se evita la sobrecarga es suministrar una corriente constante en una primera fase de carga hasta que se alcanza una tensión predeterminada en la celda y a continuación, en una segunda fase de carga, mantener la tensión constante mientras la corriente decae para garantizar que la celda alcance su capacidad. La primera fase de carga aumenta rápidamente la carga en la celda y la segunda fase de carga es más lenta.

35 Una tasa C es una medida de la tasa de carga o descarga de una celda y es la corriente dividida por la capacidad y con unidades de por hora.

40 La presente invención se ha realizado en vista de las consideraciones anteriores.

Sumario de la invención

45 La presente invención proporciona un método para mejorar el rendimiento de una celda electroquímica de acuerdo con la reivindicación 1.

50 El campo magnético cambiante ayuda al transporte de iones en la celda electroquímica, lo que significa que se mejora el rendimiento de la batería. Opcionalmente, la celda puede incluir un separador entre los electrodos. El transporte de iones se puede mejorar en el electrolito y/o en los electrodos y/o en el separador. El campo magnético cambiante a través de la celda significa que el flujo magnético en la celda varía con el tiempo en magnitud y/o dirección y/o distribución.

55 Una característica de la celda que puede mejorarse usando el método anterior es la velocidad de carga de la celda. El transporte de iones en las celdas es a menudo el proceso de determinación de la velocidad durante la carga y, por lo tanto, ayuda al transporte de iones acelera la carga de la celda. Otra característica de la celda que puede mejorarse usando el método anterior es la velocidad de descarga a medida que se mejora el transporte de iones de manera análoga a durante la carga. Otra característica de la celda que puede mejorarse usando el método anterior es la capacidad de la celda. Esto se puede lograr realizando el método anterior en la celda durante la formación de la celda o durante el funcionamiento.

60 El campo magnético cambiante es un campo magnético rotativo. Adicionalmente, o como alternativa, el campo magnético cambiante puede ser un campo magnético oscilante y/o un campo magnético pulsante.

65 El campo magnético cambiante puede tener una dirección con un componente perpendicular a la trayectoria de flujo de corriente. El campo magnético cambiante puede tener una dirección con un componente paralelo a la trayectoria

de flujo de corriente.

5 La rotación del campo magnético puede ser alrededor de un eje que tiene un componente perpendicular a una dirección del campo magnético. La rotación del campo magnético puede ser alrededor de un eje que tiene un componente paralelo a una dirección del campo magnético.

10 La rotación del campo magnético puede ser alrededor de un eje que tiene un componente perpendicular a una dirección de la trayectoria de flujo de corriente. La rotación del campo magnético puede ser alrededor de un eje que tiene un componente paralelo a una dirección de la trayectoria de flujo de corriente.

El campo magnético rotativo lo proporciona una matriz de electroimanes que se activan secuencialmente para rotar eficazmente el campo magnético.

15 La celda electroquímica puede ser una batería. La batería puede ser una celda de tipo botón, una celda cilíndrica, una celda prismática o una celda de tipo bolsa.

20 La batería puede ser una batería de iones positivos y la trayectoria de flujo de corriente puede ser la dirección de desplazamiento de los iones positivos. La batería puede ser una batería de iones de litio. Como alternativa, la batería puede ser una batería de iones negativos y la trayectoria de flujo de corriente puede ser la dirección de desplazamiento de los iones negativos.

La celda puede destinarse para alimentar un vehículo eléctrico, un teléfono móvil, un ordenador portátil, tableta u otro dispositivo portátil o estacionario. La celda puede ser una celda de combustible.

25 La celda electroquímica puede ser parte de una matriz de dos o más celdas.

El electrolito puede ser un sólido, líquido o un gel. En particular, el electrolito puede ser no acuoso, incluyendo los electrolitos orgánicos.

30 Se proporciona un generador de campo magnético para generar el campo magnético cambiante. El generador de campo magnético es externo a la celda.

35 En otro aspecto, la presente invención proporciona un acelerador de carga para mejorar el rendimiento de una celda electroquímica, estando configurado el dispositivo para llevar a cabo un método de mejora del rendimiento de una celda electroquímica descrita anteriormente.

40 En otro aspecto, la presente invención proporciona un método para cargar una celda electroquímica que comprende las etapas de proporcionar una corriente o tensión a la celda desde una fuente de alimentación mientras se realiza un método para mejorar el rendimiento de una celda electroquímica descrita anteriormente. En esta divulgación, la carga de una celda incluye mover iones en una celda ya sea impuesto por una corriente o tensión o por movimiento espontáneo de los iones.

45 En otro aspecto, la presente invención proporciona un método para descargar una celda electroquímica que comprende las etapas de extraer una corriente o tensión de la celda mientras se realiza un método para mejorar el rendimiento de una celda electroquímica descrita anteriormente.

50 En otro aspecto, la presente invención proporciona un método para mejorar la capacidad de una celda electroquímica que comprende las etapas de formación o durante el funcionamiento de una celda electroquímica mientras se realiza un método para mejorar el rendimiento de una celda electroquímica descrita anteriormente.

La invención incluye la combinación de los aspectos y características preferidas descritos excepto cuando dicha combinación sea claramente inadmisibles o expresamente evitada.

55 Sumario de las Figuras

A continuación se analizarán realizaciones y experimentos que ilustran los principios de la invención con referencia a las figuras adjuntas en las que:

60 la **Figura 1** muestra una vista lateral de una disposición de ejemplo de equipo utilizada para mejorar el rendimiento de una celda.

La **Figura 2** muestra un diagrama de una disposición de ejemplo utilizada para mejorar el rendimiento de una celda de tipo bolsa.

65 La **Figura 2A** muestra una vista lateral en sección transversal y la **Figura 2B** muestra una vista superior.

La **Figura 3** muestra la capacidad de una celda a lo largo del tiempo de una celda de tipo bolsa cuando se carga de 3,4 V a 4,2 V a 0,841 A hasta que se alcanzan 4,2 V y después se mantiene a una tensión constante mientras la corriente decae y se alcanza la capacidad (i) con un campo magnético cambiante (línea discontinua línea) y (ii) con un campo magnético permanente (línea continua).

La **Figura 4** muestra la corriente y la tensión a lo largo del tiempo de la celda de tipo bolsa cargada de 3,4 V a 4,2 V a 0,841 A hasta que se alcanzó 4,2 V y después se mantiene a una tensión constante mientras la corriente decae y se alcanza la capacidad (i) con un campo magnético rotativo presente (línea discontinua) y (ii) con un campo magnético permanente (línea continua).

La **Figura 5** muestra la capacidad de una celda a lo largo del tiempo de la celda de tipo bolsa cuando se carga de 3,4 V a 4,2 V a 0,841 A hasta que se alcanzan los 4,2 V y después se mantiene a una tensión constante mientras la corriente decae y se alcanza la capacidad (i) con un campo magnético rotativo presente (línea discontinua) y (ii) con un campo magnético permanente (línea continua).

La **Figura 6** muestra la velocidad de carga de una celda de tipo bolsa de 400 mAh en ciclos con un campo magnético rotativo y con un campo magnético permanente.

La **Figura 7** muestra el tiempo necesario para cargar la celda de tipo bolsa de 400 mAh de la figura 6 con un campo magnético rotativo y con un campo magnético permanente junto con las dimensiones y propiedades de la celda utilizada.

La **Figura 8** muestra la velocidad de carga de una celda de tipo bolsa de 200 mAh a 4 C con un campo magnético rotativo y con un campo magnético permanente.

Figura 9 muestra el tiempo necesario para cargar la celda de tipo bolsa de 200 mAh de la Figura 8 con un campo magnético rotativo y con un campo magnético permanente a 4 C junto con las dimensiones y propiedades de la celda utilizada.

La **Figura 10** muestra un diagrama de una disposición de ejemplo utilizada para mejorar el rendimiento de una celda de tipo Swagelok. La **Figura 10A** muestra una vista lateral en sección transversal y la **Figura 10B** muestra una vista superior.

La **Figura 11** muestra la velocidad de carga a 1 C, 2 C y 3 C realizadas en una celda Swagelok de LMO/Grafito con un campo magnético rotativo y con un campo magnético permanente.

La **Figura 12** muestra el tiempo necesario para cargar la celda Swagelok de OVM/grafito de la figura 11 con un campo magnético rotativo y con un campo magnético permanente a 1 C, 2 C y 3 C junto con las dimensiones de la celda utilizada.

La **Figura 13** muestra un diagrama de una disposición de ejemplo utilizada para mejorar el rendimiento de una celda de tipo cilíndrico. La **Figura 13A** muestra una vista en sección transversal a lo largo de la línea A-A, La **Figura 13B** muestra una vista lateral en sección transversal a lo largo de la línea B-B y la **Figura 13C** muestra una vista superior.

La **Figura 14** muestra la velocidad de carga de una celda LG 18650 cilíndrica de 2190 mAh en ciclos con un campo magnético rotativo y la celda orientada en dos direcciones separadas 90 grados entre sí y con un campo magnético permanente.

La **Figura 15** muestra el tiempo necesario para cargar la celda LG 18650 cilíndrica de 2190 mAh de la Figura 14 con un campo magnético rotativo y la celda orientada en dos direcciones separadas 90 grados entre sí y con un campo magnético permanente.

Descripción detallada de la invención

A continuación se analizarán aspectos y realizaciones de la presente invención con referencia a las figuras adjuntas. Otros aspectos y realizaciones serán evidentes para los expertos en la materia. Todos los documentos mencionados en este texto se incorporan como referencia en el presente documento.

