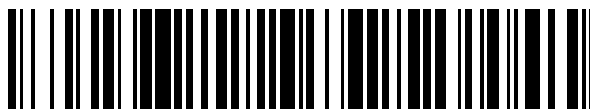


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 789 364**

51 Int. Cl.:

H01M (2006.01)
H01M 8/249 (2006.01)
H01M 16/00 (2006.01)
H01M 8/2465 (2006.01)
H01M 8/0202 (2006.01)
H01M (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2016** **E 16382626 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.02.2020** **EP 3340355**

54 Título: **Sistema de alimentación híbrido y método de control del mismo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.10.2020

73 Titular/es:

THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US

72 Inventor/es:

FERREYRA, EDUARDO GABRIEL;
SERROT HAUKE, ENRIQUE EMILIO;
LEMUS, JOSÉ LUIS;
BLANCO, JOSÉ ANTONIO y
LAPEÑA-REY, NIEVES

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 789 364 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

Sistema de alimentación híbrido y método de control del mismo

Campo

5 La presente divulgación está comprendida en el campo de celdas de combustible y los sistemas de alimentación híbridos.

Antecedentes

10 Los sistemas de celdas de combustible son utilizados en vehículos debido a su alta densidad de energía (Wh/cm^3) y energía específica (Wh/kg). Sin embargo, debido a su limitada potencia específica (W/kg), los sistemas de celdas de combustible se combinan frecuentemente en una configuración híbrida con una fuente de energía con alta descarga de potencia. La configuración más común de un sistema de alimentación híbrido consiste en una combinación de baterías y una pila de celdas de combustible. Este tipo de sistema de alimentación híbrido requiere circuitos electrónicos de potencia relativamente complejos y una coincidencia previa de los voltajes de las baterías y la pila de celdas de combustible.

15 La coincidencia de las dos fuentes de energía es esencialmente un intercambio, debido a la naturaleza diferente de una batería en comparación con una celda de combustible en términos de comportamiento dinámico. Como resultado, es imposible aprovechar al máximo ambas fuentes de energía. Todas las hibridaciones consisten en un compromiso en el cual se sacrifican algunos beneficios de cada fuente de alimentación:

- Las baterías pueden producir corrientes más altas en prácticamente cualquier voltaje; por el contrario, cuando una celda de combustible suministra la corriente máxima, el voltaje disminuye casi a la mitad.

20 - El voltaje de una batería disminuye dependiendo de la capacidad restante; sin embargo, el voltaje de una celda de combustible depende de diversos factores.

- La impedancia de salida de una batería es de órdenes de magnitud inferior que la impedancia de salida de una celda de combustible; así, la batería se comporta de manera más similar a una fuente de voltaje ideal.

25 En la actualidad, se utilizan diferentes tipos de esquemas de conexión para hibridar las celdas de combustible y las baterías, como se muestra en las Figuras 1 a 3. La Figura 1 muestra la conexión de una pila de celdas de combustible y una batería con un dispositivo simple de carga compartida. En este esquema de conexión, la hibridación ocurre con el voltaje en donde se encuentra la batería, lo que hace que las celdas de combustible funcionen en rangos de eficiencia bajos. Este tipo de sistema de alimentación híbrido presenta diversos inconvenientes:

30 • El voltaje de la hibridación depende no solo del estado actual de carga de la batería, sino que también cambia dinámicamente dependiendo de la demanda de potencia de carga (a altas descargas de corriente, el voltaje de la batería cae rápidamente y luego se recupera cuando no requiere potencia).

35 • El rango de voltaje de una batería con base en litio abarca aproximadamente de 3 a 4 voltios por celda, y la dependencia entre el voltaje y la corriente suministrada es relativamente baja. La celda de combustible se comporta de manera diferente, ya que a medida que la corriente crece, el voltaje cae para una descarga estática. Por lo tanto, combinar estas dos fuentes de energía completamente diferentes termina por estresar a una de ellas.

En la Figura 2 se muestra otro esquema de conexión. Este tipo de conexión emplea un convertidor elevador CC/CC colocado entre la batería y el dispositivo de carga compartida. Los voltajes en el dispositivo de carga compartida se combinan con un controlador externo cambiando la configuración del voltaje de salida del convertidor elevador. Hay inconvenientes importantes para esta solución:

40 • La eficiencia de los convertidores elevadores variables depende de las configuraciones del voltaje de salida y, por lo general, es inferior al 90%.

• Los convertidores elevadores utilizados en aplicaciones de potencia disipan mucho calor y necesitan grandes disipadores térmicos y, a menudo, ventilación forzada. La ventilación forzada en general significa peso extra, espacio extra y consumo extra de potencia.

45 La Figura 3 ilustra otro esquema de conexión que usa conmutación electrónica entre baterías y celdas de combustible. Esta solución, aunque es más eficiente, tiene una desventaja principal: la batería y la celda de combustible prácticamente no tienen un rango en el cual ambas suministren potencia a la carga al mismo tiempo, por lo que es útil solo como un sistema de fuente de alimentación de respaldo. Esta topología presenta otras desventajas:

50 • A la vez que la batería está suministrando potencia, la celda de combustible está inactiva. De esta manera, la batería suministra más corriente, aumentando la velocidad C de descarga y acortando así su capacidad a una velocidad mayor, como se muestra en la Figura 4. Esta figura muestra un ejemplo de una curva de descarga para una celda de batería de 5000 mAh, dependiendo de la velocidad C de descarga particular utilizada (5C, 10C, 15C, 20C). La

capacidad finalmente depende de la velocidad C de descarga; por ejemplo, si la batería se descarga a una velocidad de 5C (25 A), la capacidad final obtenida es de aproximadamente 4820 Wh, a la vez que para una velocidad de descarga más alta de 20C (100 A), la capacidad obtenida para la misma batería es de aproximadamente 4750 Wh.

• A medida que la celda de combustible permanece inactiva, su temperatura disminuirá. De esta manera, necesita tener un modo de baja potencia implementado para permanecer dentro de los límites de temperatura; de lo contrario, cuando la celda de combustible debería estar funcionando, habrá un retraso causado por el aumento de la temperatura interna de la celda de combustible hasta su punto nominal para poder proporcionar la potencia solicitada.

El documento de patente US6555928-B1 divulga una fuente de alimentación híbrida y un método de control de fuente de alimentación para vehículos impulsados de manera híbrida, la fuente de alimentación híbrida comprende una celda de combustible y una batería. Sin embargo, en esta divulgación, la celda de combustible no está preparada para funcionar de manera eficiente para todo el rango de la batería.

El documento de patente US2009181269-A1 divulga una celda de combustible la cual puede funcionar eficientemente para operación de baja potencia, usando una pluralidad de sub-pilas las cuales se alimentan independientemente con canales separados para la entrada de hidrógeno. Como consecuencia, esta celda de combustible requiere una gran cantidad de modificaciones costosas en la celda de combustible, que incluyen diversas entradas de suministro (seis, en particular) en una de las placas de extremo, junto con válvulas para operar cada canal de hidrógeno y detectores para monitorizar la temperatura del gas en cada canal.

Por lo tanto, existe la necesidad de utilizar una pila de celdas de combustible en combinación con baterías para lograr sistemas de alimentación híbridos optimizados.

Resumen

Las celdas de combustible se presentan normalmente en celdas individuales serializadas que forman pilas, que tienen una placa conductiva en cada extremo (es decir, placas de extremo), y que proporcionan un voltaje el cual es la suma de todos los voltajes de las celdas individuales. La presente divulgación se refiere a un sistema de alimentación híbrido para alimentar una carga, en donde el sistema de alimentación híbrido comprende una batería, una unidad de control y una pila de celdas de combustible con una o más placas conductivas intermedias para aprovechar la pila de celdas de combustible a un voltaje intermedio, haciendo esto ventajoso tanto para la condición física de la pila de celdas de combustible como para la aplicación con baterías en sistemas de alimentación híbridos. En particular, cuando se aplica a sistemas de alimentación híbridos, la pila de celdas de combustible permite producir más potencia y, al mismo tiempo, hay menos daños (y, en consecuencia, una vida más larga) para la celda de combustible. El término "conductivo" utilizado en la presente divulgación (por ejemplo, "placa de extremo conductiva", "placa intermedia conductiva") se refiere a "electricidad conductiva".

La pila de celdas de combustible utilizada en el sistema de alimentación híbrido comprende una primera y segunda placas de extremo conductivas con terminales de contacto, una pluralidad de celdas de combustible conectadas eléctricamente en serie y apiladas entre las placas de extremo conductivas, y al menos una placa intermedia conductiva con al menos un terminal de contacto. Cada placa intermedia conductiva se apila entre celdas de combustible adyacentes. La pila de celdas de combustible también puede comprender una placa de extremo colocada en cada extremo de la pila de celdas de combustible.

La unidad de control está configurada para seleccionar un voltaje de operación de la pila de celdas de combustible obtenida de los terminales de contacto de al menos una placa intermedia conductiva y las placas de extremo conductivas cuando el sistema de alimentación híbrido alimenta la carga. La unidad de control está configurada para seleccionar el voltaje de operación de la pila de celdas de combustible dependiendo de los valores de los voltajes en los terminales de contacto de la pila de celdas de combustible. El voltaje de la batería también puede considerarse al seleccionar el voltaje de operación.

La unidad de control está configurada además para comparar el voltaje de operación seleccionado de la pila de celdas de combustible que alimenta la carga con un límite bajo seguro, y si el voltaje de operación actual es inferior al límite bajo seguro, seleccionar un voltaje de operación más bajo, obtenido a partir de los terminales de contacto de al menos una placa intermedia conductiva y las placas de extremo conductivas, para alimentar la carga.

En una realización, la pila de celdas de combustible puede comprender una pluralidad de sub-pilas de celdas de combustible conectadas en serie, cada sub-pila de celdas de combustible comprende al menos una celda de combustible. Cada placa intermedia conductiva está configurada para apilarse entre un par de sub-pilas de celdas de combustible adyacentes. De acuerdo con una realización, una sub-pila de celdas de combustible puede comprender una pluralidad de placas bipolares y al menos una celda de combustible, en donde cada celda de combustible está apilada entre un par de placas bipolares.

De acuerdo con otra realización, la pila de celdas de combustible comprende una pluralidad de placas bipolares, estando dispuesta cada placa bipolar entre celdas de combustible adyacentes. Cada placa intermedia conductiva está configurada para apilarse en contacto con una placa bipolar y el cátodo o ánodo de una celda de combustible.

