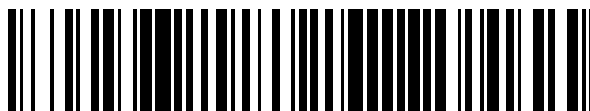


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 438 007**

51 Int. Cl.:

**H01M 16/00** (2006.01)

**H01M 8/04** (2006.01)

**H01M 8/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.11.2009 E 09175547 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2013 EP 2320504**

54 Título: **Procedimiento de funcionamiento de un suministro eléctrico híbrido pasivo por célula de combustible/batería**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.01.2014**

73 Titular/es:

**BELENOS CLEAN POWER HOLDING AG (100.0%)  
Seevorstadt 6  
2502 Bienne, CH**

72 Inventor/es:

**BERNARD, JÉRÔME;  
HOFER, MARCEL;  
BUECHI, FÉLIX y  
DIETRICH, PHILIPP**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 438 007 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

Procedimiento de funcionamiento de un suministro eléctrico híbrido pasivo por célula de combustible/batería

## 5 SECTOR DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un procedimiento para limitar el voltaje de salida de un suministro eléctrico híbrido pasivo de célula de combustible/batería que funcione en condiciones de carga cero o próximas a la misma, de manera no supere el límite superior de voltaje de la batería sin que sea necesario parar la célula de combustible o desconectarla de la batería. La invención se refiere más particularmente a un procedimiento en el que las células de combustible del suministro eléctrico son del tipo diseñado para utilizar hidrógeno como combustible y oxígeno puro como oxidante.

## 15 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Las células de combustible electroquímicas del tipo anteriormente mencionado, convierten reactivos químicos, a saber, una corriente de hidrógeno y una corriente de oxígeno, en potencia eléctrica y agua. Las células de combustible con membrana de intercambio de protones (PEMFC) comprenden de manera general una membrana sólida de un electrolito polímero dispuesta entre dos capas porosas de electrodos conductores eléctricamente, a efectos de formar un conjunto de electrodo de membrana (MEA). Para inducir la reacción electroquímica deseada, el electrodo del ánodo y el electrodo del cátodo comprenden cada uno de ellos uno o varios catalizadores. Estos catalizadores están dispuestos de manera típica en el interfaz membrana/capa del electrodo.

En el ánodo, el hidrógeno se desplaza a través de la capa del electrodo poroso y es oxidado por el catalizador produciendo protones y electrones. Los protones emigran a través del electrolito de polímero sólido hacia el cátodo. Por su parte, el oxígeno se desplaza a través del cátodo poroso y reacciona con los protones que atraviesan la membrana en el electrocatalizador del cátodo. Los electrones se desplazan desde el ánodo al cátodo a través de un circuito externo, produciendo corriente eléctrica.

La figura 1 muestra, según una con piezas desmontadas, una pila de células de combustible con membrana de intercambio de protones 10 de la técnica anterior. La pila 10 comprende un par de conjunto de placas extremas 15, 20 y una serie de conjuntos de células de combustible 25. En este ejemplo específico, unas barras de sujeción eléctricamente aislantes 30 se extienden entre los conjuntos de placas extremas 15, 20 para retener y fijar un conjunto de placas 10 en su situación de montaje con tuercas de fijación 32. Los resortes 34 roscados sobre las barras de fijación 30 interpuestos entre las tuercas de fijación 32 y la placa extrema 20, aplican una fuerza de compresión elástica a la pila 30 en dirección longitudinal. Se suministran corrientes de reactivo y refrigerante fluido a colectores internos y pasos del apilamiento 10, y se extraen de los mismos, mediante aberturas de entrada y salida (no mostradas) en la placa extrema 15.

Cada uno de los conjuntos de células de combustible 25 comprende una placa de campo de flujo de ánodo 35, una placa de campo de flujo de cátodo 40 y un MEA 45 interpuesto entre ambas placas 35 y 40. Las placas de campo de flujo de ánodo y cátodo 35 y 40 están realizadas en un material eléctricamente conductor y actúan como conductores de corriente. Dado que la placa de campo de flujo de ánodo de una célula está dispuesta con la parte posterior adosada a la parte posterior de la placa de campo de flujo de cátodo de la célula adyacente, puede fluir corriente eléctrica de una célula a la otra y, por lo tanto, a través de todo el apilamiento 10. Se conocen otros apilamientos de células de combustible anteriores, en los que las células individuales están separadas por una sola placa de campo de flujo bipolar en vez de dos placas de campo de flujo de ánodo y cátodo separadas.