La disposición de equipo mostrada en la Figura 1 puede usarse para mejorar y monitorizar el rendimiento de una celda 1 mientras se carga o descarga. La celda 1 está ubicada en la parte superior de un generador de campo magnético rotativo 2. La celda 1 está conectada al potenciómetro y al ordenador 3 a través de los terminales 4. El potenciómetro controla el potencial a través de la celda 1 y puede cargar o descargar la celda 1. El ordenador monitoriza la corriente y/o la capacidad y/o la tensión de la celda 1. El generador de campo magnético rotativo 2 proporciona un campo magnético rotativo a través de la celda 1.

Esta disposición se puede utilizar para realizar pruebas de la celda, pero cuando no se requiere la monitorización de la celda 1, el potencióstato, el ordenador 3 y los terminales 4 pueden retirarse y opcionalmente reemplazarse por una fuente de alimentación o drenaje para cargar o descargar la celda.

5 En la disposición de la figura 1, la celda 1 está ubicada en la parte superior del generador de campo magnético rotativo 2, pero en otras realizaciones de la invención, la celda 1 y el generador de campo magnético rotativo 2 pueden orientarse de manera diferente siempre que el generador de campo magnético rotativo 2 pueda producir un campo magnético a través de la celda 1.

10 La rotación del campo magnético puede ser alrededor de un eje sustancialmente paralelo a la dirección del campo magnético producido. Por ejemplo, la dirección del campo magnético producido en la celda 1 puede ser sustancialmente paralela a una dirección entre el generador de campo magnético 2 y la celda 1 y la rotación del campo puede ser alrededor de un eje paralelo a una dirección entre el generador de campo magnético 2 y la celda 1 como se muestra en las figuras 2A y 2B.

15 Como alternativa, el campo magnético de rotación puede estar alrededor de un eje sustancialmente perpendicular a la dirección del campo magnético producido. Por ejemplo, la dirección del campo magnético producido en la celda 1 puede ser sustancialmente perpendicular a una dirección entre el generador de campo magnético 2 y la celda 1 y la rotación del campo puede ser alrededor de un eje paralelo a una dirección entre el generador de campo magnético 2 y la celda 1.

20 El generador de campo magnético rotativo 2 en la disposición de la figura 1, puede reemplazarse por un generador de campo magnético cambiante que produce un campo magnético cambiante que varía de otra manera. Por ejemplo, se puede usar un generador de campo magnético cambiante para producir un campo magnético que rota y/u oscila y/o emite pulsos.

25 Los siguientes ejemplos de aparatos y métodos muestran el efecto de cambiar los campos magnéticos en la carga de varias baterías disponibles en el mercado. Todos los ejemplos muestran un tiempo reducido para cargar las celdas en presencia de un campo magnético cambiante. Las celdas son de diversas geometrías y composiciones químicas y se describen con más detalle a continuación.

30 En esta divulgación, la expresión "en condiciones de campo" se refiere a la presencia de un campo magnético cambiante. En los ejemplos explicados a continuación, los resultados para cargar las celdas en presencia de un campo magnético cambiante se muestran junto con ejemplos comparativos de las celdas en ausencia de un campo magnético cambiante. Las disposiciones utilizadas en los ejemplos y en los ejemplos comparativos difieren únicamente en que el campo magnético proporcionado en los ejemplos comparativos es constante en dirección y magnitud, mientras que el campo magnético proporcionado en los ejemplos es cambiante.

35 La figura 2 muestra una disposición utilizada para mejorar el rendimiento de una celda de tipo bolsa 11. El generador de campo magnético 12 produce un campo magnético que tiene una dirección paralela a la dirección mostrada por la flecha en la figura 2A. El campo magnético producido rota en la dirección mostrada por la flecha en la figura 2B. El campo magnético pasa a través de la celda de tipo bolsa 11.

40 El campo magnético se desplaza del eje de rotación para garantizar que el flujo magnético en la celda cambie con el tiempo.

45 El generador de campo magnético 12 es un electroimán alimentado por la fuente de alimentación 15. El potencióstato 13 está conectado a la celda de tipo bolsa 11 y controla el potencial sobre la celda y puede usarse para cargar o descargar la celda.

50 La celda de tipo bolsa 11 está formada por un primer electrodo y un segundo electrodo separados entre sí por un electrolito. Los electrodos son sustancialmente paralelos y se extienden a lo largo y ancho de la celda. La celda de tipo bolsa 11 tiene contactos para cada uno de los electrodos que pueden conectarse a un potencióstato como se muestra en la figura 2.

55 La celda de tipo bolsa 11 está orientada de modo que la dirección del campo magnético pase a través del primer electrodo de la celda, a través del electrolito y a través del segundo electrodo. La dirección del campo magnético es paralela a la dirección de una trayectoria de corriente entre los electrodos. El plano de rotación del campo magnético es paralelo a los planos de los electrodos.

60 La figura 3 muestra la capacidad de la celda de tipo bolsa 11 cuando se carga en presencia de un campo magnético producido por el generador de campo magnético 12 cuando el campo (i) rota (mostrado por la línea discontinua) y (ii) no rota (mostrado por la línea continua). La celda de tipo bolsa 11 se cargó en dos fases. En la primera fase, la celda se cargó de 3,4 V a 4,2 V a 0,841 A hasta que se alcanzó 4,2 V y a continuación en la segunda fase, la celda se mantuvo a una tensión constante mientras la corriente decaía y se alcanzaba la capacidad.

65

La primera fase en la que se aplica una corriente constante a la celda puede verse por las porciones de línea horizontal del gráfico de corriente en la figura 4. La segunda fase en la que la tensión se mantiene constante y la corriente decae mientras se alcanza la capacidad total se puede ver donde cambia la corriente. Las líneas rectas horizontales a $t = 220$ y 300 segundos para campo no cambiante y campo cambiante, respectivamente, representan la porción de corriente constante de la carga y t en adelante que representa la porción de tensión constante de la carga.

Un campo magnético fue producido por un electroimán en el generador de campo magnético 12. Durante el ciclo mostrado por la línea discontinua, el electroimán se hizo rotar a 1160 rpm. Los resultados muestran que el tiempo necesario para cargar la celda se redujo en un 68 % por la presencia del campo magnético rotativo.

La figura 4 muestra la corriente y la tensión durante la carga de la celda de tipo bolsa 11 en las condiciones descritas en relación con la figura 3. De nuevo, la línea discontinua muestra la carga cuando el campo magnético está rotando y la línea continua muestra la carga cuando el campo magnético no está rotando (es constante). Los gráficos muestran que, en presencia de un campo magnético rotativo, el tiempo necesario para alcanzar la tensión de 4,2 V aumenta de modo que la primera fase de carga en la que se aplica corriente se mantiene durante un período más largo. A medida que la primera fase de carga aumenta la carga retenida por la celda más rápidamente que la segunda fase, esto significa que la carga en general es más rápida cuando el campo magnético rotativo está presente a través de la celda.

La Figura 5 muestra la capacidad de la celda de tipo bolsa 11 cuando se carga en presencia de un campo magnético producido por el generador de campo magnético 12 cuando el campo (i) rota (mostrado por la línea discontinua) y (ii) no rota (mostrado por la línea continua). La celda de tipo bolsa 11 se cargó en dos fases. En la primera fase, la celda se cargó de 3,4 V a 4,2 V a 0,841A hasta que se alcanzó 4,2 V y a continuación en la segunda fase, la celda se mantuvo a una tensión constante mientras la corriente decaía y se alcanzaba la capacidad.

Como puede observarse en la figura 5, en ambos ciclos, las celdas se cargaron a 4,2 V, pero en el ciclo donde el campo magnético estaba rotando, la capacidad de la celda se incrementó en un 5 %. La velocidad de carga también aumentó por la rotación del campo magnético.

La figura 6 muestra los resultados de la prueba de una celda de tipo bolsa 21. La celda de tipo bolsa 21 tiene una capacidad de 400 mAh y tiene unas dimensiones de 5 cm por 2 cm por 0,5 cm. La celda de tipo bolsa 21 está disponible en el mercado a través de la información de la pieza: +PL-402248-2C, 3,7 V 400 mAh - PO 7006 20140726.

La tasa de carga de la celda de tipo bolsa 21 se muestra en la figura 6 para nueve ciclos de carga. Los ciclos 1 a 3, 7 y 8 estaban en presencia de un campo magnético que rotaba a 1170 rpm y el ciclo 9 estaba en presencia del campo magnético que rotaba a 1000 rpm. Los ciclos 4 a 6 estaban en presencia de un campo magnético estático.

Como puede observarse en la figura 6, la velocidad de carga aumentó constantemente por la rotación del campo magnético en aproximadamente un 15 %.

La figura 7 muestra el tiempo necesario para cargar la celda de tipo bolsa 21 en ocho ciclos de carga con un campo rotativo a 1170 rpm, un campo rotativo a 1000 rpm y un campo magnético estático (etiquetado como "sin campo" en la figura). Como puede observarse en la figura 7, el tiempo necesario para cargar la celda se reduce constantemente en aproximadamente un 15 % en presencia de un campo magnético rotativo.

La figura 8 muestra los resultados de la prueba de una celda de tipo bolsa 31. La celda de tipo bolsa 31 tiene una capacidad de 200 mAh y tiene unas dimensiones de 2,5 cm por 1,7 cm por 0,5 cm. La celda de tipo bolsa 31 está disponible en el mercado a través de la información de la pieza: -PL-651628-2C, 3,7 V 210 mAh + PO 7994.