- En aún una realización adicional, la pila de celdas de combustible comprende una pluralidad de placas bipolares, cada placa bipolar está dispuesta entre celdas de combustible adyacentes, y cada placa intermedia conductiva está configurada para apilarse en contacto con el cátodo de una celda de combustible y el ánodo de una celda de combustible adyacente. En esta realización, la placa intermedia conductiva tiene una doble función: actuar como una placa bipolar y al mismo tiempo proporcionar terminales de contacto para permitir el acceso a diferentes niveles de voltaje.
- Cada terminal de contacto puede comprender una o más pestañas conductivas que sobresalen de la pila de celdas de combustible. En una realización, la placa intermedia conductiva puede comprender una placa bipolar y una o más pestañas conductivas que sobresalen de la placa bipolar.
- El sistema de alimentación híbrido puede comprender además una pluralidad de conmutadores que conectan la carga con los terminales de contacto de la placa intermedia conductiva y al menos un terminal de contacto de las placas de extremo conductivas de la pila de celdas de combustible, en donde la unidad de control está configurada para operar los conmutadores para seleccionar el voltaje de operación de la pila de celdas de combustible utilizada para alimentar la carga.
- El sistema de alimentación híbrido también puede comprender un conmutador de batería que conecta la carga con la batería, en donde la unidad de control está configurada para operar el conmutador de la batería dependiendo de los valores del voltaje de la batería y el voltaje de operación de la pila de celdas de combustible.
- En una realización, una de las placas de extremo conductivas puede conectarse a la tierra y el voltaje de operación puede definirse como la tensión eléctrica entre un terminal de contacto de una placa intermedia conductiva (o el terminal de contacto de la otra placa de extremo conductiva, no conectada a tierra) y la tierra. Alternativamente, el voltaje de operación puede definirse como la tensión eléctrica entre dos terminales de contacto diferentes de la pila de celdas de combustible (en ese caso, hay múltiples posibles diferentes combinaciones).
- Un aspecto adicional de la presente invención también se refiere a un método para controlar un sistema de alimentación híbrido que comprende una batería y una pila de celdas de combustible de acuerdo con la presente divulgación. El método comprende seleccionar un voltaje de operación de la pila de celdas de combustible obtenido a partir de los terminales de contacto de las placas de extremo conductivas y al menos una placa intermedia conductiva apilada entre celdas de combustible adyacentes cuando el sistema (90) de alimentación híbrido está alimentando una carga.
- El voltaje de operación de la pila de celdas de combustible se selecciona dependiendo de los valores de los voltajes en los terminales de contacto de la pila de celdas de combustible. También se puede considerar el voltaje de la batería.
- El método comprende además determinar si el voltaje de operación seleccionado de la pila de celdas de combustible que alimenta la carga es más bajo que un límite inferior seguro, y en ese caso seleccionar un voltaje de operación inferior, obtenido a partir de los terminales de contacto de al menos una placa intermedia conductiva y las placas de extremo conductivas, para alimentar la carga. En una realización, el límite inferior seguro es un valor proporcional al número de celdas de combustible activas que alimentan la carga.
- El método también puede comprender determinar si el voltaje de la totalidad de la pila de celdas de combustible es inferior que el voltaje de la batería, y en ese caso activar un conmutador de batería para alimentar la carga con la energía provista por la batería.
- En una realización, la pila de celdas de combustible está compuesta por una pluralidad de sub-pilas de celdas de combustible conectadas en serie, y una placa intermedia conductiva colocada entre cada par de sub-pilas de celdas de combustible y en contacto eléctrico con cada sub-pila. La pila de celdas de combustible proporciona potencia accediendo a los terminales de contacto de las placas de extremo y/o las placas intermedias.
- Un sistema de alimentación híbrido está compuesto por una o más baterías y una pila de celdas de combustible. A medida que las baterías se debilitan debido a una gran carga eléctrica, el sistema de alimentación híbrido cambia el acceso a una placa intermedia conductiva de la pila de celdas de combustible. El cambio a un voltaje de placa intermedia dará como resultado un voltaje intermedio. El sistema ahora puede proporcionar más potencia sin causar daños a la celda de combustible.
- Además, el uso de una configuración de placa intermedia permite fusionar la potencia de la celda de combustible cuando el voltaje de la batería es bajo. También asegura que la celda de combustible pueda entregar su potencia nominal sin penalizar la batería debido al sobrecalentamiento. En caso de que la batería comience a agotarse (por ejemplo, debido a que la demanda de potencia requiere más de lo que la pila de celdas de combustible puede suministrar por sí sola), el acceso a la pila de celdas de combustible puede cambiarse a la placa intermedia, por lo que continuará entregando potencia sin incurrir daños, lo que resulta en una vida útil más larga para la celda de combustible.

- La pila de celdas de combustible que usa esta configuración particular también es una solución simple y rentable. El coste de colocar la placa intermedia en una pila de celdas de combustible es prácticamente insignificante en comparación con el precio de la pila de celdas de combustible en sí. Además, la lógica de conmutación que selecciona cual placa usar, es más simple, más pequeña, más barata, más eficiente que un convertidor elevador CC/CC. Los elementos adicionales que requeriría un convertidor elevador, tales como disipadores térmicos y ventiladores, también se pueden ahorrar. La pila de celdas de combustible utilizada en el sistema de alimentación híbrido de la presente divulgación es más fácil de depurar; en este sentido, los costes de mantenimiento también se reducirían debido a su simplicidad y a que se prolongaría la vida útil de las celdas de combustible. Al permitir que la celda de combustible funcione en su rango de máxima eficiencia, impide o reduce el espacio necesario para fines de acondicionamiento (disipadores térmicos, ventiladores, soportes de montaje, etc.) los cuales podrían reducir la bahía de carga útil.
- El sistema de alimentación híbrido puede instalarse y aplicarse a cualquier dispositivo o vehículo que use celdas de combustible: vehículos aéreos impulsados con celdas de combustible, coches impulsados con celdas de combustible, botes impulsados con celdas de combustible o incluso equipos estacionarios impulsados con celdas de combustible.
- Las características, funciones y ventajas que se han discutido se pueden lograr de forma independiente en diversas realizaciones o se pueden combinar en aún otras realizaciones, de las cuales se pueden ver detalles adicionales con referencia a la siguiente descripción y dibujos.
- Breve descripción de los dibujos
- A continuación, se describe muy brevemente una serie de dibujos los cuales ayudan a comprender mejor la invención y los cuales están expresamente relacionados con una realización de dicha invención, presentada como un ejemplo no limitativo de la misma.
- Las Figuras 1, 2 y 3 representan diferentes esquemas de conexión en sistemas de alimentación híbridos de acuerdo con la técnica anterior. La Figura 1 muestra un método común de hibridación directa, la Figura 2 una hibridación con un convertidor elevador CC/CC y la Figura 3 una hibridación con conmutación electrónica.
- La Figura 4 representa una curva de descarga de celda de batería de 5000 mAh 25C para diferentes velocidades de descarga.
- La Figura 5 muestra la estructura de una pila de celdas de combustible con una placa intermedia de acuerdo con una realización de la presente divulgación.
- La Figura 6 muestra una representación esquemática de las capas que forman una sub-pila de celdas de combustible.
- La Figura 7 representa un diseño esquemático de las capas de la pila de celdas de combustible de la Figura 5.
- La Figura 8 representa otra realización de una pila de celdas de combustible con múltiples placas intermedias conductivas.
- La Figura 9A muestra una pila de celdas de combustible de celdas 45 que corresponde a un paquete de ocho baterías de 8 LiPo. La Figura 9B representa los rangos de voltaje de una batería de celdas 8 y el rango de voltaje de una celda de combustible provisto de celdas 50 con dos placas intermedias diferentes colocadas en una posición correspondiente a celdas 45 y celdas 40, respectivamente.
- La Figura 10 representa las curvas de descarga de la celda de la Figura 4 para una celda de batería de 5000 mAh, y los voltajes nominales de tres configuraciones diferentes de la pila de celdas de combustible utilizando placas intermedias.
- La Figura 11 representa una realización de un sistema de alimentación híbrido, formado por una batería y una pila de celdas de combustible con una configuración de dos placas intermedias, y el sistema de control que gestiona la hibridación.
- La Figura 12 ilustra un diagrama de flujo básico del control del proceso de conmutación de ejemplo llevado a cabo por el sistema de control de la Figura 11.
- La Figura 13 representa, de acuerdo con otra realización, la estructura de una pila de celdas de combustible con diversas placas intermedias conductivas.
- La Figura 14 representa aún otra realización de la pila de celdas de combustible con diversas placas intermedias conductivas.
- Descripción detallada
- La presente divulgación se refiere a un sistema de alimentación híbrido que comprende una pila de celdas de combustible utilizada en combinación con baterías. La Figura 5 ilustra una realización de una pila 1 de celdas de combustible de acuerdo con la presente divulgación.

La pila 1 de celdas de combustible comprende una primera placa 2 de extremo conductiva, que actúa como cátodo, y una segunda placa 3 de extremo conductiva, que actúa como ánodo, colocadas en ambos extremos de la pila. Cada placa (2, 3) de extremo está provista con al menos un terminal de contacto. El terminal de contacto puede ser, por ejemplo, una parte metálica unida a la placa de extremo, una parte integral de la propia placa de extremo o una extensión de la placa de extremo o, como en la realización que se muestra en la Figura 5, implementada como una o más pestañas 4 conductivas o terminales de soldadura que se extienden a partir de cada placa de extremo conductiva. El voltaje entre los terminales de contacto de la primera placa 2 de extremo y la segunda placa 3 de extremo es el voltaje máximo generado por la pila 1 de celdas de combustible.

La pila 1 de celdas de combustible también comprende una pluralidad de celdas 7 de combustible dispuestas en dos o más sub-pilas 5 de celdas de combustible colocadas entre las placas (2, 3) de extremo. Dentro de cada una de las sub-pilas 5, las celdas de combustible están conectadas eléctricamente en serie entre sí. Las sub-pilas 5 de celdas de combustible están a su vez conectadas en serie, orientadas en la misma dirección y manteniendo la misma polaridad. Cada sub-pila 5 de celdas de combustible comprende al menos una celda 7 de combustible. En la realización de la Figura 5, la pila 1 de celdas de combustible comprende dos sub-pilas 5 formadas por cinco celdas 7 de combustible individuales y dos celdas 7 de combustible individuales, respectivamente.

Al menos una placa 6 intermedia conductiva está apilada entre un par de sub-pilas 5 de celdas de combustible. En la realización de la Figura 5, una placa 6 intermedia está ubicada entre las dos sub-pilas 5 adyacentes. Cada placa 6 intermedia está también provista con al menos un terminal de contacto (en la realización de la Figura 5 implementada como una o más pestañas 11, aletas o terminales de soldadura conductivas que se extienden a partir de cada placa 6 intermedia conductiva, que sobresale de la pila 1 de celdas de combustible) a través de las cuales se puede obtener un voltaje intermedio, inferior que el voltaje máximo de la pila 1 de celdas de combustible.

La pila 1 de celdas de combustible puede comprender además una placa (13, 14) de extremo ubicada en cada extremo de la pila. Las placas (13, 14) de extremo normalmente están hechas de fibra de vidrio, aunque pueden fabricarse con otros materiales, tales como plásticos o incluso materiales metálicos. Estas placas (13, 14) de extremo se usan para compactar la pila, en general usando una barra roscada o tornillos muy largos a partir de una placa de extremo a la otra, los cuales se pueden apretar para mejorar el contacto entre las celdas de combustible adyacentes para que todos los conductos (hidrógeno y oxígeno) estén perfectamente sellados.

En una realización, una sub-pila 5 de celdas de combustible comprende una o más celdas 7 de combustible separadas por placas bipolares (no se muestran en la Figura 5). La Figura 6 representa, en una vista lateral esquemática, las diferentes capas que forman una sub-pila 5 de celdas de combustible. En esta realización, la sub-pila 5 de celdas de combustible comprende dos celdas 7 de combustible. Cada celda 7 de combustible está representada con un diagrama de bloques, formado por un cátodo 8, un ánodo 9 y una capa de un electrolito 10. En una realización, cada celda 7 de combustible está apilada entre un par de placas (12, 12') bipolares. En cada sub-pila 5, las placas 12 bipolares internas las cuales se encuentran entre dos celdas 7 de combustible adyacentes forman el lado positivo de una celda 7 de combustible y el lado negativo de una celda 7 de combustible adyacente, como se observa en la placa 12 intermedia bipolar de Figura 6. El uso de placas bipolares permite que todas las celdas 7 de combustible en una sub-pila 5 se interconecten eléctricamente en serie entre sí. La sub-pila 5 de celdas de combustible también puede comprender placas 12' bipolares externas ubicadas en ambos extremos. En otra realización, una o ambas de estas placas 12' bipolares externas pueden estar ausentes.

La Figura 7 representa un diseño esquemático de la pila 1 de celdas de combustible de la Figura 5. Todas las celdas 7 de combustible dentro de una sub-pila 5 están conectadas en serie. Ambas sub-pilas también están conectadas en serie, con la misma orientación, a través de las respectivas placas 12' bipolares externas las cuales conectan eléctricamente el ánodo 9 de una celda 7 de combustible externa de una sub-pila 5 con el cátodo 8 de una celda 7 de combustible externa de la otra sub-pila 5. Una placa 6 intermedia conductiva está apilada entre ambas placas 12' bipolares externas. Al acceder al terminal 11 de contacto de la placa 6 intermedia, se pueden obtener voltajes intermedios (menos que el voltaje máximo V_{max} entre las placas 2 y 3 de extremo conductivas). En particular, se puede obtener un voltaje $V_A = \frac{5}{7} V_{max}$ entre los terminales (4, 11) de contacto de la primera placa 2 de extremo y la placa 6 intermedia, y un voltaje $V_B = \frac{2}{7} V_{max}$ entre los terminales (11, 4) de contacto de la placa 6 intermedia y la segunda placa 3 de extremo.