Las placas de flujo de campo 35 y 40 proporcionan además una barrera al fluido entre conjuntos de células de combustible adyacentes a efectos de mantener el fluido reactivo suministrado al ánodo de una célula de manera que se evita la contaminación del fluido reactivo suministrado al cátodo de otra célula. En el interfaz entre el MEA 45 y las placas 35 y 40, los campos de flujo de fluido 50 dirigen a los fluidos reactivos a los electrodos. El campo de flujo de fluido 50 comprende de manera típica una serie de canales de flujo de fluido formados en las superficies principales de las placas 35 y 40 dirigidas al MEA 45. Un objetivo del campo de fluido de flujo 50 es el de distribuir el fluido reactivo a toda la superficie de los electrodos respectivos, es decir, el ánodo en el lado del hidrógeno y el cátodo en el lado del oxígeno.

Un problema conocido con las PEMFC es la degradación progresiva de su rendimiento a lo largo del tiempo. En la actualidad, el funcionamiento a largo plazo de células de combustible de polímero sólido ha quedado demostrado pero solamente bajo ciertas condiciones relativamente ideales. Por el contrario, cuando la célula de combustible tiene que funcionar en un amplio rango de condiciones, tal como es el caso para aplicaciones de automóvil particularmente, las condiciones cambiantes de manera continua (frecuentemente modeladas como ciclos de carga y ciclos arranque-parada) se ha demostrado que reducen la duración del periodo de vida de manera drástica.

En la literatura técnica se han identificado diferentes tipos de condiciones no ideales. Una primera de estas condiciones es la que se designa como "voltaje elevado de la célula"; es conocido que la disposición de una célula

de combustible a condiciones de corriente baja o nula, conduce a tasas de degradación más elevadas en comparación con el funcionamiento con una corriente promedio constante. Una segunda condición no ideal es el "voltaje bajo de la célula"; es sabido además que, al extraer una corriente máxima de la célula de combustible, se produce una tasa de degradación incrementada. Se deduce de lo anterior que, a efectos de preservar el periodo de vida de una célula de combustible, es preferible evitar tanto "voltaje alto de la célula" como "voltaje bajo de la célula" en las condiciones operativas. En el caso de los tipos habitualmente conocidos de PMEFC se debe establecer un límite de seguridad superior razonable para asegurar que no tengan lugar condiciones de voltaje de célula alto en un valor no superior a 0,90 voltios, preferentemente no superior a 0,85 voltios, y un límite de seguridad bajo para asegurar contra voltaje de célula bajo en un valor no inferior a 0,65 voltios, preferentemente no inferior a 0,70 voltios. En otras palabras, la célula de combustible debe funcionar solamente en el rango de voltaje limitado entre 0,65 y 0,90 voltios, preferentemente entre 0,70 y 0,85 voltios.

Las aplicaciones de automoción se caracterizan por cambios especialmente abruptos de la potencia de carga. Por esta razón, los suministros de potencia diseñados para aplicaciones de automóvil comprenden en general una batería de almacenamiento de energía, tal como una batería electroquímica o un supercondensador, asociados con el sistema de célula de combustible. En este tipo de suministro de potencia (que se designará a continuación suministro de potencia híbrido de célula de combustible/ batería) la batería puede funcionar como tampón: suministrando potencia eléctrica cuando se presenta un pico en la carga y al revés, almacenando excesos de potencia eléctrica en caso de condiciones de carga baja o nula.

Las figuras 2A y 2b son diagramas de bloques que muestran respectivamente un suministro de potencia híbrido activo y pasivo respectivamente. En un suministro de potencia híbrido activo de célula de combustible/batería, el sistema de la célula de combustible está conectado al circuito de carga a través de un convertidor CC/CC y la batería está conectada al circuito de carga en paralelo con el convertidor CC/CC, tal como se ha mostrado en la figura 2A. Controlando la ganancia del convertidor CC/CC es posible ajustar de manera activa la distribución de potencia dentro del suministro de potencia híbrido. Un suministro de potencia híbrido pasivo de célula de combustible/batería es más simple. El sistema de célula de combustible y la batería están conectados eléctricamente de manera directa en paralelo, tal como se ha mostrado en la figura 2B. El inconveniente es que muchas variables operativas del suministro de potencia no están controladas. En particular, la distribución de corriente entre la célula de combustible y la batería viene impuesta por la impedancia interna de cada dispositivo. Además, dado que la batería y el sistema de célula de combustible están conectados directamente sus voltajes son siempre los mismos.