La tasa de carga de la celda de tipo bolsa 31 se muestra en la Figura 8 para dos ciclos de carga. El primer ciclo fue en presencia de un campo magnético que rotaba a 1160 rpm y el segundo ciclo fue en presencia de un campo magnético estático.

Como puede observarse en la figura 8, la velocidad de carga aumentó drásticamente por la rotación del campo magnético.

La figura 9 muestra el tiempo necesario para cargar la celda de tipo bolsa 31 en un ciclo de carga con un campo rotativo a 1160 rpm y un campo magnético estático (etiquetado como "sin campo" en la figura). Como puede observarse en la figura 9, el tiempo necesario para cargar la celda a 4 C disminuye en un 58 % en presencia de un campo magnético rotativo.

La figura 10 muestra una disposición utilizada para mejorar el rendimiento de una celda de tipo Swagelok 41. El generador de campo magnético 42 produce un campo magnético que tiene la dirección paralela a la dirección mostrada por la flecha en la figura 10A. El campo magnético producido rota en la dirección mostrada por la flecha en la figura 10B. El campo magnético pasa a través de la celda Swagelok 41.

El campo magnético se desplaza del eje de rotación para garantizar que el flujo magnético en la celda cambie con el

tiempo.

El generador de campo magnético 42 es un electroimán alimentado por la fuente de alimentación 45. El potenciómetro 43 está conectado a la celda Swagelok 41 y controla el potencial sobre la celda y puede usarse para cargar la celda.

5 La celda Swagelok 41 está formada por un primer electrodo y un segundo electrodo separados entre sí por un electrolito y un material separador. Los electrodos son sustancialmente paralelos y se extienden a lo largo y ancho de la celda. La celda Swagelok 41 tiene contactos para cada uno de los electrodos que pueden conectarse a un potenciómetro como se muestra en la figura 10.

10 La celda Swagelok 41 está orientada de modo que la dirección del campo magnético pase a través de la celda, perpendicularmente a la dirección de una trayectoria de corriente entre los electrodos. El plano de rotación del campo magnético es perpendicular a los planos de los electrodos.

15 La figura 11 muestra los resultados de la prueba de la celda Swagelok 51. La celda Swagelok 51 tiene unas dimensiones de 5 cm por 2,5 cm. La celda Swagelok 51 está disponible en el mercado como una celda Swagelok de LMO/grafito.

20 La tasa de carga de la celda Swagelok 51 se muestra en la Figura 11 para ciclos de carga a 1 C, 2 C y 3 C, cada uno en presencia de un campo magnético rotativo y en presencia de un campo magnético estático (etiquetado como sin campo en la figura). El campo magnético rotativo tenía una velocidad de 1100 rpm.

Como puede observarse en la figura 11, la velocidad de carga aumentó constantemente por la rotación del campo magnético.

25 La figura 12 muestra el tiempo necesario para cargar la celda Swagelok 51 en ciclos de carga a 1 C, 2 C y 3 C, cada uno en presencia de un campo magnético rotativo y en presencia de un campo magnético estático (etiquetado como sin campo en la figura). Como puede observarse en la figura 12, el tiempo necesario para cargar la celda 51 disminuye constantemente en presencia de un campo magnético rotativo.

30 La figura 13 muestra una disposición utilizada para mejorar el rendimiento de una celda cilíndrica 61. El generador de campo magnético 62 produce un campo magnético que tiene la dirección paralela a la dirección mostrada por la flecha en la figura 13B. El campo magnético producido rota en la dirección mostrada por la flecha en la figura 13C. El campo magnético pasa a través de la celda cilíndrica 61.

35 La celda cilíndrica 61 está formada por un primer electrodo y un segundo electrodo separados entre sí por un electrolito. Los electrodos se enrollan en una configuración en espiral y se extienden a lo largo de una longitud de la celda. La celda cilíndrica 61 tiene contactos para cada uno de los electrodos que pueden conectarse a un potenciómetro como se muestra en la figura 13.

40 La celda cilíndrica 61 está orientada en la figura 13 de modo que la dirección del campo magnético pasa a través de la sección transversal de la forma cilíndrica, perpendicularmente a una dirección entre los extremos planos de la forma cilíndrica. El plano de rotación del campo magnético es perpendicular a los planos de las caras de extremo de la celda cilíndrica.

45 Como se analiza más adelante, en otras realizaciones, la celda cilíndrica puede orientarse alternativamente de modo que la dirección del campo magnético pase a través de los extremos de la celda cilíndrica.

50 El campo magnético se desplaza del eje de rotación para garantizar que el flujo magnético en la celda cambie con el tiempo.

El generador de campo magnético 62 es un electroimán alimentado por la fuente de alimentación 65. El potenciómetro 63 está conectado a la celda cilíndrica 61 y controla el potencial sobre la celda y puede usarse para cargar la celda.

55 La figura 14 muestra los resultados de la prueba de la celda cilíndrica 71. La celda cilíndrica 71 tiene unas dimensiones de 6,5 cm por 1,8 cm. La celda cilíndrica 71 está disponible en el mercado como una celda LG 18650 cilíndrica de 2190 mAh.

60 La tasa de carga de la celda cilíndrica 71 se muestra en la Figura 14 para seis ciclos de carga. Los ciclos 1 y 2 estaban en presencia de un campo magnético que rotaba a 1170 rpm, el ciclo 5 estaba en presencia del campo magnético que rotaba a 1500 rpm y el ciclo 6 estaba en presencia de un campo magnético que rotaba a 1200 rpm. Los ciclos 3 y 4 estaban en presencia de un campo magnético estático. En los ciclos 5 y 6, la celda cilíndrica se colocó de este modo en una orientación de 90 grados desde la posición mostrada en la figura 13A, de modo que un extremo plano de la celda esté orientado hacia el generador de campo magnético 62.

65 Como puede observarse en la figura 14, la tasa de carga fue generalmente mayor en presencia de un campo

magnético rotativo.

La figura 15 muestra el tiempo empleado para cargar la celda cilíndrica 71 en los ciclos de carga de la figura 14. Como puede observarse en la figura 15, el tiempo empleado para cargar la celda 71 fue generalmente menor en presencia de un campo magnético rotativo.

El principio de transporte mejorado de iones que da como resultado una velocidad de carga mejorada y/o una capacidad aumentada dentro de una celda electroquímica exhibida por los ejemplos anteriores puede explicarse por una reducción en la energía de activación como se explica a continuación para un ejemplo de una celda de iones positivos.

La velocidad iónica, v , dentro de un electrolito líquido aumentará hasta que sea superada por las fuerzas de arrastre, F_D . La fuerza del campo eléctrico, F_E , que impulsa el movimiento del ion se puede describir por:

$$F_E = z_i q \frac{dV}{dx} \tag{ec. 1}$$

15

- z_i número de carga del ion
- q carga fundamental de un electrón ($1,6 \times 10^{-19}C$)
- dV diferencial de tensión
- dx diferencial espacial

20

La fuerza de arrastre se puede aproximar a partir de la ley de Stoke como:

$$F_D = 6\pi\mu r v \tag{ec. 2}$$

25

- μ viscosidad del líquido
- r radio del ion
- v velocidad del ion

La equiparación de las fuerzas eléctricas y de arrastre determina la velocidad terminal del ion, por tanto, la movilidad, u_i .

30

$$F_E = F_D = 6\pi\mu r v = z_i q \frac{dV}{dx} \tag{ec. 3}$$

$$u_i = \left| \frac{v}{\frac{dV}{dx}} \right| = \frac{|z_i|q}{6\pi\mu r} \tag{ec. 4}$$

35

La movilidad influye en la conductividad a través de la ecuación:

$$\sigma_i = (|z_i|F)c_i u_i \tag{ec. 5}$$

40

- c_i concertación molar

Por lo tanto:

$$F_E \propto u_i \propto \sigma_i \tag{ec. 6}$$

45

En un electrolito polimérico, la resistencia óhmica, σ , puede describirse por:

$$\sigma T = A_{FEEM} \exp\left(\frac{-\Delta G_{act}}{FkT}\right) \tag{ec. 7}$$

50

- ΔG_{act} energía de activación
- F constante de Faraday
- k Constante de Boltzman
- T Temperatura

55

Por lo tanto:

$$F_E \propto u_i \propto \sigma_i \propto \exp(-\Delta G_{act}) \tag{ec. 8}$$

La ecuación de Maxwell-Faraday predice que un campo magnético variable en el tiempo, $\delta B/\delta t$, siempre acompañará a un campo eléctrico no conservativo variable espacialmente, $E(r, t)$, descrito por:

5
$$\nabla \times E(r, t) = -\frac{\delta B/\delta t}{\delta t} \quad \text{ec. 9}$$

V Operador Curl (rotación infinitesimal de un campo vectorial tridimensional)
 r posición
 t tiempo

10 Y el campo eléctrico, E , en un punto dado se define como la fuerza de campo eléctrico vectorial, F_E , para una carga dada, q :

15
$$F_E = qE \quad \text{ec. 10}$$

Por lo tanto, el campo magnético influye en la energía de activación como:

$$B \propto E \propto F_E \propto u_i \propto \sigma_i \propto \exp(-\Delta G_{act}) \quad \text{ec. 11}$$

20 Finalmente, la conductividad está relacionada con la resistividad de la celda, ρ_i , por tanto, las pérdidas de potencial óhmico, η_{ohmico} , a través de:

$$\sigma_i = \frac{1}{\rho_i} \propto \eta_{ohmico} \quad \text{ec. 12}$$

25 Así pues, en presencia de un campo magnético, una membrana polimérica que conduce iones positivos experimentará pérdidas de potencial óhmico reducidas a través de una reducción neta en la energía de activación relacionada con la movilidad iónica asociada con el transporte de protones.