En otra realización de la pila 1 de celdas de combustible, se pueden apilar una pluralidad de placas 6 intermedias para obtener acceso a voltajes intermedios adicionales. La Figura 8 muestra una pila 1 de celdas de combustible con tres sub-pilas 5 (con tres, una y dos celdas de combustible, respectivamente) y dos placas intermedias (una primera placa 6 intermedia y una segunda placa 6' intermedia) que separan las sub-pilas 5 adyacentes. Se puede acceder a diferentes voltajes $V_A = \frac{1}{2} V_{max}$, $V_B = \frac{1}{6} V_{max}$, $V_C = \frac{1}{3} V_{max}$, $V_D = \frac{2}{3} V_{max}$, $V_E = \frac{1}{2} V_{max}$ intermedios, a través de los terminales (4, 11, 11') de contacto.

Mediante el uso de placas (6, 6') intermedias con terminales (11, 11') de contacto, las celdas de combustible de la pila 1 también pueden dimensionarse para trabajar en su rango más eficiente, logrando una mayor resistencia para una cantidad dada de combustible. En los ejemplos de las Figuras 9A y 9B, que muestran la combinación de diferentes pilas de celdas de combustible con un paquete de ocho baterías de 8 LiPo, el voltaje más eficiente (teniendo en cuenta

no solo la eficiencia eléctrica sino también la eficiencia de utilización de combustible) es 0.7 V/celda y para ese rango, a la vez que usa la pila de celdas 50 completa, la batería no se está agotando porque el voltaje (35 V) general todavía está fuera de la región compartida.

5 La Figura 9A muestra el rango de voltaje de trabajo de una batería de celdas 8 y una pila de celdas de combustible de celdas 45, y cómo se compartiría la potencia en un sistema híbrido con una celda de combustible sin placa intermedia. La barra 20 muestra el rango de la batería la cual, cuando está completamente cargada, tiene un voltaje de 4.2 V/celda (es decir, un voltaje total de 33.6 V, lado derecho de la barra 20). A medida que se agota la batería, el voltaje proporcionado por celda se reduce, hasta 3 V/celda (es decir, un voltaje total de 24 V, lado izquierdo de la barra 20). La barra 22 corresponde al rango de voltaje de la celda de combustible. En circuito abierto, sin carga, el voltaje en los terminales es de alrededor de 0.9 V/celda (sumando hasta 40.5 V). A medida que aumenta la carga, el voltaje cae a un límite inferior (antes de arriesgarse a sufrir daños) de 0.6 V/celda (es decir, 27 V). La flecha 24 rota indica el voltaje de la pila de celdas de combustible (0.75 V/celda) a partir del cual la batería completamente cargada (33.6 V) comenzaría a complementar la pila de celdas de combustible a través de un sistema híbrido (cuando ambos voltajes están igualados). La flecha 26 indica el punto en el cual la celda de combustible estaría en su límite de voltaje más bajo (0.6 V/celda) antes de arriesgarse a sufrir daños. En ese punto, la batería ya no se puede descargar, ya que forzaría a la celda de combustible a caer por debajo de su límite de voltaje inferior. En ese punto, sería conveniente cambiar a una placa intermedia de la pila de celdas de combustible para continuar descargando la batería. La flecha 28 simplemente indica un voltaje intermedio en el cual la pila de celdas de combustible está funcionando normalmente (no es necesario cambiar a una placa intermedia en este punto).

20 La Figura 9B muestra los rangos de voltaje de una batería de litio de celda 8 y el rango de voltaje de una celda de combustible de celda 50 (barra 30) con dos placas intermedias diferentes colocadas en una posición de celda 45 (barra 32) y celda 40 (barra 34), respectivamente. Cuando se selecciona la primera placa intermedia en la pila de celdas de combustible, funciona como una pila de celdas de combustible de celda 45, a la vez que si se selecciona la segunda placa intermedia, la pila de celdas de combustible funciona como una pila de celdas de combustible de celda 40. La Figura 9B muestra cómo, al cambiar progresivamente a la placa intermedia correspondiente a la celda 45 primero y a la placa intermedia correspondiente a la celda 40 después, la pila de celdas de combustible puede adaptarse correcta y progresivamente al voltaje actual de la batería.

30 La pila 1 de celdas de combustible de la presente divulgación también permite, cuando se aplica a un sistema de alimentación híbrido, una combinación perfecta para baterías que simplifica la electrónica. La Figura 9B muestra cómo al usar una sola configuración de placa intermedia colocada en una pila de celdas 40 permitiría fusionar la potencia de la celda de combustible cuando la batería está por debajo de 30 V. También aseguraría que la celda de combustible pueda liberar su potencia nominal sin penalizar la batería cuando está configurada para celdas 50. En caso de que la batería comience a agotarse (por ejemplo, debido a que la demanda de potencia necesita más de lo que la celda de combustible puede suministrar por sí sola) cuando la batería alcanza el límite de 30 V, la celda de combustible puede cambiarse a su placa intermedia, por lo que continuaría liberando potencia sin incurrir en daños.

35 La pila 1 de celdas de combustible también permite compartir la potencia híbrida con la batería para todo el rango de la batería. En caso de que se requiera un uso compartido prolongado, la batería se puede agotar por completo sin dejar de tener una contribución a partir de la celda de combustible.

40 La Figura 10 representa la curva de descarga de la celda de la Figura 4 para diferentes velocidades C de descarga de una celda de batería de 5000 mAh. Esta figura también incluye tres líneas (40, 42, 44) punteadas las cuales indican el voltaje de tres pilas de celdas de combustible diferentes (pilas de celdas 40, celdas 45 y celdas 50 de combustible) cuando se someten a su carga nominal a 0.6 V/celda. Por debajo de este voltaje, la pila de celdas de combustible está bajo tensión. Las flechas indican la región en la cual las baterías pueden complementar la pila de celdas de combustible y, por lo tanto, el sistema híbrido puede funcionar correctamente. A medida que se descargan las baterías, su voltaje cae. Cuando el voltaje de la batería cae por debajo de una línea punteada, la pila de celdas de combustible correspondiente a la línea punteada se someterá a tensión, ya que se verá obligada a trabajar por debajo del voltaje nominal de 0.6 V/celda.

50 Por ejemplo, en el caso de la línea 40 punteada superior, el voltaje de la celda de batería con una velocidad de descarga de 5C se alcanzaría en el punto 46 cuando solo hayan gastado 2000 mAh de sus 5000 mAh totales (menos de la mitad su capacidad). Cuando el voltaje de la celda de batería 5C cae por debajo de la línea 40 punteada superior, sería aconsejable utilizar la primera placa intermedia correspondiente a la configuración de celdas 45. A partir de ese punto, la celda de batería 5C se conectaría efectivamente a una pila de celdas de combustible de celdas 45. De manera similar, cuando el voltaje de la celda de batería de 5C cae por debajo de la línea 42 punteada central (en el punto 48), sería aconsejable usar la segunda placa intermedia correspondiente a la configuración de celdas 40.

55 Por lo tanto, las regiones por encima de cada línea punteada en la Figura 10 corresponden a regiones de voltaje de batería en las cuales se puede realizar la hibridación de las dos fuentes de energía sin estresar la pila de celdas de combustible.

En la pila 1 de celdas de combustible de la presente divulgación, conmutar a un voltaje de placa intermedia dará como resultado un voltaje intermedio. El proceso de conmutación a una placa (6, 6') intermedia conductiva determinada se

realiza mediante una unidad 70 de control, como se muestra en la realización de ejemplo de la Figura 11. La unidad 70 de control gestiona la hibridación entre una batería 50 y una pila 1 de celdas de combustible equipada con dos placas (6, 6') intermedias. La batería 50 debe entenderse como una fuente de energía eléctrica que comprende una o más celdas electroquímicas (la batería 50 puede estar formada por una asociación de baterías conectadas en serie y/o en paralelo). El sistema 90 de alimentación híbrido, formado por la batería 50, la pila 1 de celdas de combustible y la unidad de control, alimenta una carga 60.

El polo positivo de la pila 1 de celdas de combustible (es decir, la primera placa 2 de extremo conductiva) está conectado directamente a la carga 60 pero controlado por un primer conmutador 80 que puede abrirse o cerrarse a través de la unidad 70 de control. El polo negativo de la pila 1 de celdas de combustible (es decir, la segunda placa 3 de extremo conductiva) está conectado a tierra. Cada placa (6, 6') intermedia también está conectada directamente a la carga 60 a través de un conmutador de placa intermedia (en el ejemplo de la Figura 11, el primer conmutador 82 de placa intermedia y el segundo conmutador 84 de placa intermedia), el cual a su vez también es operado por la unidad 70 de control.

Por lo tanto, la potencia de salida de la pila 1 de celdas de combustible tiene al menos dos conmutadores de control, un primer conmutador 80 para seleccionar la totalidad de la pila de celdas de combustible y al menos un conmutador (82, 84) de placa intermedia para seleccionar una pila de celdas de combustible reducida formada por una o más sub-pilas 5. Por otro lado, la batería 50 está conectada a la carga 60 y a la salida de la pila 1 de celdas de combustible a través de un conmutador 86 de batería también operado por la unidad 70 de control.

La unidad 70 de control recibe lecturas del voltaje de la batería (Vbat), el voltaje de la totalidad la pila (V1) de celdas de combustible y los voltajes de las sub-pilas (V2, V3). Dependiendo de los valores de estos voltajes, la unidad 70 de control activará uno u otro conmutador para permitir el flujo de potencia a la carga 60 a partir de:

- La totalidad de la pila de celdas de combustible, activando solo el primer conmutador 80.

- La batería 50, activando solo el conmutador 86 de batería.

- Una pila de celdas de combustible reducida que corresponde al voltaje de una placa (6, 6') intermedia, activando el conmutador asociado a dicha placa (6, 6') intermedia. De esta forma, el primer conmutador 82 de placa intermedia se activaría para seleccionar el voltaje de la primera placa 6 intermedia. Del mismo modo, el segundo conmutador 84 de placa intermedia se activaría para seleccionar el voltaje de la segunda placa 6' intermedia.

- La batería 50 y la pila 1 de celdas de combustible, activando el conmutador 86 de batería junto con un conmutador de la pila de celdas de combustible (ya sea el primer conmutador 80 o cualquier conmutador (82, 84) de placa intermedia).

La Figura 12 representa una realización de un control 100 del proceso de conmutación para el sistema 90 de alimentación híbrido de la Figura 11. El control 100 del proceso de conmutación comienza con la activación del primer conmutador 80 (conmutador 1), para alimentar la carga 60 con solo la potencia de salida de la totalidad la pila 1 de celdas de combustible. Luego, el control 70 de la unidad verifica 104 si el voltaje de la totalidad de la pila (V1) de celdas de combustible es más bajo que el voltaje de la batería (Vbat). En ese caso, la unidad 70 de control activa 106 el conmutador 86 de batería para complementar la pila 1 de celdas de combustible con la potencia proporcionada por la batería 50. Por el contrario, si el voltaje de la totalidad de la pila (V1) de celdas de combustible es más alto que el voltaje de la batería (Vbat), la totalidad de la pila de celdas de combustible continúa alimentando la carga 60 sola (el primer conmutador 80 permanece cerrado 102, el conmutador 86 de batería permanece abierto 108).