En principio, la utilización de suministro de potencia híbrido de célula de combustible/batería, permite el funcionamiento de las células de combustible dentro del rango de voltaje limitado que se desea. No obstante, una vez que la batería está completamente cargada, evidentemente deja de encontrarse a disposición para el almacenamiento de exceso de potencia eléctrica suministrada por las células de combustible. Las soluciones conocidas a este último problema, consisten en la desconexión del apilamiento de células de combustible (particularmente en el caso de un híbrido pasivo) ajustar la ganancia del convertidor CC/CC prácticamente a cero (en el caso de un híbrido activo) o parando las células de combustible hasta que el nivel de carga de la batería alcanza un límite inferior. No obstante, los ciclos arranque/parada contribuyen también a la degradación del rendimiento del sistema de la célula de combustible, mientras que la desconexión del sistema de célula de combustible, sin pararla, requiere la utilización de una carga resistente para disipar la energía producida por el apilamiento. Esto conduce a un desperdicio considerable de energía. El documento US 2002/0034669 da a conocer un aparato y procedimiento para controlar el suministro de gases reactivos a una célula de combustible.

## RESUMEN DE LA INVENCION

De acuerdo con lo indicado, un objetivo de la presente invención consiste en dar a conocer un procedimiento para limitar el voltaje de salida de un suministro de potencia híbrido pasivo de célula de combustible/batería que funciona en condiciones de carga cero o próximas a ellas a un rango de voltaje limitado según deseo, adecuado para la batería y también para el sistema de célula de combustible, sin tener que desconectar o parar y tener que volver a poner en marcha el sistema de célula de combustible.

El procedimiento de la presente invención se define por la reivindicación 1 que se adjunta.

De acuerdo con la presente invención, la limitación de los flujos de hidrógeno y oxígeno suministrados a la célula de combustible al mismo tiempo que funcionan las bombas de recirculación de hidrógeno y oxígeno, hace posible mantener el voltaje producido por debajo de un límite máximo predeterminado. De acuerdo con la invención, el límite máximo es el más bajo del límite de voltaje máximo de la batería o el límite de voltaje máximo del sistema de la célula de combustible (0,90 voltios/célula).

Una ventaja del procedimiento de la presente invención es que permite el ajuste de la distribución de potencia dentro del suministro de potencia híbrido pasivo sin necesidad de un convertidor CC/CC de ganancia variable, tal como el utilizando en los suministros de potencia híbridos activos. En particular, el procedimiento de la presente invención permite el mantenimiento de un bajo voltaje de salida, incluso en condiciones de carga próximas a cero. De manera

más general, el procedimiento de la presente invención permite el funcionamiento de un suministro de potencia híbrido pasivo de célula de combustible/batería con el mismo rendimiento general que el de suministros de potencia híbridos activos más complicados, más pesados y más voluminosos y, por lo tanto, más caros.

5 Además, se comprenderá que, de acuerdo con la presente invención, al mantener la presión del hidrógeno entre 70 y 130% de la presión del oxígeno, el procedimiento de la invención evita grandes diferencias de presión a través de la membrana de las células de combustible y en el caso particular de una presión de hidrógeno más elevada, evita el agotamiento del combustible en el ánodo.

10 Preferentemente, el procedimiento de la invención mantiene el voltaje de la célula de combustible en el rango que corresponde a 0,70 y 0,85 voltios/célula.

Otra ventaja del procedimiento de la presente invención es que permite el funcionamiento del suministro de potencia híbrido en condiciones de carga de salida neta nula, incluso cuando la batería de almacenamiento está completamente cargada. En realidad, al reducir la presión de, como mínimo, uno de los reactivos por debajo de 0,7 bar<sub>absoluto</sub>, la potencia de salida del suministro de potencia híbrido se puede reducir a no más de lo necesario para alimentar los órganos auxiliares (carga parásita).