$$B \propto \eta_{ohmico} \quad \text{ec. 13}$$

30 El campo magnético se puede producir usando un imán permanente o un electroimán.

Usando un imán permanente, en presencia de un campo magnético, una membrana polimérica que conduce iones positivos experimentará pérdidas de potencial óhmico reducidas a través de una reducción neta en la energía de activación

35
$$P = \frac{B^2 A}{2\mu_0} \quad \text{ec. 14}$$

40 B inducción magnética
 A área de sección transversal del émbolo
 μ_0 permeabilidad del espacio

Usando un electroimán, en presencia de un campo magnético, una membrana polimérica que conduce iones positivos experimentará pérdidas de potencial óhmico reducidas a través de una reducción neta en la energía de activación:

45
$$F = \frac{CAnI}{l} \quad \text{ec. 15}$$

50 C constante de proporcionalidad
 A área de sección transversal del émbolo
 n número de vueltas en el solenoide
 I corriente
 l longitud del solenoide

55 Las características divulgadas en la descripción anterior, o en las siguientes reivindicaciones o en los dibujos adjuntos, expresadas en sus formas específicas o en términos de un medio para llevar a cabo la función divulgada, o un método o proceso para obtener los resultados divulgados, según proceda, pueden utilizarse, por separado, o en cualquier combinación de dichas características, para realizar diversas formas de la invención.

Aunque la invención se ha descrito junto con las realizaciones ilustrativas descritas anteriormente, muchas

modificaciones y variaciones equivalentes resultarán evidentes para los expertos en la materia cuando se les proporcione esta divulgación. Por consiguiente, los ejemplos de realizaciones de la invención expuestas anteriormente se consideran ilustrativas y no limitativas. Pueden realizarse varios cambios en las realizaciones descritas sin desviarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

5 Para evitar cualquier duda, las explicaciones teóricas proporcionadas en el presente documento se proporcionan con el fin de mejorar la comprensión del lector. Los inventores no desean estar limitados por ninguna de estas explicaciones teóricas.

10 Cualquier encabezado de sección que se utilice en el presente documento tiene fines organizativos únicamente, y no debe interpretarse como una limitación de la materia objeto descrita.

A largo de la presente memoria descriptiva, incluyendo las siguientes reivindicaciones, a menos que el contexto requiera lo contrario, la palabra "comprender" e "incluir", y variaciones tales como "comprende", "que comprende" y "que incluye" implican la inclusión de un número entero o etapa, o grupo de números enteros o etapas, pero no la exclusión de cualquier otro número entero o etapa, o grupo de números enteros o etapas.

15 Cabe señalar que, tal como se usan en esta memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas, las formas en singular "un", "uno/una" "el" y "la" incluyen referentes en plural a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Los intervalos se pueden expresar en el presente documento como comprendidos entre "aproximadamente" un valor particular y/o "aproximadamente" otro valor particular. Cuando se expresa un intervalo de este tipo, otra realización incluye un intervalo desde ese valor particular y/o al otro valor particular. De forma similar, cuando los valores se expresan como aproximaciones, mediante el uso del antecedente "aproximadamente", se entenderá que el valor particular forma otra realización. El término "aproximadamente" en relación con un valor numérico es opcional y
20 significa, por ejemplo, +/-10 %.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para mejorar el transporte de iones en una celda electroquímica que tiene un primer electrodo y un segundo electrodo y un electrolito entre el primer y el segundo electrodos, definiendo el primer y segundo electrodos una trayectoria de flujo de corriente, comprendiendo el método proporcionar, externo a la celda electroquímica, un generador de campo magnético para proporcionar un campo magnético cambiante a través de la celda, en donde el generador de campo magnético comprende una matriz de electroimanes y el campo magnético cambiante es un campo magnético rotativo, comprendiendo además el método activar secuencialmente los electroimanes para proporcionar el campo magnético rotativo.
- 10 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el campo magnético cambiante tiene una dirección con un componente perpendicular a la trayectoria del flujo de corriente.
- 15 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el campo magnético cambiante es un campo magnético oscilante.
- 20 4. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el campo magnético cambiante es un campo magnético pulsante.
- 25 5. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el campo magnético rota alrededor de un eje paralelo a la trayectoria de flujo de corriente.
- 30 6. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde la celda electroquímica es una batería.
- 35 7. Un método de acuerdo con la reivindicación 6, en donde la batería es una batería de iones positivos y la trayectoria de flujo de corriente es la dirección de desplazamiento de los iones positivos.
- 40 8. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el campo magnético producido por el generador de campo magnético es proporcionado por un imán permanente, o un imán temporal, o un electroimán.
- 45 9. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el electrolito es orgánico.
10. Un acelerador de carga para mejorar el rendimiento de una celda electroquímica, estando el dispositivo configurado para llevar a cabo el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
11. Un método de carga de una celda electroquímica que comprende las etapas de proporcionar una corriente o tensión a la celda desde una fuente de alimentación mientras se realiza el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
12. Un método de descarga de una celda electroquímica que comprende las etapas de extraer una corriente o tensión de la celda mientras se realiza el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
13. Un método para mejorar la capacidad de una celda electroquímica que comprende las etapas de formar una celda electroquímica mientras se realiza el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
14. Un método para mejorar la capacidad de una celda electroquímica que comprende las etapas de cargar o descargar una celda electroquímica mientras se realiza el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