Después de activar 106 el conmutador 86 de batería, la unidad 70 de control verifica 110 si el voltaje de la totalidad de la pila (V1) de celdas de combustible es más bajo que un límite inferior seguro. En una realización, el límite inferior seguro corresponde a un voltaje límite de celda (por ejemplo, 0.6 V) multiplicado por el número de celdas X de la totalidad de la pila 1 de celdas de combustible (celdas 50 en el ejemplo de la Figura 9B y la Figura 10), para verificar si el voltaje de cada celda de combustible cae por debajo del voltaje límite de celda de 0.6 V. Si el voltaje es de hecho más pequeño, en la etapa 112 el tamaño efectivo de la pila de celdas de combustible se reduce abriendo el primer conmutador 80 (conmutador 1) y cerrando el primer conmutador 82 de placa intermedia (conmutador 2), el cual está conectado a la primera placa 6 intermedia. Sin embargo, si la totalidad de la pila 1 de celdas de combustible aún no ha alcanzado el umbral de 0.6 V por celda, la unidad 70 de control vuelve a la etapa 104 para verificar si se necesita la batería, ya que puede haber una reducción en el voltaje de la batería (Vbat) que haría innecesaria la potencia adicional de la batería.

El proceso básico para una sola placa 6 intermedia finaliza en la etapa 112, ejecutándose iterativamente para verificar en primera instancia si se requiere la batería 50 y, en las etapas posteriores, si se necesita conmutar a otra placa 6' intermedia, dependiendo del voltaje de la batería (Vbat) y el voltaje de la pila de celdas de combustible efectiva. La pila de celdas de combustible efectiva está formada por las celdas de combustible apiladas entre la segunda placa 3 de extremo y la placa intermedia activa (es decir, la placa intermedia a la cual el conmutador asociado se ha activado). Por lo tanto, en el ejemplo de la Figura 12, después de que el primer conmutador 82 de placa intermedia se haya activado en la etapa 112, la unidad 70 de control verifica 114 si el voltaje de la pila de celdas de combustible reducida (voltaje V2 correspondiente a la primera placa intermedia) es más bajo que un límite inferior seguro para la pila

reducida (un voltaje límite de celda de 0.6 V multiplicado por el número de celdas Y de la pila de celdas de combustible reducida formada por celdas 45 en el ejemplo de la Figura 9B y la Figura 10). En ese caso, en la etapa 116, el tamaño efectivo de la pila de celdas de combustible se reduce nuevamente activando el segundo conmutador 86 de la placa intermedia (conmutador 3), el cual está conectado a la segunda placa 6' intermedia, y abriendo el primer conmutador 82 de placa intermedia. Sin embargo, si la pila de celdas de combustible efectiva aún no ha alcanzado el umbral de 0.6 V por celda, la unidad 70 de control regresa a la etapa 110 para verificar si es posible regresar a la primera placa 6 intermedia (es decir, una pila de celdas de combustible efectiva con más celdas).

En caso de que haya más placas intermedias, después de conectar una placa intermedia a la carga 60, la unidad 70 de control verifica si el voltaje correspondiente a la placa intermedia activa es más bajo a un umbral (por ejemplo, 0.6 V por celda), y en ese caso conecta la siguiente placa intermedia a la carga 60.

Para resumir, en el control del proceso de conmutación, la unidad 70 de control primero verifica si es necesario complementar la totalidad de la pila 1 de celdas de combustible con la batería 50 y, de ser así, la unidad 70 de control sigue verificando si es necesario seleccionar una placa intermedia posterior de tal modo que el voltaje de la pila de celdas de combustible reducida sea mayor de 0.6 voltios por celda. Cada vez que se demuestra que el voltaje de la celda de la pila de celdas de combustible efectiva es superior a 0.6 V/celda, el algoritmo avanza en la dirección inversa para verificar si es posible regresar a una pila superior (es decir, una pila de celdas de combustible efectiva con más celdas), e incluso si es viable desconectar 108 la batería 50.

La Figura 13 representa otra realización de la pila 1 de celdas de combustible con diversas placas (6, 6') intermedias conductivas con uno o más terminales (11, 11') de contacto. A diferencia de los ejemplos que se muestran en las Figuras 7 y 8, en este caso particular, la pila 1 de celdas de combustible no está formada por una sucesión de las pilas 5 de sub-celdas de la Figura 6. En cambio, la pila 1 de celdas de combustible comprende una pluralidad de celdas 7 de combustible individuales conectadas en serie y una placa 12 bipolar dispuesta entre celdas 7 de combustible consecutivas.

En la realización de la Figura 13, las placas (6, 6') intermedias conductivas están dispuestas entre las celdas 7 de combustible adyacentes, y más específicamente, entre la placa 12 bipolar en contacto con una celda 7 de combustible y el cátodo 8 de una celda 7 de combustible adyacente. De manera similar, las placas (6, 6') intermedias conductivas pueden estar dispuestas entre la placa 12 bipolar en contacto con una celda 7 de combustible y el ánodo 9 de una celda 7 de combustible adyacente.

En otra realización, como la que se ilustra en la Figura 14, la placa (6, 6') intermedia conductiva puede reemplazar una placa 12 bipolar, de tal modo que la placa (6, 6') intermedia conductiva proporciona la función de una placa 12 bipolar y también proporciona un terminal (11, 11') de contacto a través del cual una unidad 70 de control puede seleccionar un voltaje diferente de la pila 1 de celdas de combustible. En esta realización particular, la placa (6, 6') intermedia conductiva se apila en contacto con el cátodo (8) de una celda (7) de combustible y con el ánodo (9) de una celda (7) de combustible adyacente. Alternativamente, la placa (6, 6') intermedia conductiva puede estar formada por una placa 12 bipolar que incorpora al menos un terminal de contacto (por ejemplo, una o más pestañas 11 conductivas, aletas o terminales de soldadura) que se extienden o sobresalen a partir de la placa 12 bipolar, permitiendo configurar una conexión por cable (por ejemplo, mediante soldadura).

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de alimentación híbrido para alimentar una carga (60), comprendiendo el sistema (90) de alimentación híbrido una batería (50), una pila (1) de celdas de combustible y una unidad (70) de control, comprendiendo la pila (1) de celdas de combustible:
 - 5 primera (2) y segunda (3) placas de extremo conductivas con terminales (4) de contacto, y una pluralidad de celdas (7) de combustible conectadas eléctricamente en serie y apiladas entre las placas (2, 3) de extremo conductivas; caracterizado porque la pila (1) de celdas de combustible comprende además al menos una placa (6, 6') intermedia conductiva con al menos un terminal (11, 11') de contacto, cada placa (6, 6') intermedia conductiva se apila entre celdas (7) de combustible adyacentes; en donde la unidad (70) de control está configurada para:
 - 15 seleccionar un voltaje de operación de la pila (1) de celdas de combustible obtenido a partir de los terminales (4, 11, 11') de contacto de al menos una placa (6, 6') intermedia conductiva y las placas (2, 3) de extremo conductivas cuando el sistema (90) de alimentación híbrido alimenta la carga (60), en donde la unidad (70) de control está configurada para seleccionar el voltaje de operación de la pila (1) de celdas de combustible dependiendo de los valores de los voltajes (V1, V2, V3) en los terminales (4, 11, 11') de contacto de la pila (1) de celdas de combustible; comparar (110, 114) el voltaje de operación seleccionado de la pila (1) de celdas de combustible que alimenta la carga (60) con un límite inferior seguro; si el voltaje de operación actual es inferior al límite más bajo seguro, seleccionar (112, 116) un voltaje de operación más bajo, obtenido a partir de los terminales (4, 11, 11') de contacto de la al menos una placa (6, 6') intermedia conductiva y las placas (2, 3) de extremo conductivas, para alimentar la carga (60).
 2. El sistema de alimentación híbrido de la reivindicación 1, en donde el límite inferior seguro es un valor proporcional al número de celdas de combustible activas que alimentan la carga (60).
 3. El sistema de alimentación híbrido de cualquier reivindicación precedente, que comprende además una pluralidad de conmutadores (82, 84, 86) que conectan la carga (60) con los terminales (11, 11') de contacto de la placa (6, 6') intermedia conductiva y al menos un terminal (4) de contacto de las placas (2, 3) de extremo conductivas de la pila (1) de celdas de combustible, en donde la unidad (70) de control está configurada para operar los conmutadores (82, 84, 86) para seleccionar el voltaje de operación de la pila (1) de celdas de combustible utilizado para alimentar la carga (60).
 4. El sistema de alimentación híbrido de cualquier reivindicación precedente, que comprende además un conmutador (86) de batería que conecta la carga (60) con la batería (50), en donde la unidad (70) de control está configurada para operar el conmutador (86) de la batería dependiendo de los valores de voltaje (Vbat) de la batería (50) y el voltaje de operación de la pila (1) de celdas de combustible.
 5. El sistema de alimentación híbrido de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la pila (1) de celdas de combustible comprende una pluralidad de sub-pilas (5) de celdas de combustible conectadas en serie, cada sub-pila (5) de celdas de combustible comprende al menos una celda (7) de combustible, y en donde cada placa (6, 6') intermedia conductiva está configurada para apilarse entre un par de sub-pilas (5) de celdas de combustible adyacentes.
 6. El sistema de alimentación híbrido de la reivindicación 5, en donde cada sub-pila (5) de celdas de combustible de la pila (1) de celdas de combustible comprende una pluralidad de placas (12, 12') bipolares y al menos una celda (7) de combustible, cada celda (7) de combustible se apila entre un par de placas (12, 12') bipolares.
 7. El sistema de alimentación híbrido de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la pila (1) de celdas de combustible comprende además una pluralidad de placas (12) bipolares, estando dispuesta cada placa (12) bipolar entre celdas (7) de combustible adyacentes, en donde cada placa (6, 6') intermedia conductiva está configurada para apilarse en contacto con una placa (12) bipolar y el cátodo (8) o el ánodo (9) de una celda (7) de combustible.
 8. El sistema de alimentación híbrido de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la pila (1) de celdas de combustible comprende además una pluralidad de placas (12) bipolares, estando dispuesta cada placa (12) bipolar entre celdas (7) de combustible adyacentes, en donde cada placa (6, 6') intermedia conductiva está configurada para apilarse en contacto con el cátodo (8) de una celda (7) de combustible y el ánodo (9) de una celda (7) de combustible adyacente.
 9. El sistema de alimentación híbrido de cualquier reivindicación precedente, en donde cada terminal (11, 11') de contacto de la placa (6, 6') intermedia conductiva de la pila (1) de celdas de combustible comprende una o más pestañas conductivas que sobresalen a partir de la pila (1) de celdas de combustible.

10. El sistema de alimentación híbrido de la reivindicación 9, en donde la placa (6, 6') intermedia conductiva de la pila (1) de celdas de combustible comprende una placa (12) bipolar y una o más pestañas (11, 11') conductivas que sobresalen de la placa (12) bipolar.
- 5 11. El sistema de alimentación híbrido de cualquier reivindicación precedente, en donde la pila (1) de celdas de combustible comprende además una placa (13, 14) de extremo colocada en cada extremo de la pila (1) de celdas de combustible.
12. Un método para controlar un sistema de alimentación híbrido que comprende una batería (50) y una pila (1) de celdas de combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11;
- caracterizado porque el método comprende:
- 10 seleccionar un voltaje de operación de la pila (1) de celdas de combustible, obtenido a partir de los terminales (4, 11, 11') de contacto de las placas (2, 3) de extremo conductivas y al menos una placa (6, 6') intermedia conductiva apilada entre celdas (7) de combustible adyacentes cuando el sistema (90) de alimentación híbrido está alimentando una carga (60), en donde el voltaje de operación de la pila (1) de celdas de combustible se selecciona dependiendo de los valores de los voltajes (V1, V2, V3) en los terminales (4, 11, 11') de contacto de la pila (1) de celdas de combustible;
- 15 comparar (110, 114) el voltaje de operación seleccionado de la pila (1) de celdas de combustible que alimenta la carga (60) con un límite más bajo seguro;
- si el voltaje de operación actual es inferior al límite más bajo seguro, seleccionar (112, 116) un voltaje de operación más bajo, obtenido a partir de los terminales (4, 11, 11') de contacto de al menos una placa (6, 6') intermedia conductiva y las placas (2, 3) de extremo conductivas, para alimentar la carga (60).
- 20 13. El método de la reivindicación 12, en donde el límite más bajo seguro es un valor proporcional al número de celdas de combustible activas que alimentan la carga (60).
14. El método de la reivindicación 12 o 13, que comprende:
- comparar (104) el voltaje de la totalidad de la pila (V1) de celdas de combustible con el voltaje de la batería (Vbat);
- 25 si el voltaje de la totalidad de la pila (V1) de celdas de combustible es más bajo que el voltaje de la batería (Vbat), activar (106) un conmutador (86) de batería para alimentar la carga (60) con la energía provista por la batería (50).