#### 20 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Otras características y ventajas de la presente invención quedarán evidentes de la lectura de la siguiente descripción que se facilita únicamente a título de ejemplo no limitativo, y que se basa en los dibujos adjuntos en los que:

25 La figura 1 es una vista en perspectiva con piezas desmontadas de un apilamiento de células de combustible de tipo convencional (técnica anterior);

Las figuras 2A y 2B son dos diagramas de bloque que muestra, respectivamente, un suministro de potencia híbrido activo y pasivo a nivel conceptual (técnica anterior);

30 La figura 3 es un diagrama que muestra una realización específica de un suministro de potencia híbrido pasivo de célula de combustible/batería, que comprende un apilamiento de células de combustible alimentado con hidrógeno y oxígeno puros.

35 La figura 4 es un diagrama funcional más detallado del suministro de potencia híbrido pasivo de la figura 3.

La figura 5A es un diagrama que muestra curvas de corriente/voltaje para una célula de combustible de electrolito de polímero a diferentes presiones;

40 La figura 5B es un diagrama que muestra voltajes de batería máximo y mínimo como función del estado de carga (SOC) de una batería de almacenamiento;

45 La figura 6 es un diagrama que muestra de manera general la forma en la que la carga se puede compartir entre el sistema de célula de combustible y la batería de almacenamiento, y particularmente la forma en la que el suministro de potencia híbrido pasivo hace posible evitar la parada del sistema de la célula de combustible en condiciones funcionales de carga conectada nula, aunque no se disponga la batería de capacidad de almacenamiento de energía.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

50 El apilamiento 1 de células de combustible del suministro de potencia híbrido pasivo mostrado en la figura 3 es de un tipo diseñado para utilizar hidrógeno como combustible y oxígeno puro como oxidante. Comprende placas extremas 130, 140, una abertura de entrada de hidrógeno 150 en la placa extrema 130 y una abertura de entrada de oxígeno 155 en la placa extrema 140. El apilamiento 1 comprende además un colector 160 de suministro de hidrógeno y un colector 165 de suministro de oxígeno, respectivamente, destinados a suministrar flujos de hidrógeno y de oxígeno a una pluralidad de células de combustible individuales.

60 Campos de flujo de hidrógeno y de oxígeno asociados con cada una de las células de combustible se han representado por las flechas 170 y 175. Un colector 180 de escape de hidrógeno y un colector 185 de escape de oxígeno eliminan los reactivos agotados y los productos de la reacción del apilamiento a través de una abertura de salida de hidrógeno 190 y una abertura de salida de oxígeno 195.

65 Tal como se ha mostrado, el sistema de célula de combustible comprende un recipiente 60 de almacenamiento de hidrógeno a presión conectado a la entrada de hidrógeno 150 del apilamiento por medio de un conducto de alimentación dotado de una válvula de suministro de hidrógeno 110 y una bomba de extracción 113. Un sensor 111 de presión de hidrógeno está dispuesto en la conducción de suministro cerca de la entrada de hidrógeno 150 a efectos de medir la presión del hidrógeno suministrado al apilamiento 1 de células de combustible. Una primera

conducción 11R de recirculación de hidrógeno conecta la abertura de salida 190 del apilamiento a la conducción del suministro de hidrógeno, más abajo de la válvula de suministro 110. La bomba de extracción 113 proporciona la recirculación del hidrógeno restante y para mezclarlo con hidrógeno nuevo.

5 De manera similar, el sistema de célula de combustible comprende un recipiente 65 de almacenamiento de oxígeno a presión conectado a la entrada de oxígeno 155 del apilamiento por medio de una conducción de suministro de oxígeno dotada de una válvula 120 de suministro de oxígeno y una bomba 123 de vacío. Un sensor 121 de presión de oxígeno está dispuesto en la conducción de suministro cerca de la entrada de oxígeno 155 a efectos de medir la presión del oxígeno suministrado al apilamiento 1 de células de combustible. Una línea de recirculación de oxígeno  
10 12R conecta la abertura de salida 195 del apilamiento a la conducción de suministro de oxígeno, más abajo de la válvula de suministro 120. La bomba de extracción 123 (o cualquier tipo apropiado de bomba de vacío) proporciona la recirculación y la mezcla del oxígeno agotado con oxígeno reciente.