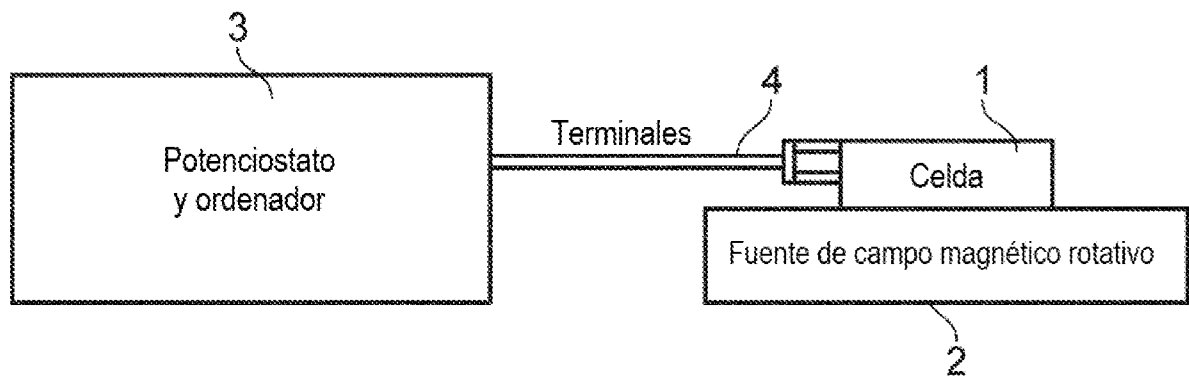


FIG. 1

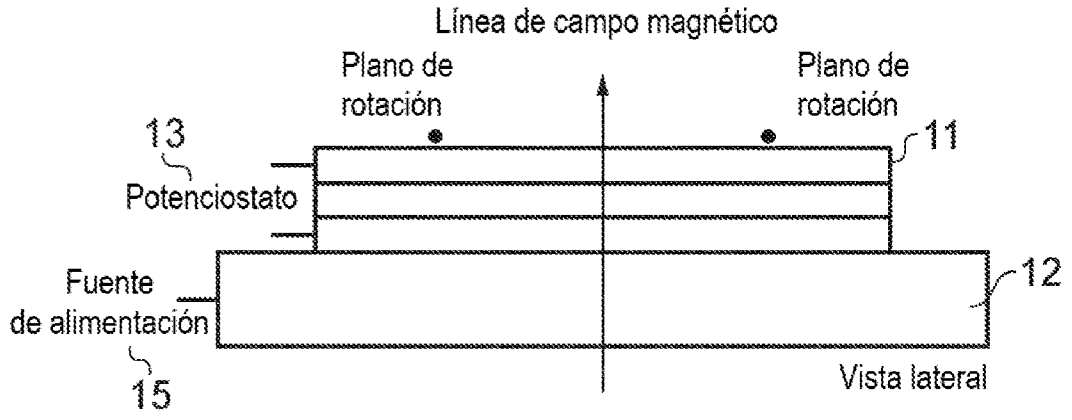


FIG. 2A

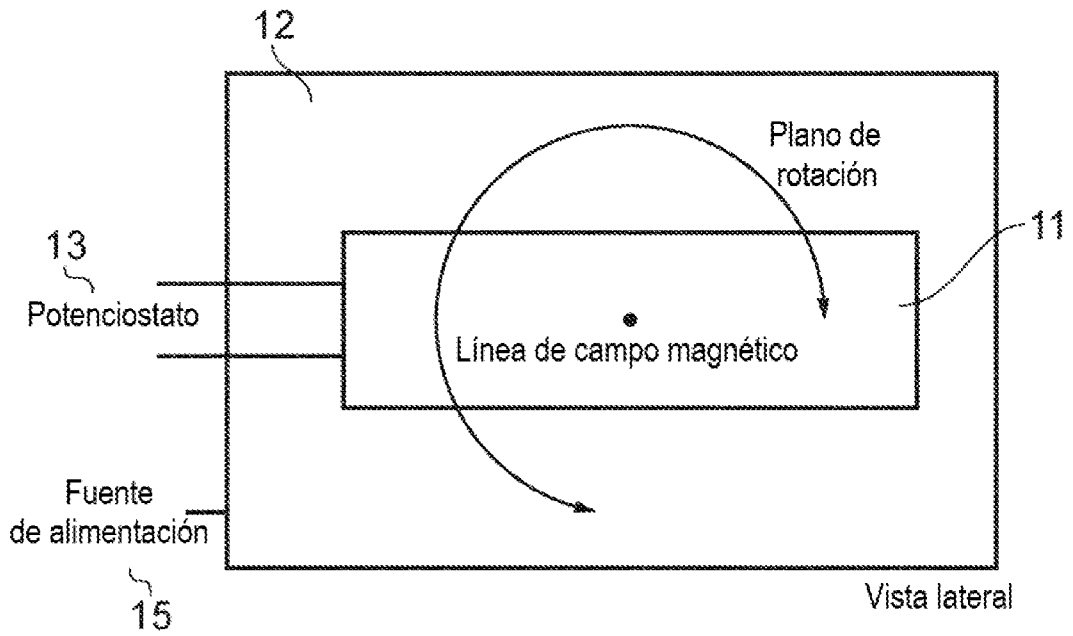


FIG. 2B

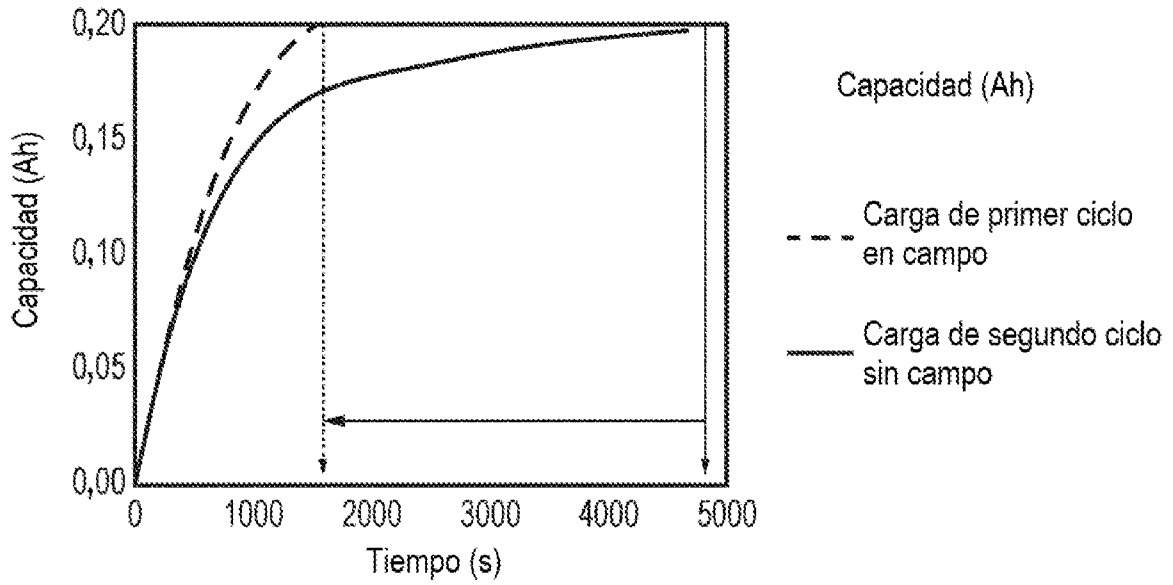


FIG. 3

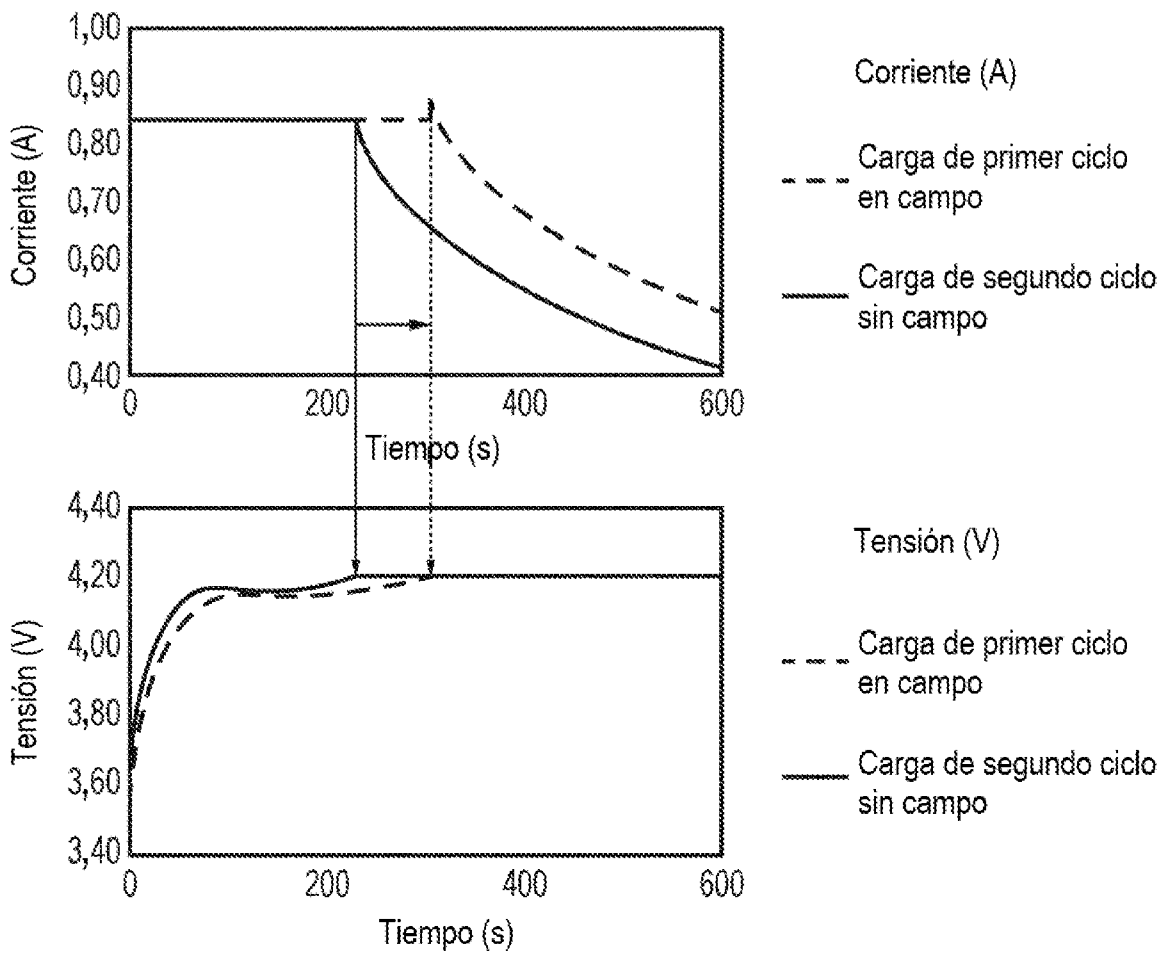