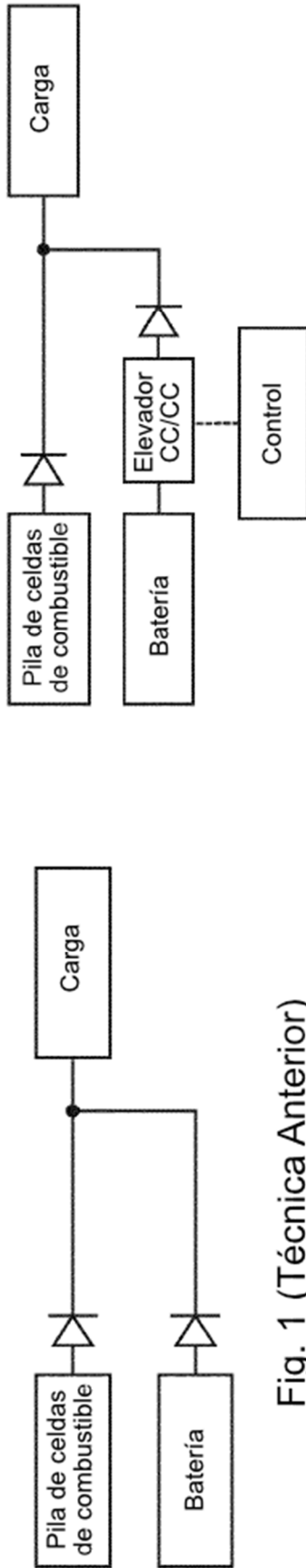


Fig. 1 (Técnica Anterior)

Fig. 2 (Técnica Anterior)

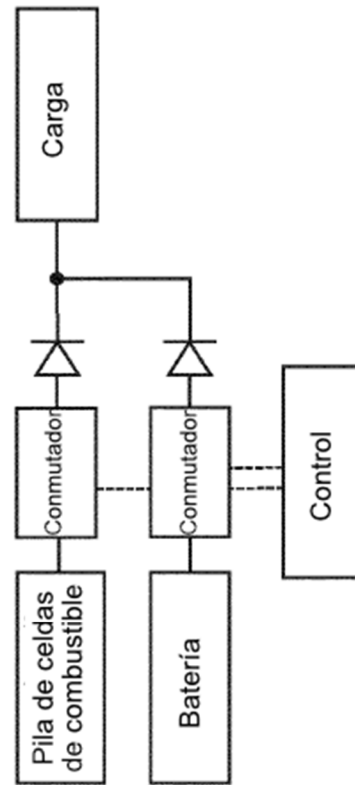


Fig. 3 (Técnica Anterior)

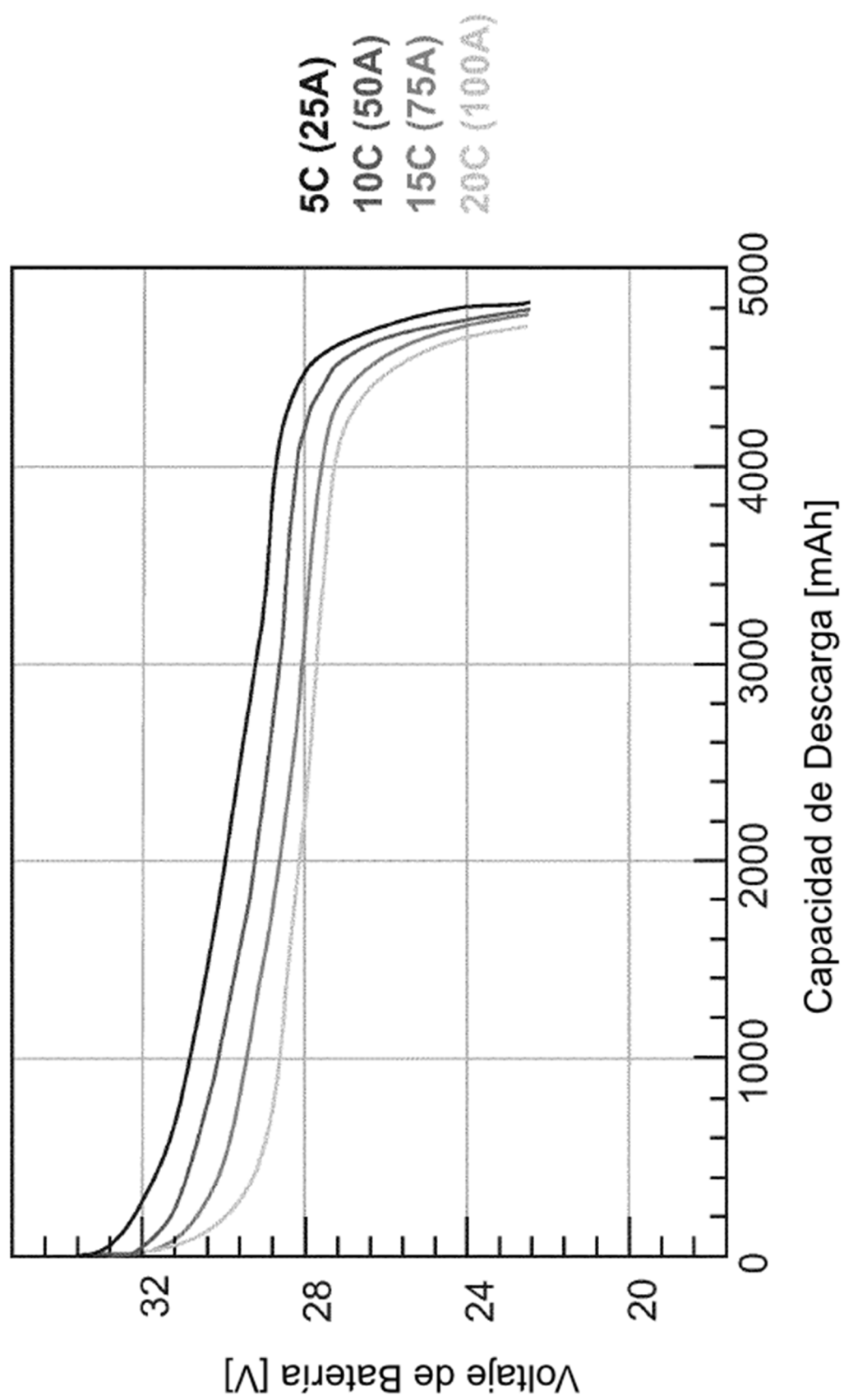


Fig. 4 (Técnica Anterior)