15 El apilamiento del sistema de células de combustible mostrado en la figura 3, comprende además una entrada auxiliar de hidrógeno 200 y una salida auxiliar de hidrógeno 210 conectadas entre sí por una segunda conducción de recirculación de hidrógeno 211R. La conducción 211R está dotada de una bomba auxiliar de hidrógeno 213 dispuesta para suplementar la bomba de extracción 113. El apilamiento 1 comprende también una entrada de oxígeno auxiliar 205, una salida de oxígeno auxiliar 215 y una bomba de oxígeno auxiliar 223, dispuesta en una segunda conducción de recirculación de oxígeno 212R. La bomba auxiliar 223 está dispuesta para suplementar la  
20 bomba de extracción 123.

El sistema de célula de combustible mostrado en la figura 3 comprende además medios de gestión de la humedad (no mostrados). Al formarse agua como producto en el lado del cátodo de las células de combustible por la combinación de los iones de hidrógeno y oxígeno, el agua producida se debe retirar del lado del cátodo de las  
25 células de combustible. En particular, a efectos de evitar inundación, los medios de gestión de la humedad comprenden habitualmente un separador gas-líquido dispuesto en la conducción de recirculación de oxígeno 12R. Un segundo separador gas-líquido queda dispuesto asimismo preferentemente, en la conducción 11R de recirculación de hidrógeno. Al mismo tiempo, se debe facilitar humedad tanto al ánodo como al cátodo de las células en cantidades que impidan el secado de la membrana.

30 Tal como se puede apreciar además en la figura 3, el apilamiento 1 está asociado con una batería 18 conectada en paralelo a efectos de formar el suministro de potencia híbrido pasivo de célula de combustible/batería para suministrar energía eléctrica al circuito de la carga 17. Preferentemente, la batería de almacenamiento 18 es un paquete de baterías de iones de Li. No obstante, de acuerdo con otras realizaciones de la invención, se podría utilizar cualquier otra forma de batería de almacenamiento. Haciendo referencia a continuación a la figura 4, el funcionamiento del suministro de potencia híbrido pasivo del presente ejemplo se explicará de forma más detallada. Igual que en la figura 3, el numeral de referencia 1 se refiere al apilamiento de células de combustible, el numeral 18 se refiere a la batería de almacenamiento, y el numeral 17 se refiere al circuito de la carga.

40 Tal como se ha explicado, el apilamiento de células de combustible forma parte del sistema de células de combustible 14 que comprende un circuito de oxígeno 52, circuito de hidrógeno 54 y un circuito de refrigeración 56. El sistema de células de combustible, comprende también un controlador 58 de las células de combustible que gestiona los circuitos de oxígeno, hidrógeno, y de refrigeración. Aparte de los sensores de presión (no mostrados en la figura 4) que ya se han descrito en relación con la figura 3, el sistema de células de combustible comprende un  
45 sensor 61 de la corriente del apilamiento, un sensor 62 de la temperatura del apilamiento y, como mínimo, un sensor 64 del voltaje de la célula de combustible. El controlador 58 de la célula de combustible utiliza los datos facilitados por todos los sensores a efectos de gestionar el funcionamiento del sistema de célula de combustible.

Haciendo referencia adicionalmente a la figura 4, el numeral 66 se refiere a un conmutador utilizado para desconectar el sistema de célula de combustible 14 de la batería 18 y del circuito de carga 17, el numeral 67 indica un sensor de la corriente de la batería, el numeral 71 un sensor de la corriente de la carga, y el numeral 13 un sensor del voltaje de la batería mostrado también en la figura 3. De acuerdo con la presente invención, el conmutador 66 está destinado a ser utilizado solamente durante el arranque y parada del sistema de célula de combustible. Tal como se ha mencionado anteriormente, siempre que estén conectados la batería de  
50 almacenamiento 18 y el sistema de células de combustible 14, sus voltajes son idénticos. Por lo tanto, el voltaje del apilamiento medido por el sensor 64 de voltaje de la célula de combustible y el voltaje de la batería medido por el sensor 13 de voltaje de la batería son siempre el mismo siempre que esté cerrado el conmutador 66.