FIG. 4

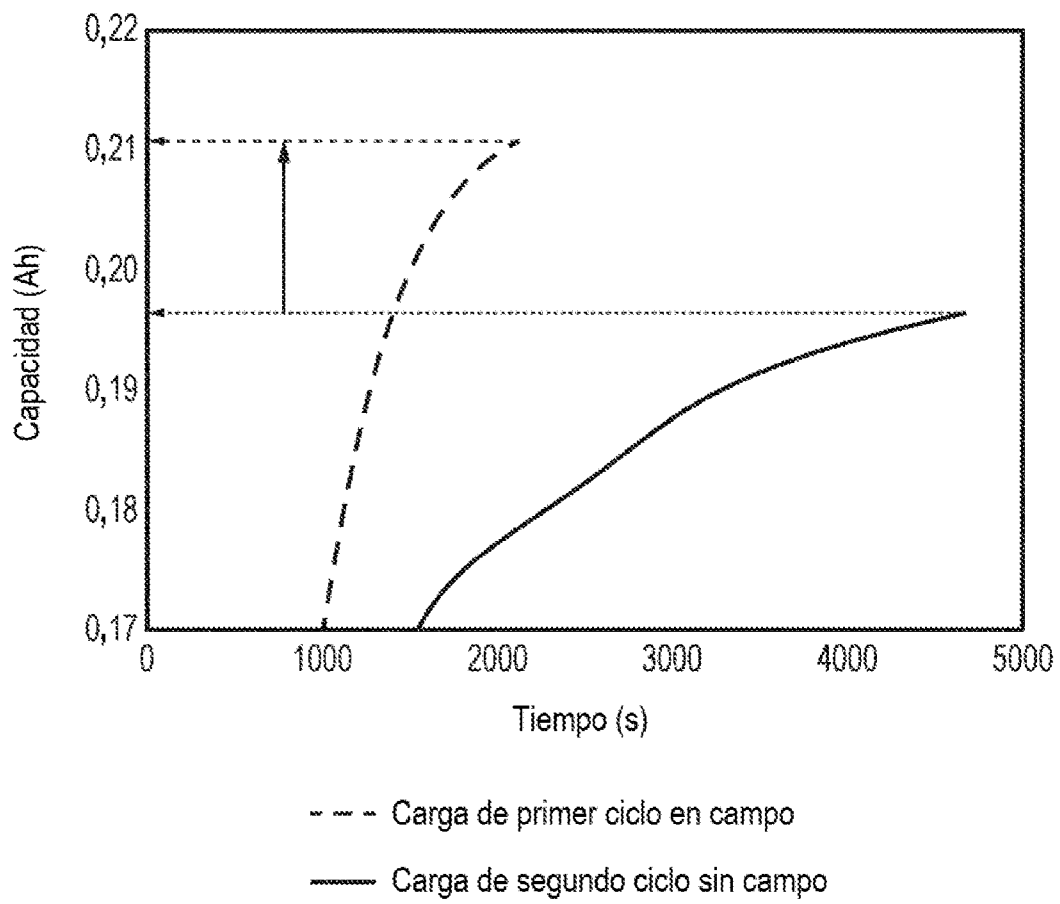


FIG. 5

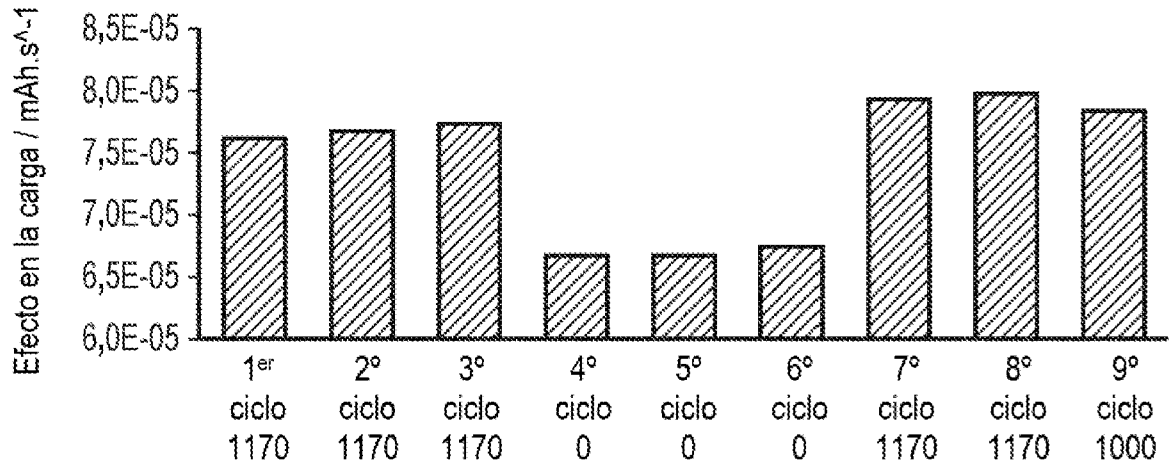


FIG. 6

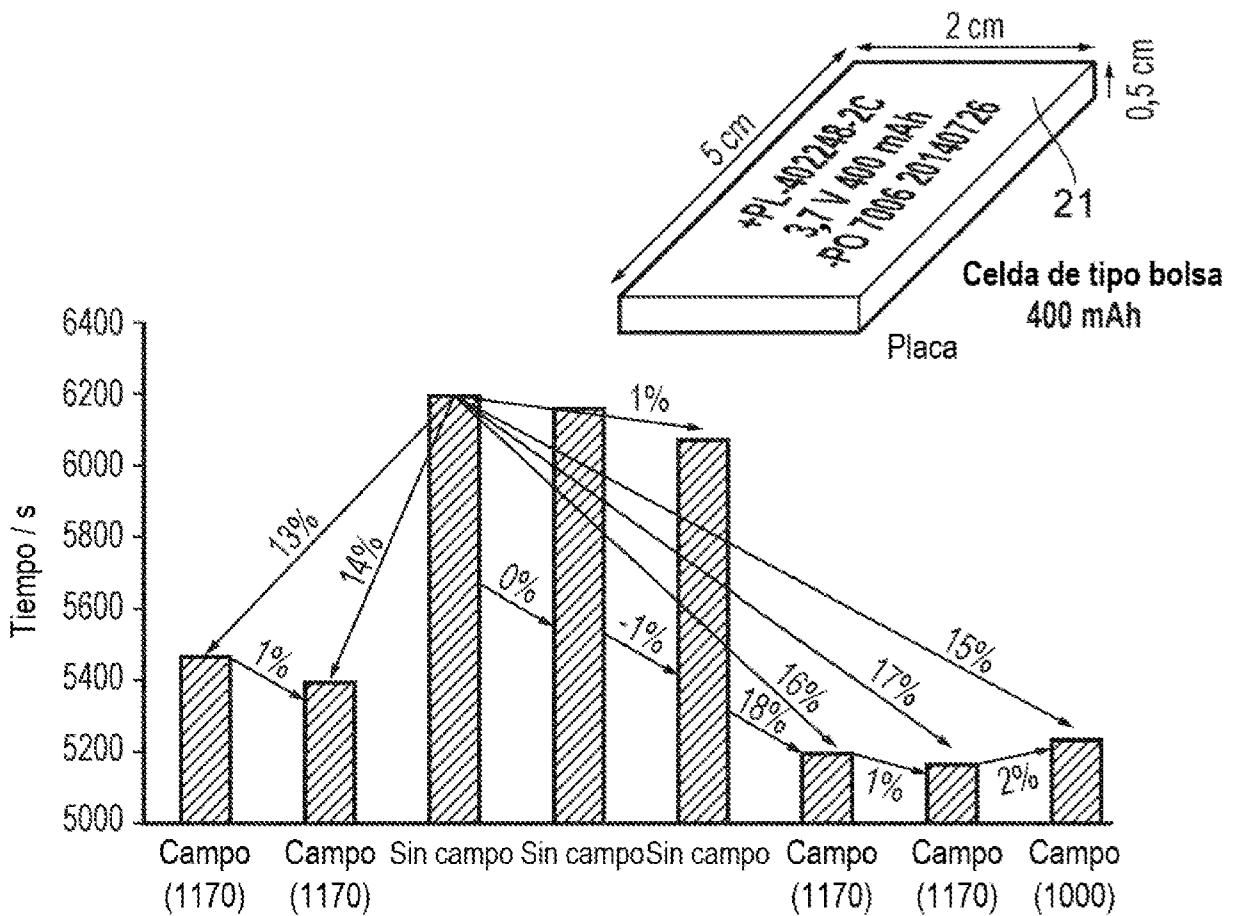


FIG. 7

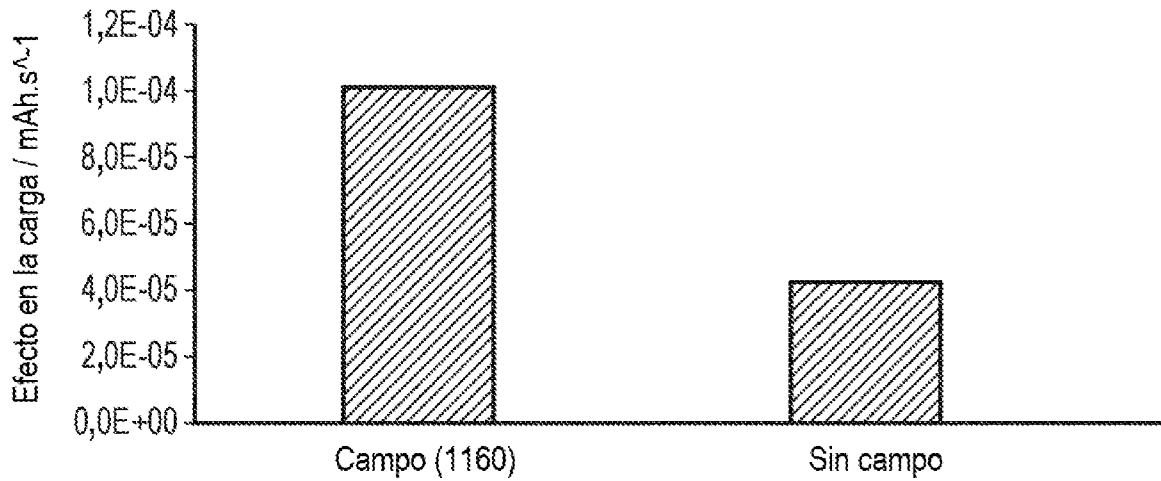


FIG. 8

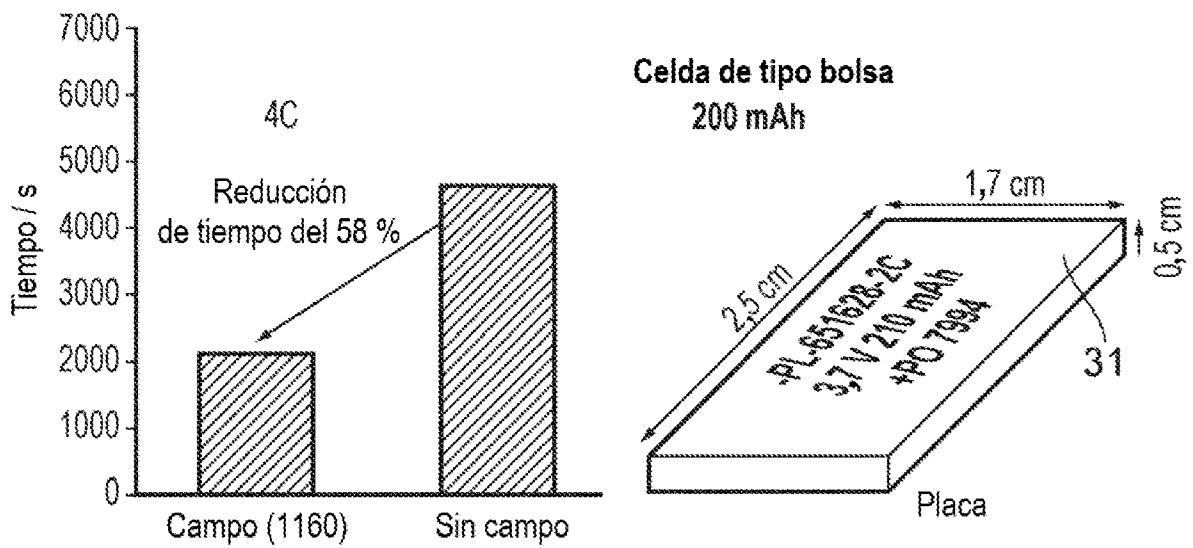