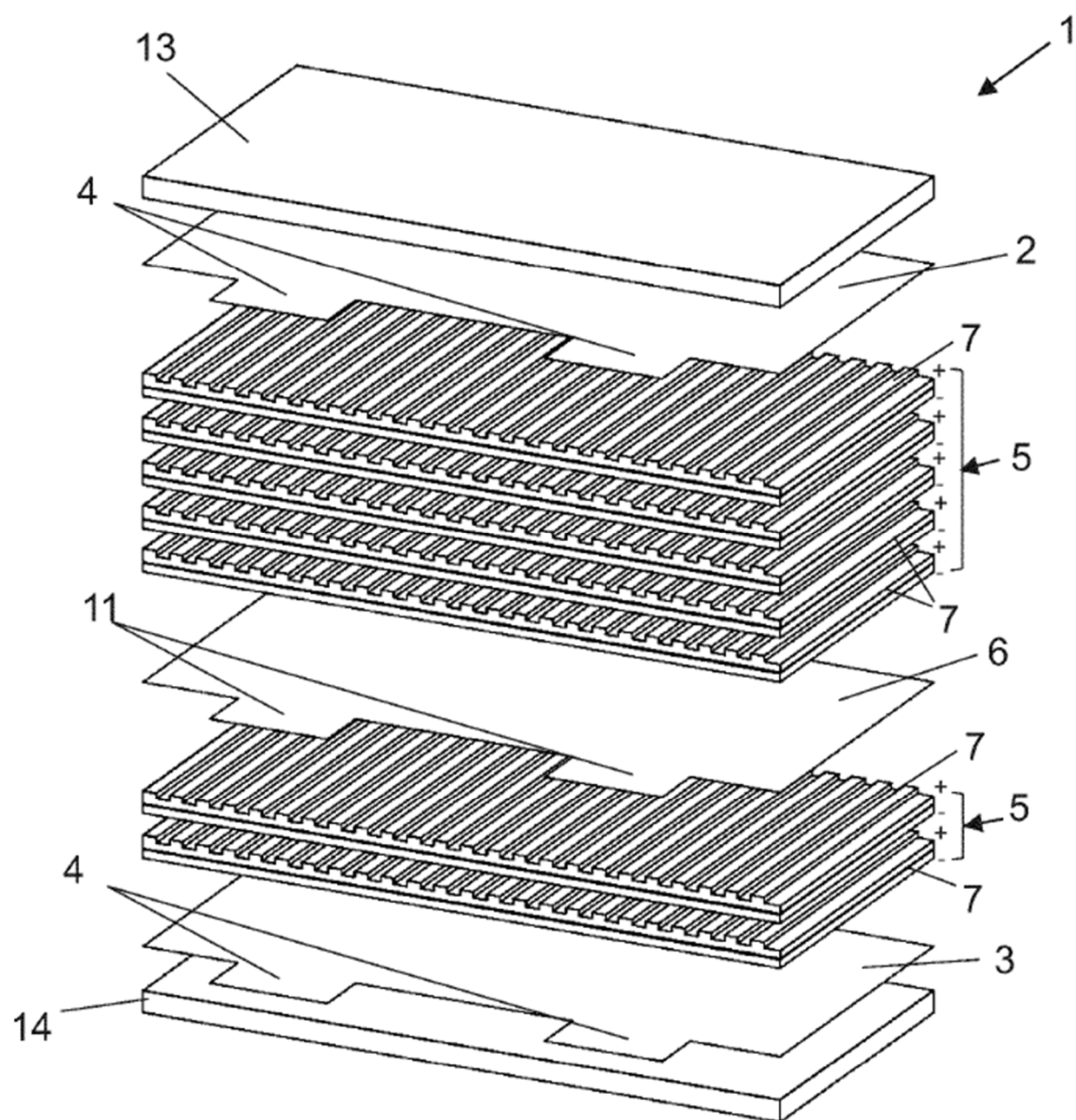


Fig. 5

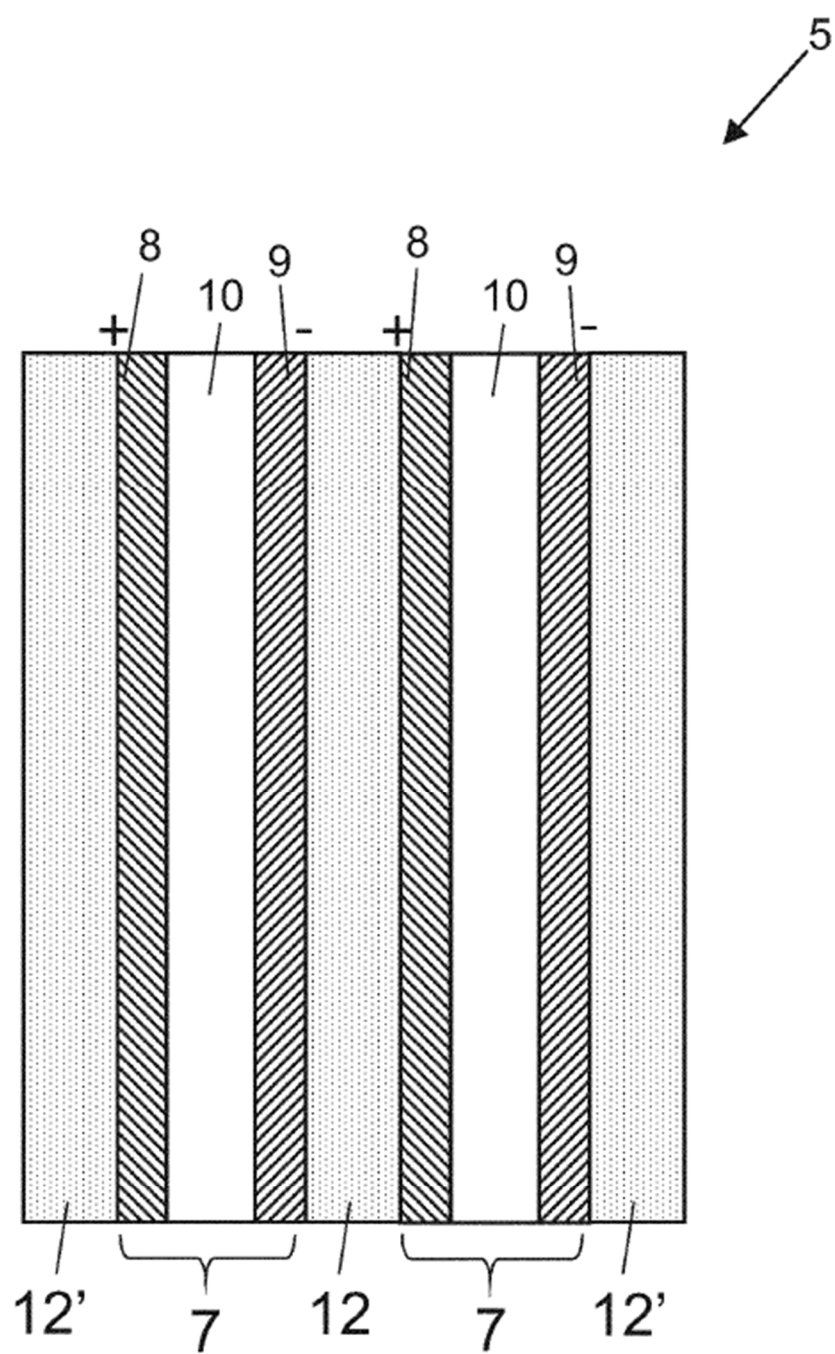


Fig. 6

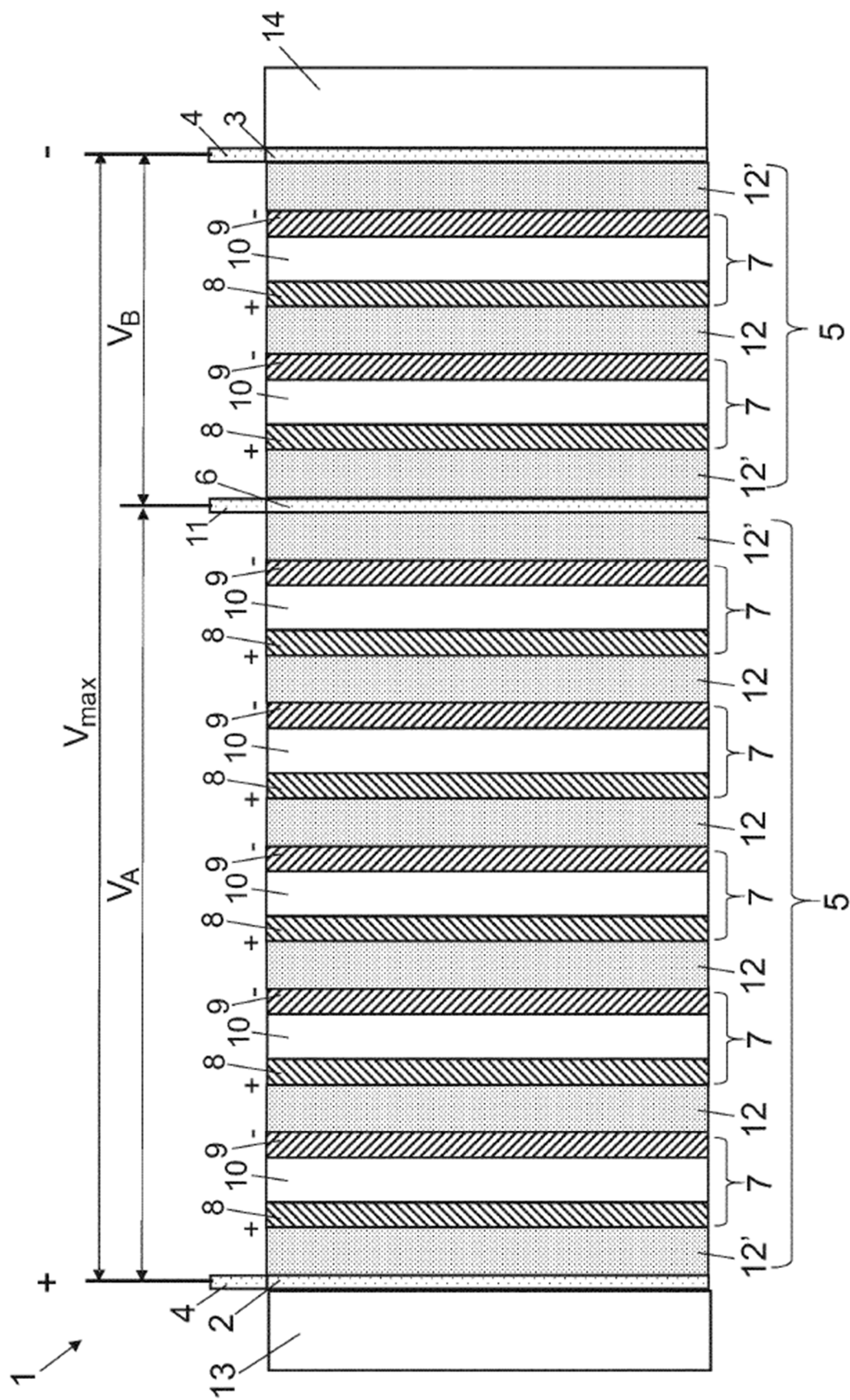


Fig. 7

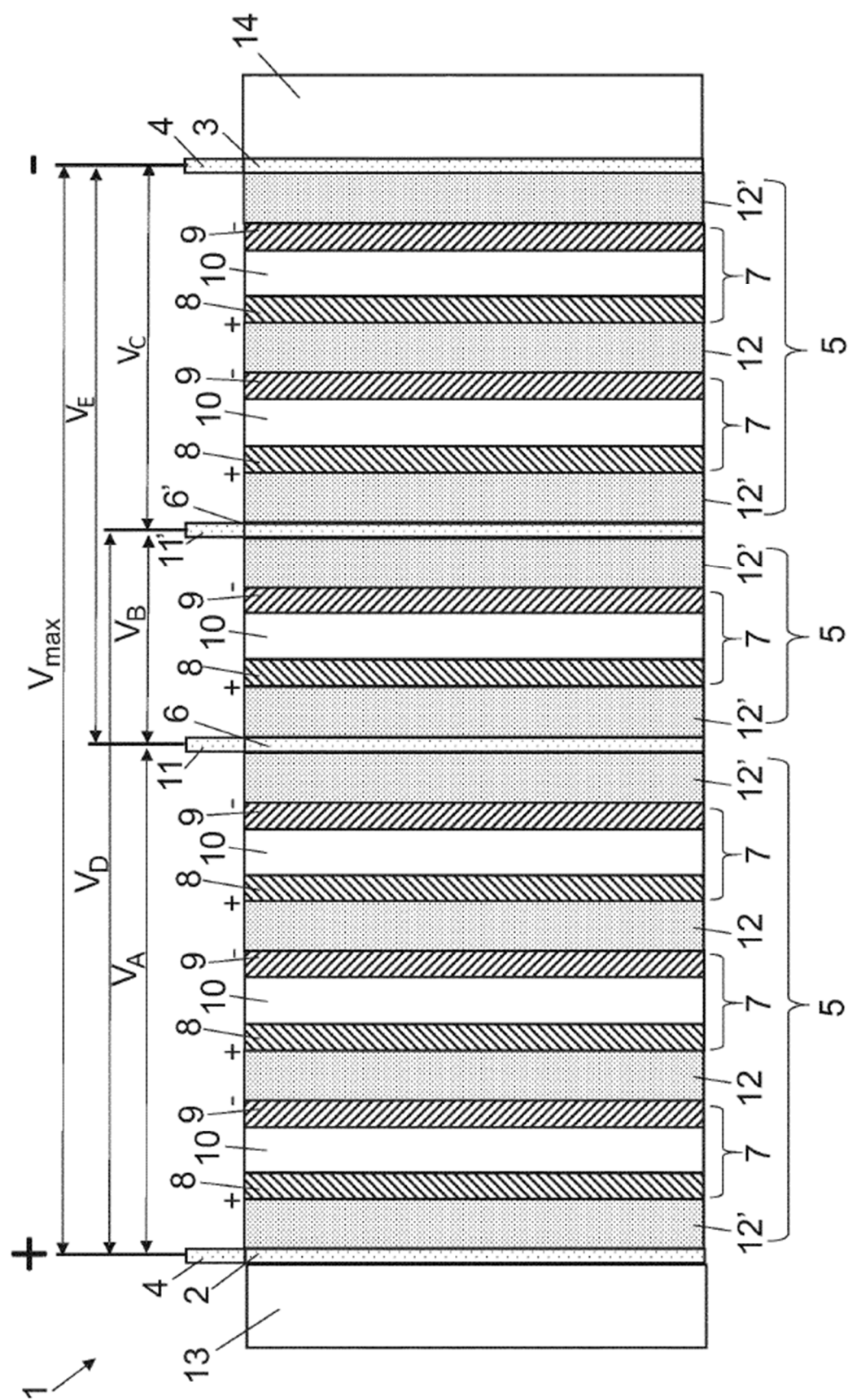