Haciendo referencia adicionalmente a la figura 4, se puede apreciar que el circuito de carga 17 está constituido por una máquina eléctrica 73 que está destinada a funcionar como motor durante fases de tracción y trabajar como generador durante fases de frenado regenerativo. Además, el numeral 75 se refiere a un sensor de la corriente del motor, el numeral 77 se refiere a un sensor de voltaje del motor, el numeral 79 se refiere a un controlador del motor y el numeral 81 se refiere a un convertidor de potencia. Dependiendo del tipo de máquina eléctrica utilizada, el tipo de convertidor utilizado para el convertidor de potencia 81, puede variar. Si, por ejemplo, el motor 73 es un motor de corriente continua CC sin escobillas controlado por modulación de amplitud de impulsos, el convertidor de potencia  
60 81 será un convertidor CC/CC que suministra un voltaje de salida constante. Por el contrario, si, por ejemplo, la

máquina eléctrica 73 es un motor síncrono, el convertidor de potencia 81 será un convertidor CC/CA. La figura 4 muestra también un controlador 85 de gestión de la potencia que controla el controlador 58 de la célula de combustible, el controlador 79 del motor, así como el conmutador 66. El controlador 85 de gestión de la potencia regula la circulación de potencia como gestión de la posición de un pedal del acelerador de un vehículo (no mostrado) y en función de las condiciones que prevalecen en el sistema de suministro de electricidad.

El sistema 14 de la célula de combustible está controlado por el controlador 58 de la célula de combustible. El controlador 58 recibe información del sensor 111 de presión de hidrógeno (figura 3) y del sensor 121 de presión de oxígeno (figura 3), así como del sensor 64 de voltaje de la célula de combustible. De acuerdo con el ejemplo que se ha mostrado, el sensor de voltaje de la célula de combustible mide el voltaje de salida desde el apilamiento 1 de células de combustible en su conjunto. De este modo, el voltaje de salida medido asciende a la suma de contribuciones desde todas las células individuales de combustible del apilamiento. Dado que las células de combustible están sometidas sustancialmente a las mismas condiciones operativas, todas ellas producen aproximadamente el mismo voltaje de salida. Por lo tanto, el voltaje de salida medido del apilamiento puede ser utilizado para calcular un voltaje estimado para una célula de combustible individual. No obstante, es posible asimismo medir los voltajes de salida de las células individuales separadamente o de otro modo, dividir las células individuales del apilamiento en varios grupos, cada uno de los cuales tiene un voltaje de salida.

El controlador 58 de la célula de combustible (figura 4) controla la presión tanto del hidrógeno como del oxígeno suministrados al apilamiento de células de combustible al ajustar las válvulas 110 y 120 de suministro de hidrógeno y de oxígeno y, en caso necesario, controlado directamente el funcionamiento de las bombas auxiliares de recirculación 213, 223. El procedimiento que permite que el controlador 58 de las células de combustible controle la presión del reactivo en las células de combustible, se explicará a continuación en detalle. Los reactivos son consumidos en las células de combustible a una velocidad que corresponde a la cantidad de corriente eléctrica suministrada por el apilamiento 1. Cuando, en ausencia de cambio de carga, el controlador de la célula de combustible ajusta una de las válvulas de suministro 110, 120 hacia la posición abierta, el flujo suministrado de hidrógeno o de oxígeno aumenta y supera la cantidad de hidrógeno o de oxígeno consumido en las células de combustible. Esto provoca que la presión en el ánodo o el cátodo de las células de combustible aumenten igualmente. Como contraste, cuando el controlador 58 de la célula de combustible ajusta una de las válvulas de suministro 110, 120 hacia la posición cerrada, el flujo suministrado de hidrógeno o de oxígeno disminuye y deja de ser suficiente para compensar la cantidad de hidrógeno o de oxígeno consumida en las células de combustible. Esto provoca que la presión en el ánodo o en el cátodo de las células de combustible, disminuya. Tal como se ha mencionado anteriormente, de acuerdo con la presente invención, el hidrógeno y el oxígeno suministrados al apilamiento de células de combustible son hidrógeno sustancialmente puro y oxígeno sustancialmente puro, respectivamente. Esta característica permite que el hidrógeno y el oxígeno presentes en la célula de combustible sean consumidos casi de manera completa. De esta forma, es posible que la presión en el cátodo y en el ánodo de la célula de combustible, disminuya mucho más debajo de la presión atmosférica externa, llegando aproximadamente, a la presión del vapor de agua. Por lo tanto, en el caso de un apilamiento de células de combustible funcionando a una temperatura aproximada de 60°C, la presión puede llegar a valores tan bajos como 0,2 bar<sub>abs</sub>.