FIG. 9

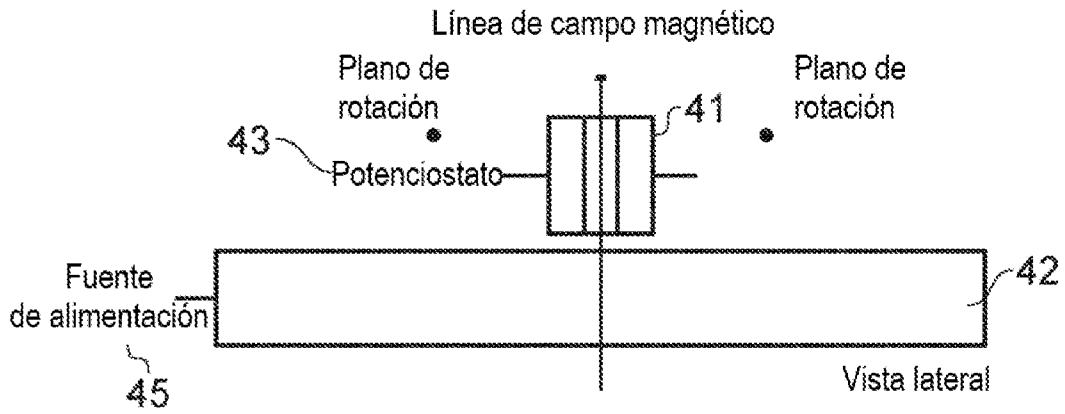


FIG. 10A

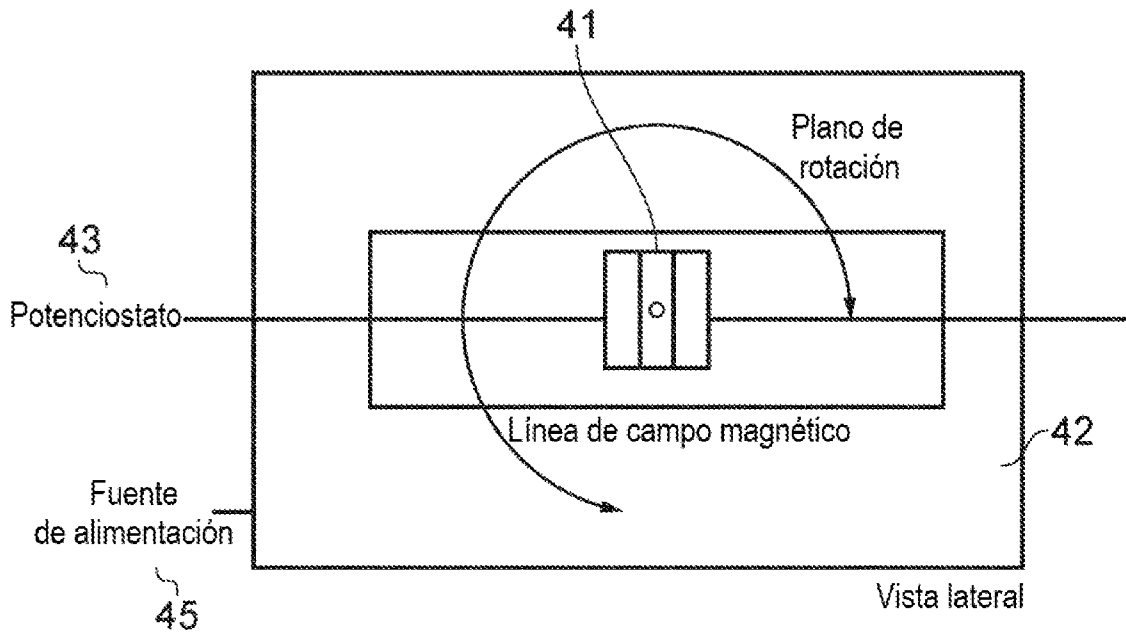


FIG. 10B

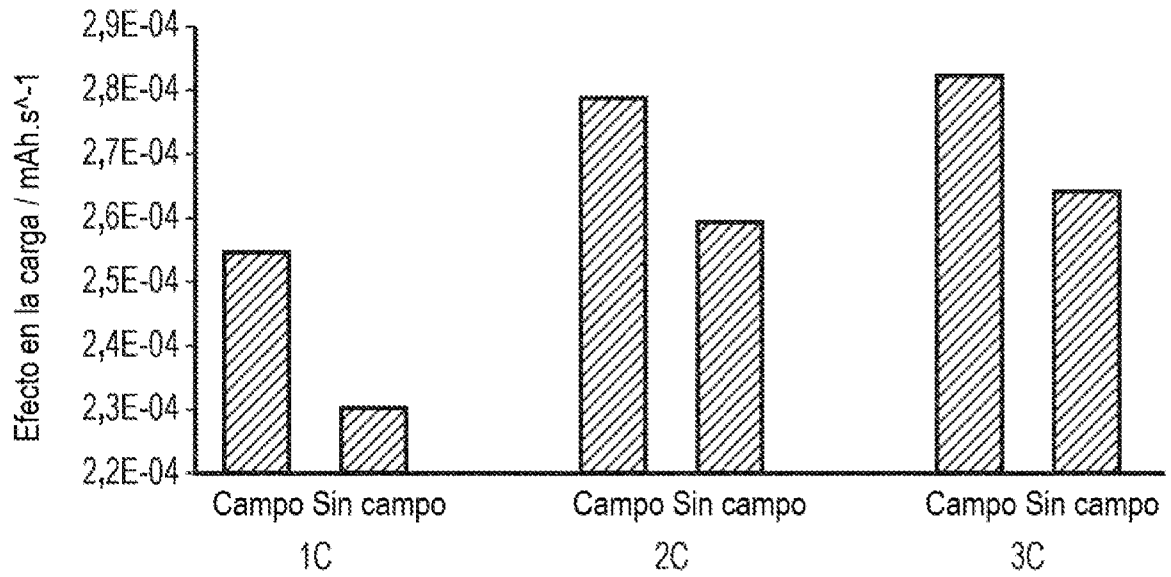


FIG. 11

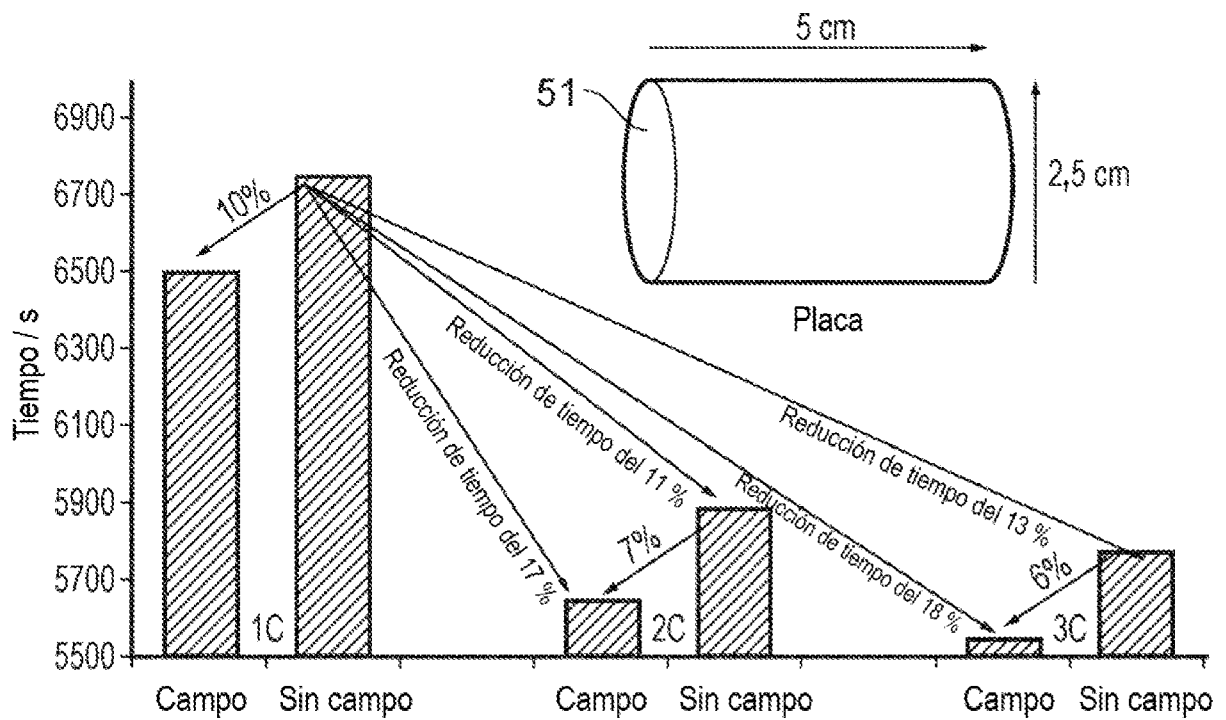


FIG. 12