Fig. 8

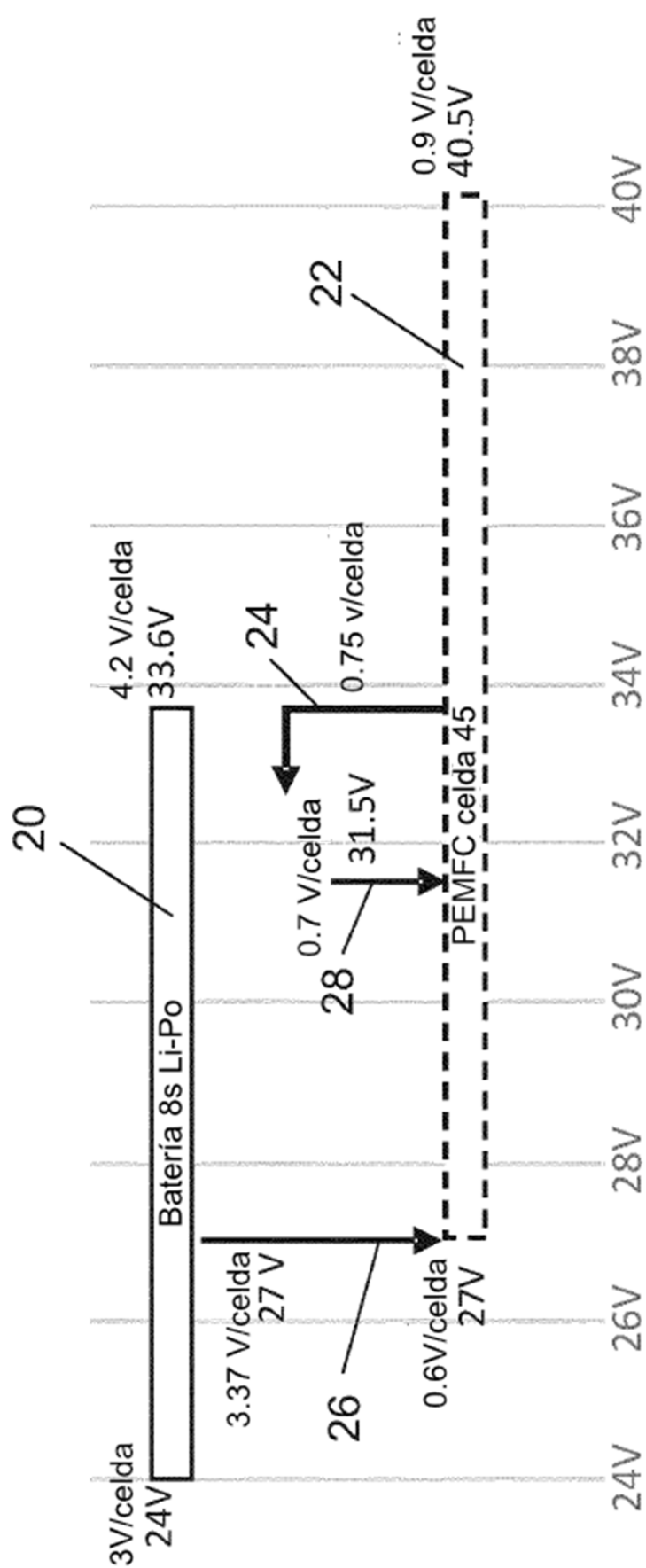


Fig. 9A

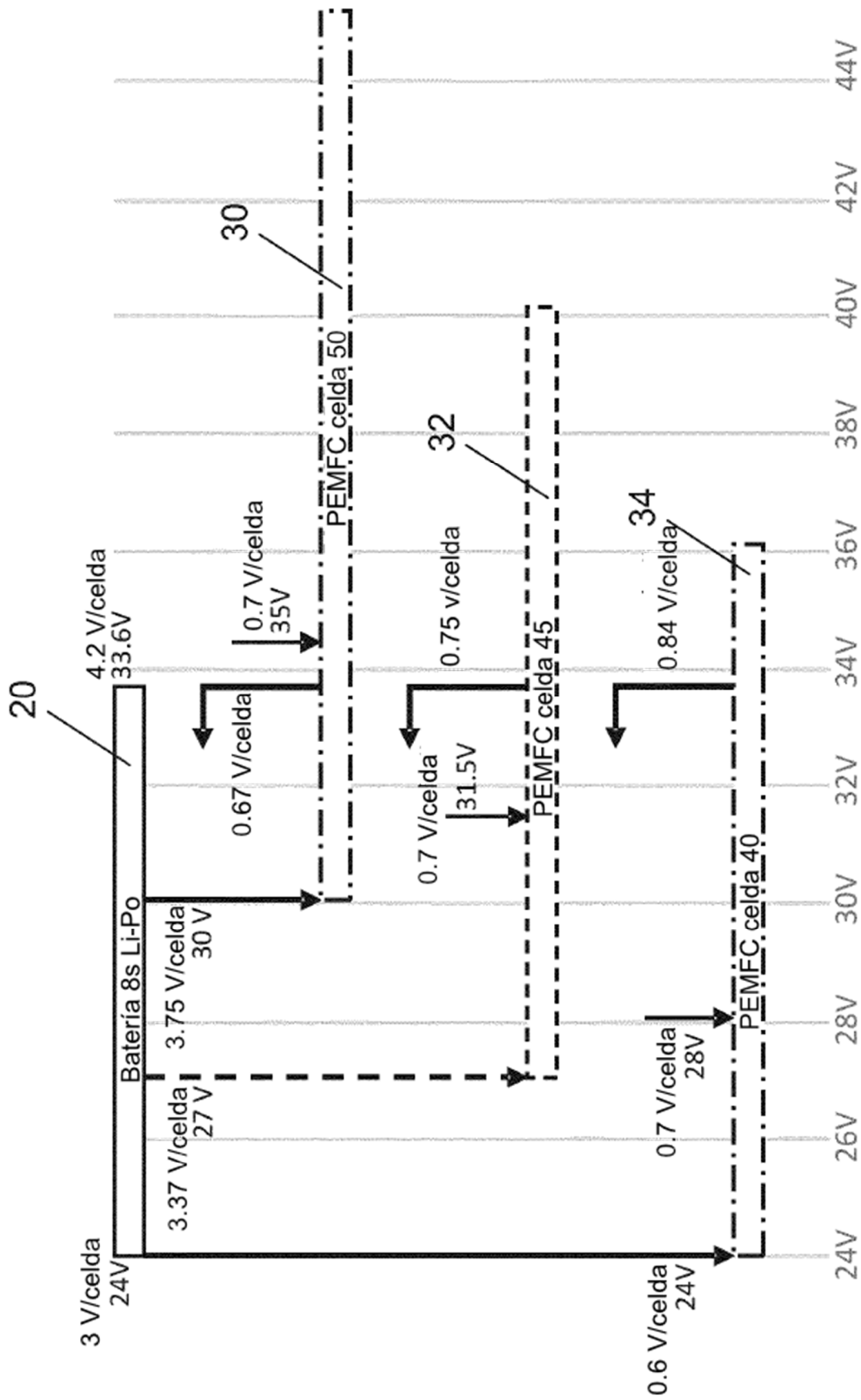


Fig. 9B

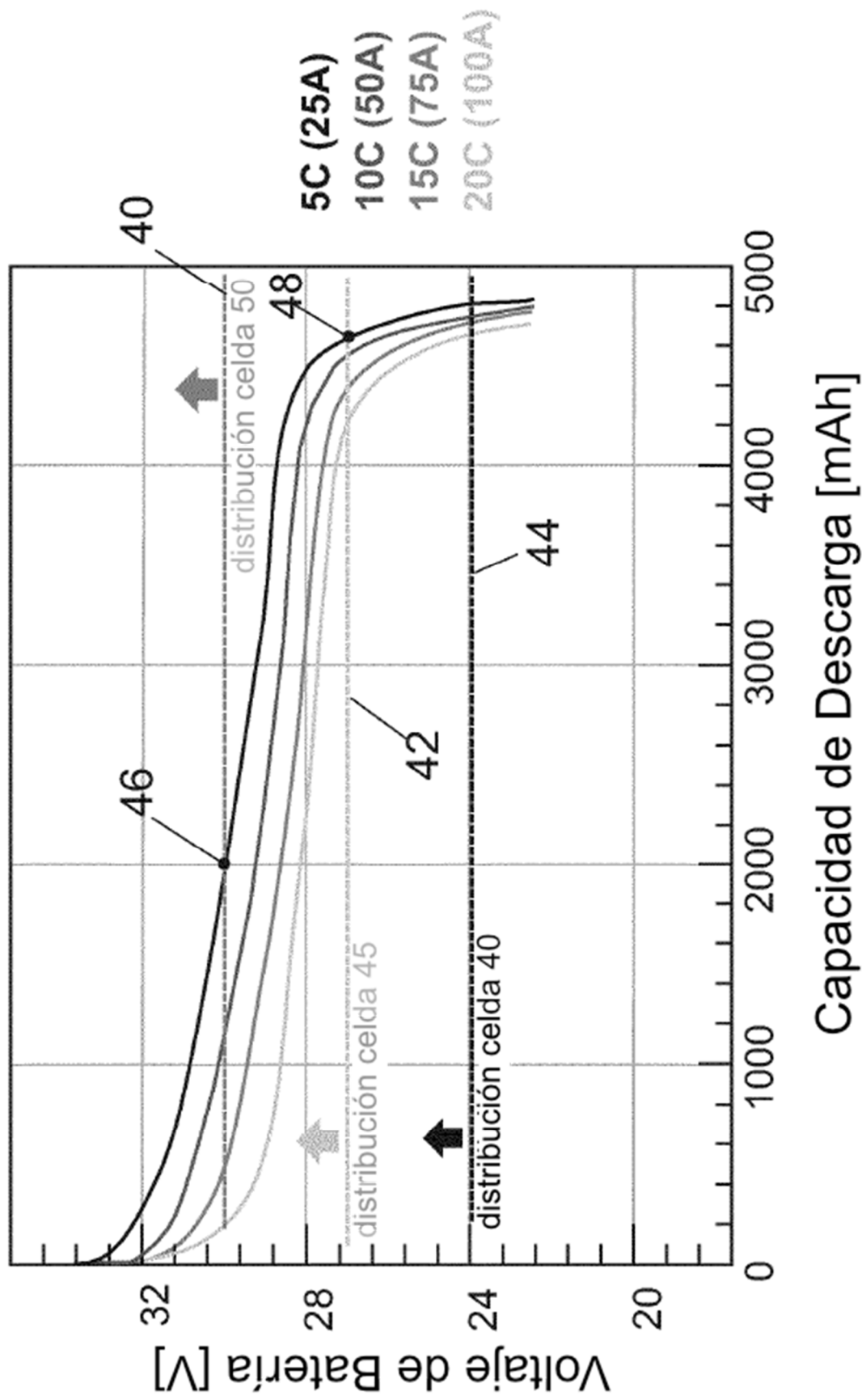


Fig. 10