Se debe tener cuidado en que la presión de hidrógeno sea, como mínimo, 70% de la presión del oxígeno, preferentemente, como mínimo, 100% de la presión del oxígeno para no inducir en las células de combustible la situación conocida como "agotamiento de combustible" ("fuel starvation"). El agotamiento de combustible, si es algo más que momentáneo, se sabe que deteriora las células de combustible. No obstante, también pueden ser ventajosas otras situaciones de funcionamiento, en las que la presión de hidrógeno es menor de 100% de la presión de oxígeno, en particular, en el caso en el que es deseable aumentar el contenido de agua de la membrana. Además, a efectos de evitar la aparición de un gran diferencial de presión entre el ánodo y el cátodo de las células de combustible, la presión de hidrógeno es ajustada preferentemente para seguir la presión de oxígeno. En cualquier caso, la presión de hidrógeno queda limitada a un rango de +/- 30% de la presión de oxígeno.

La figura 5A es un diagrama que muestra las curvas de polarización (curvas de corriente/voltaje indicadas con los numerales 251 a 256) para una célula de combustible con electrolito de polímero que funciona a una temperatura aproximada de 60°C y seis presiones distintas (2,5 bar<sub>abs</sub>, 1,5 bar<sub>abs</sub>, 1 bar<sub>abs</sub>, 0,62 bar<sub>abs</sub>, 0,4 bar<sub>abs</sub>, 0,2 bar<sub>abs</sub>). La figura 5A muestra, que para un voltaje operativo constante de la célula de combustible (o en otras palabras, para un voltaje constante de la batería de almacenamiento asociada), la corriente cambia considerablemente con la presión, permitiendo de esta manera el ajuste de la potencia suministrada con la célula de combustible. En realidad se puede calcular a partir de las curvas de la figura 5A que, para un voltaje de funcionamiento constante de 0,85 voltios, la potencia de salida se reduce casi por un factor 10 cuando el apilamiento funciona a una presión de 0,4 bar en vez de 2,5 bar. Este ejemplo muestra una de las ventajas de utilizar un sistema de célula de combustible alimentada con oxígeno gaseoso sustancialmente puro en vez de aire. Realmente el aire es un gas rico en nitrógeno, y la presencia del nitrógeno hace más difícil alcanzar presiones de funcionamiento sustancialmente por debajo de la presión ambiente.

La figura 5B es un diagrama que muestra los voltajes mínimo y máximo de almacenamiento de la batería en función del estado de la carga (SOC) de la batería. Como es bien conocido, el voltaje en circuito cerrado de una batería en

un SOC determinado queda definido tanto en su voltaje en circuito abierto (OCV) como por la pérdida de voltaje debido al flujo de la corriente a través de la batería. La figura 5B muestra que el voltaje máximo permisible para una batería en un SOC determinado está definido por añadir la pérdida de voltaje asociada a la corriente de carga permisible máxima al OCV. De forma equivalente, el voltaje mínimo permisible es determinado deduciendo la tarea de voltaje asociada con la corriente de descarga máxima permisible del OCV. Naturalmente, las corrientes de carga y descarga máxima son ambas una función asimismo del SOC. En particular, cuando el SOC es 100% de la carga máxima utilizable, la corriente de carga máxima permisible es cero, y cuando el SOC es 0% de la carga máxima utilizable, la corriente de descarga máxima permisible es cero. El área sombreada de la figura 5B corresponde al área de operativa permisible de la batería.