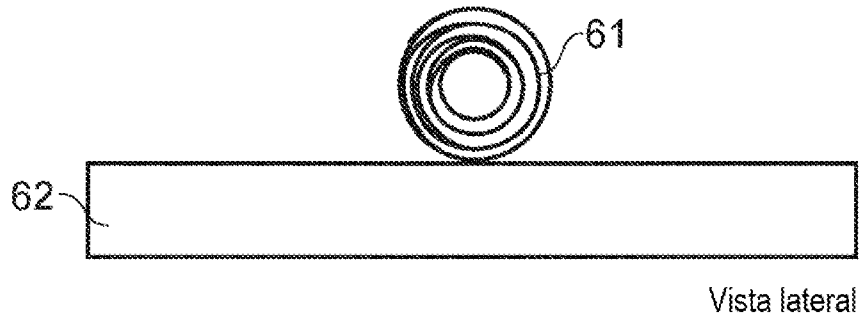


FIG. 13A

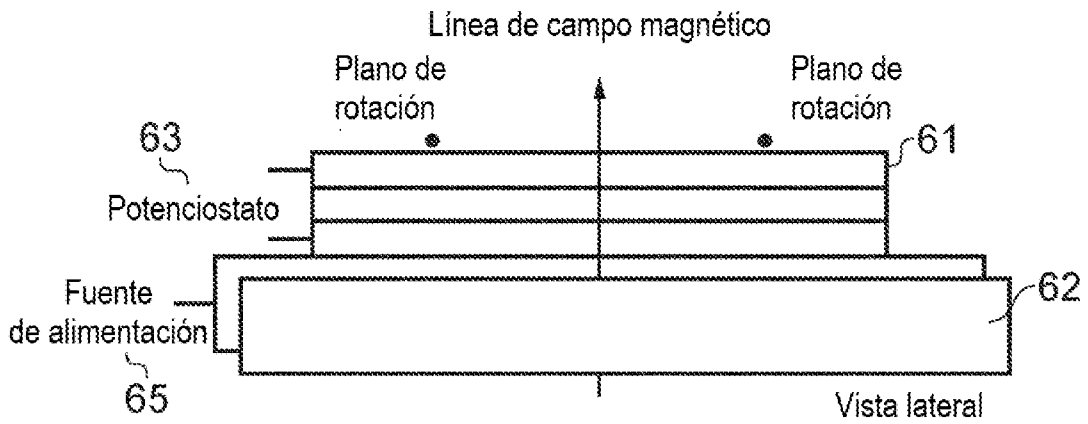


FIG. 13B

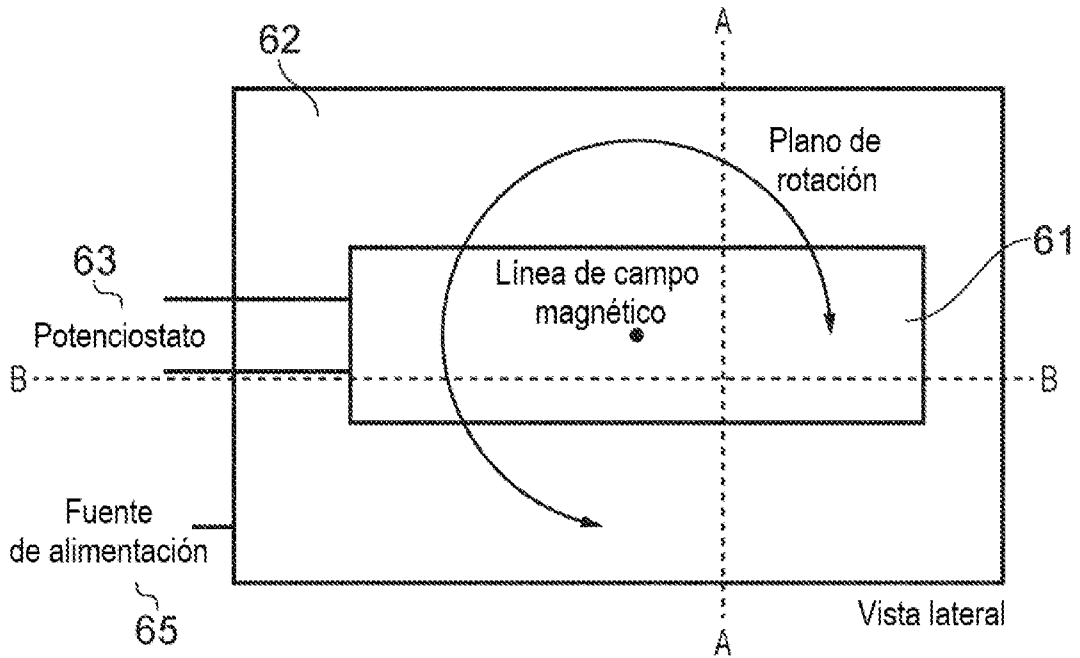


FIG. 13C

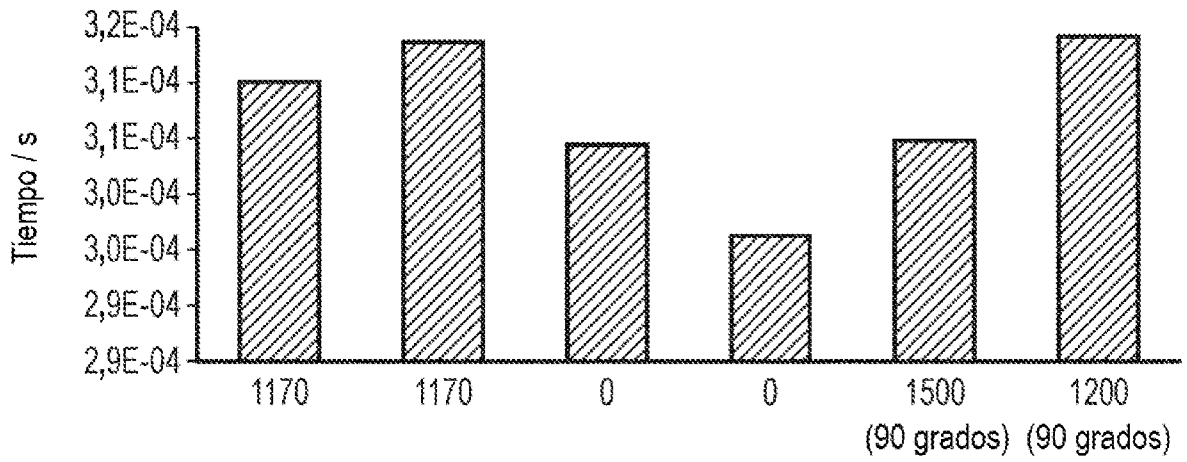


FIG. 14

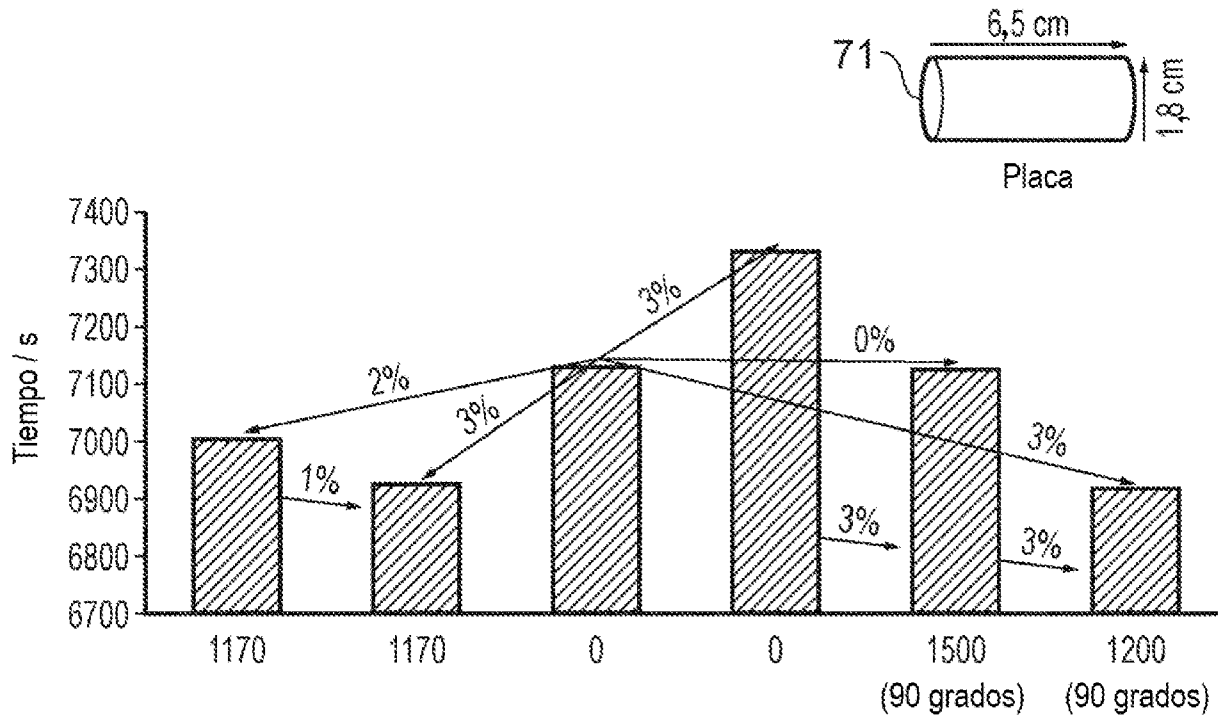


FIG. 15