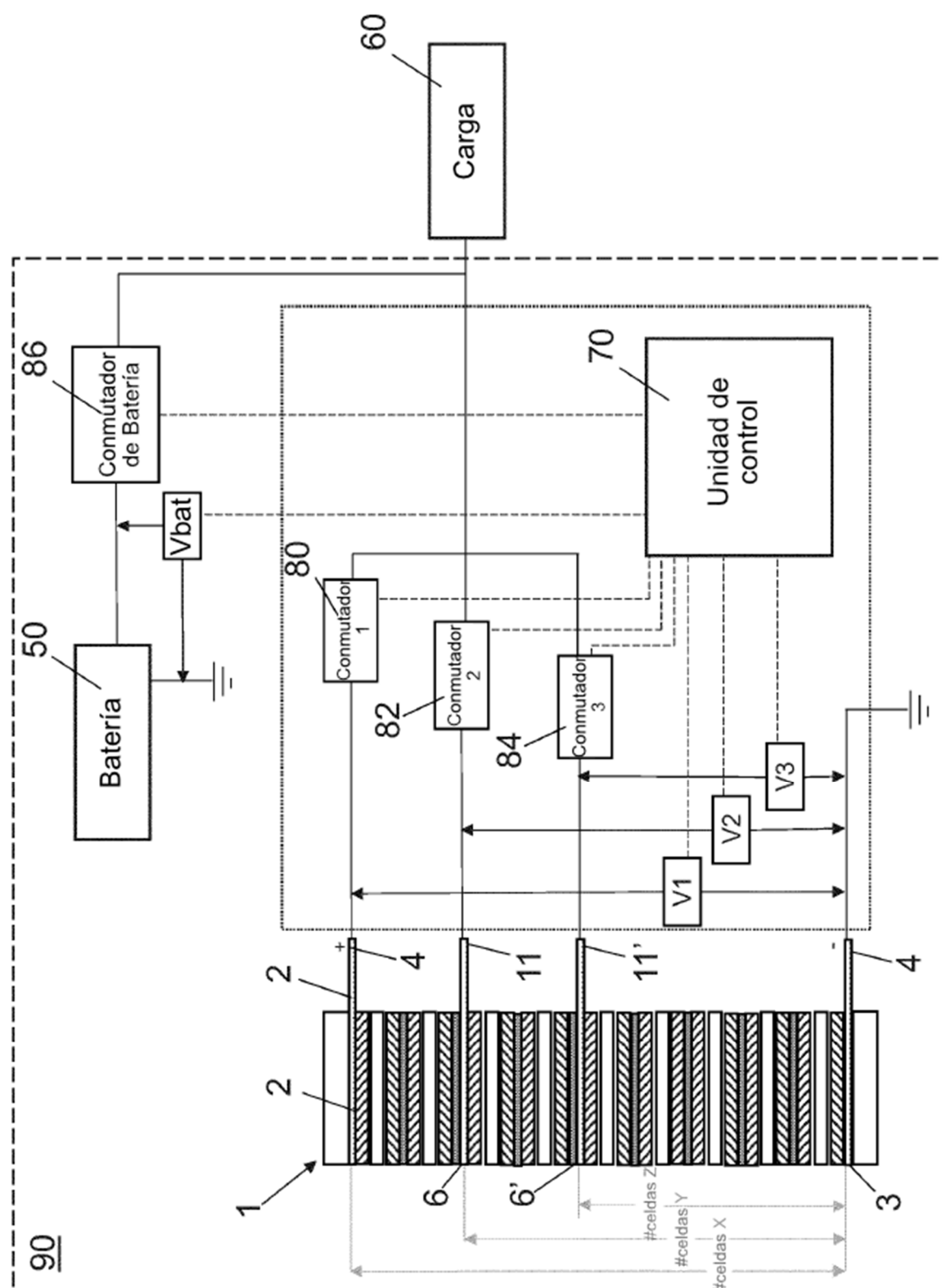


Fig. 11

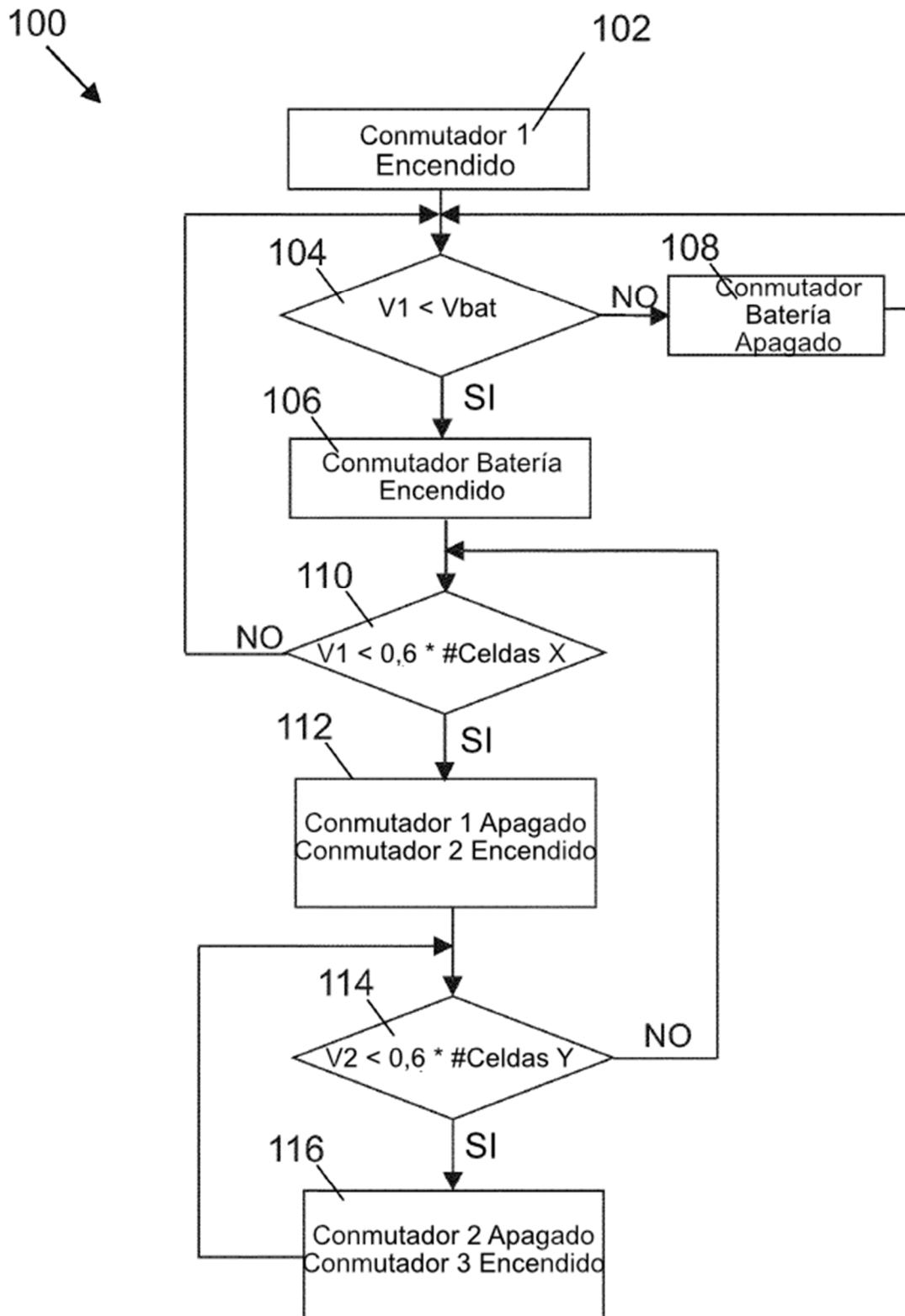


Fig. 12

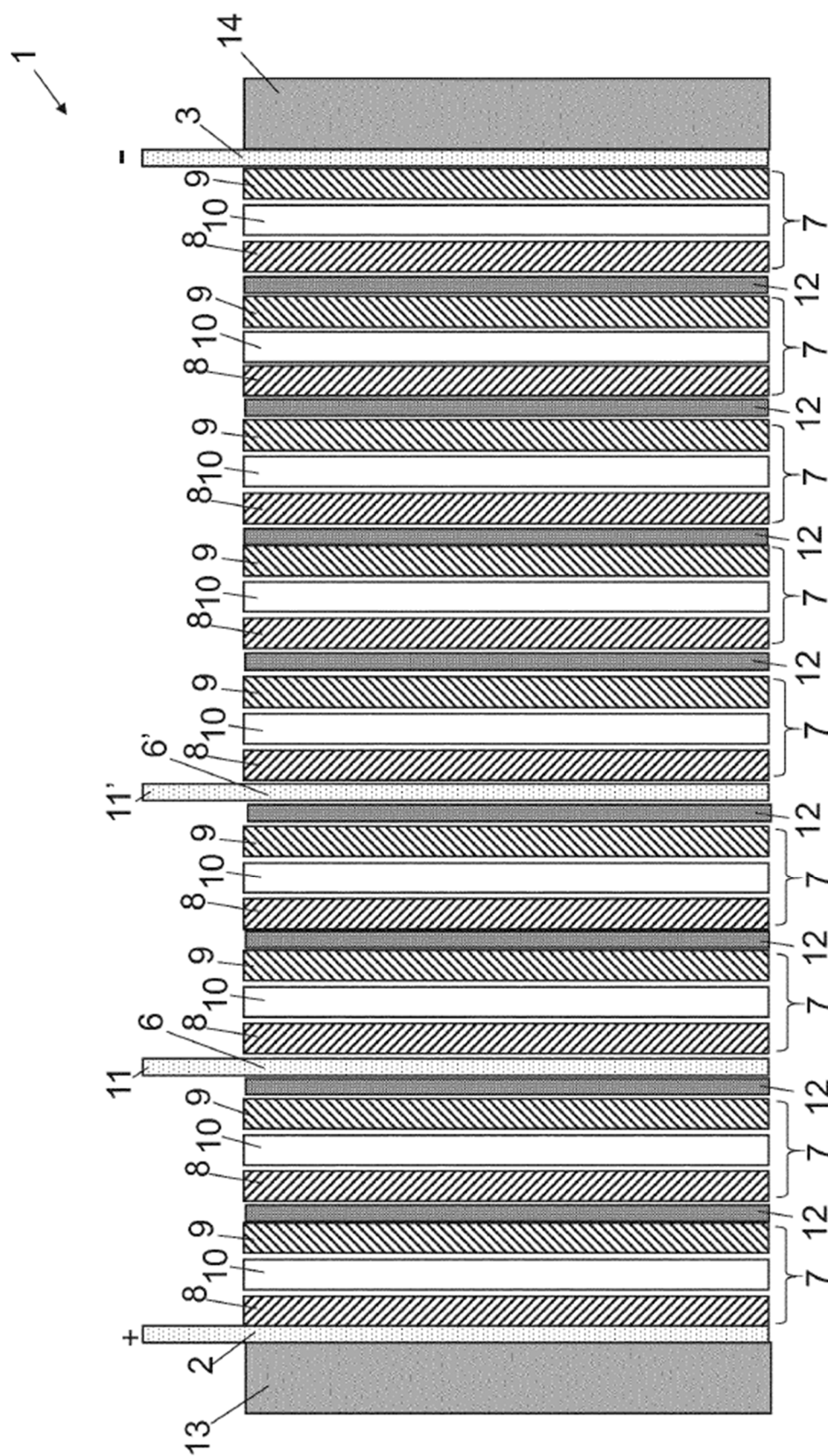


Fig. 13

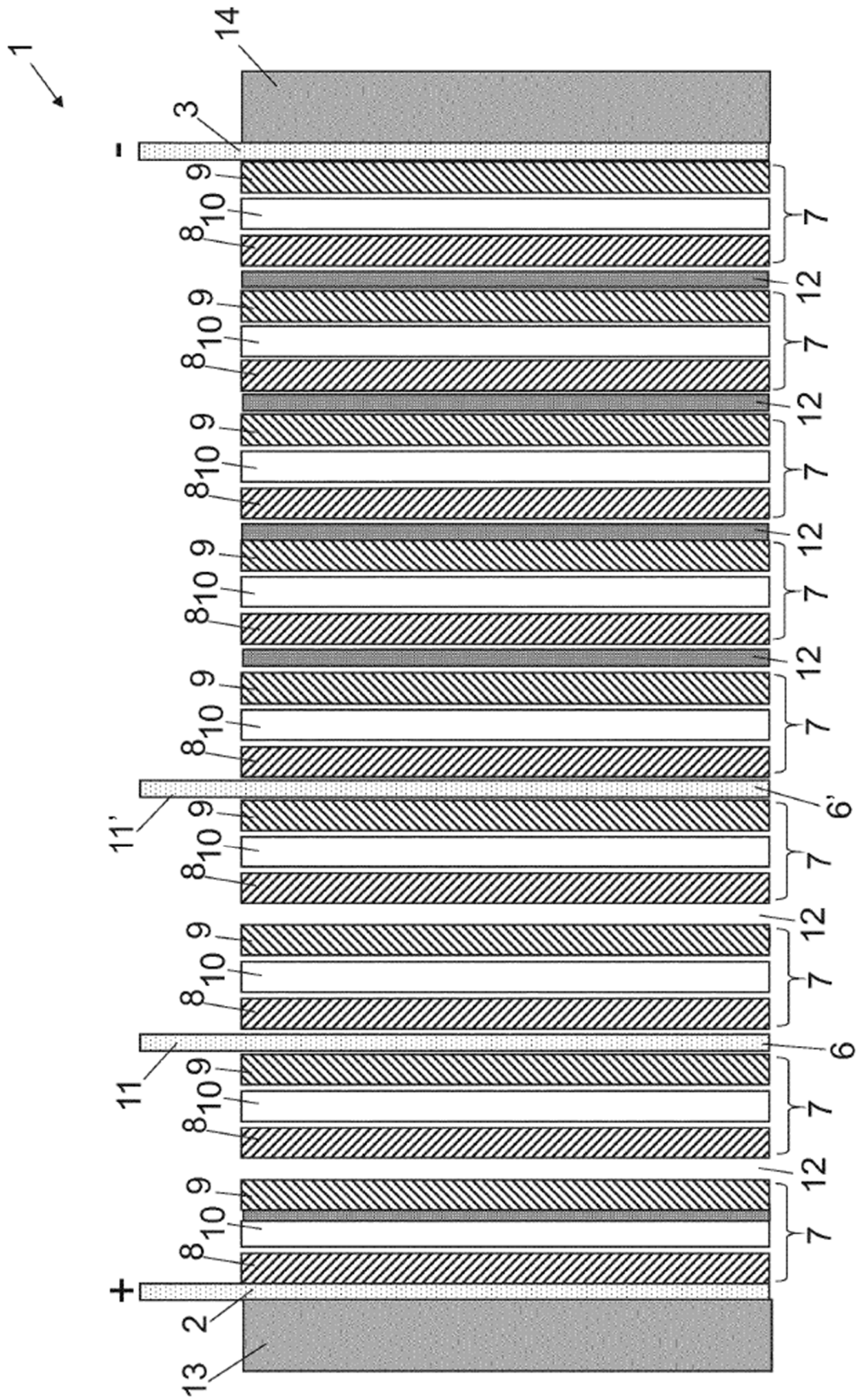


Fig. 14