Tal como se ha indicado anteriormente, dado que la batería de almacenamiento y el apilamiento de células de combustible están conectados directamente, sus voltajes son el mismo. Por lo tanto, si el voltaje de salida del apilamiento de células de combustible se encuentra por encima del OCV de la batería y el voltaje de salida aumenta adicionalmente, la corriente de carga suministrada por el apilamiento a la batería aumenta también. Al revés, si el voltaje de salida desde el apilamiento se encuentra por debajo del OCV de la batería y el voltaje de salida disminuye adicionalmente, la corriente de descarga suministrada por la batería se incrementa. En otras palabras, la batería de almacenamiento actúa como tampón para limitar variaciones en la potencia de carga total conectada al apilamiento. Se comprenderá que dado que la batería de almacenamiento y el apilamiento comparten el mismo voltaje, las dimensiones de la batería de almacenamiento se deben escoger, de manera que su OCV corresponda a un voltaje de célula de combustible promedio que se encuentra dentro del intervalo entre los límites de seguridad antes mencionados superior e inferior. En el presente ejemplo, los límites de seguridad para asegurar contravoltajes alto y bajo de la célula, son 0,90 voltios y 0,65 voltios, respectivamente. Preferentemente, el voltaje promedio de la célula de combustible que corresponde al OCV, debe permanecer entre dichos valores límite de seguridad superior e inferior para cualquier SOC permisible de la batería; es decir, para cualquier SOC de la batería en el intervalo entre el SOC que corresponde a 0% de la carga máxima utilizable al SOC que corresponde al 100% de la carga máxima utilizable, de acuerdo con las especificaciones de la batería de almacenamiento.

El controlador 58 de la célula de combustible está dispuesto para reducir la presión de los gases reactivos suministrados al apilamiento de células de combustible al cerrar de manera parcial o completa las válvulas de suministro de hidrógeno y oxígeno 110, 120. No obstante, si cualquiera de las válvulas de suministro 110, 120 está cerrada por completo o casi por completo, la correspondiente bomba de extracción correspondiente 113, 223 resulta inútil, y el flujo de gas agotado a través de la conducción de recirculación 11R o 12R, llega a pararse. En esta situación, las presiones en los colectores de suministro (160 o 165) y de escape (180 o 185) tienden a igualarse, y la pérdida de presión necesaria para impulsar al gas reactivo a lo largo de los campos de flujo 170 o 175 desaparece. A efectos de permitir que el apilamiento de células de combustible continúe funcionando aunque la válvula de suministro 110 o 120 está cerrada, la unidad de control 15 pone en marcha la correspondiente bomba auxiliar 213 o 223. Cuando funciona cualquiera de las bombas 213 o 223, vuelve a inyectar gas reactivo sobrante presente en el colector de escape 180 o 185 en el correspondiente colector de suministro 160 y 165. La utilización de bombas auxiliar 213 y 223 permite mantener la diferencia de presión necesaria entre los colectores de suministro y escape.

Tal como se ha descrito anteriormente, el sistema de célula de combustible del suministro de potencia híbrido pasivo en el que se implementa el procedimiento de la presente invención, comprende controles electrónicos, válvulas de suministro 110, 120 controladas por el controlador 58 de la célula de combustible, bombas 213, 223 y un separador gas-líquido. El sistema de células de combustible comprende también un circuito de refrigeración 56 que utiliza bombas de agua y puede comprender, posiblemente asimismo, medios de calentamiento eléctrico. Todos estos elementos y otros forman lo que se llama órganos auxiliares. Estos órganos auxiliares necesitan electricidad para funcionar, y constituyen lo que se designa de manera general como carga parásita del sistema de células de combustible. Por lo tanto, cuando el sistema de células de combustible funciona, la demanda de potencia nunca es cero, incluso en el caso de funcionamiento en vacío (es decir, en condiciones de funcionamiento con carga conectada nula). En el presente ejemplo, un número realista para la potencia de carga parásita es aproximadamente 600 Vatios.

La figura 6 es un diagrama que muestra la forma en la que la carga puede ser compartida entre el sistema de células de combustible y la batería de almacenamiento. Las líneas horizontales del centro del diagrama son líneas de igual potencia de una batería completamente cargada (SOC = 100%). Las líneas delgadas casi verticales son líneas de igual potencia del apilamiento de células de combustible. La línea de trazos casi vertical a la izquierda del diagrama es una línea de igual potencia que corresponde a 600 vatios (potencia de la carga parásita). La figura 6 muestra que, al controlar la presión del reactivo en las células de combustible, es posible adaptarse a condiciones de carga baja de salida, evitando simultáneamente voltaje alto de la célula, incluso en el caso en el que el estado de carga de la batería de almacenamiento es ya de 100%. Ciertamente, el diagrama muestra que el OCV para la batería completamente cargada corresponde a 0,85 voltios/célula. Si la presión en la célula de combustible se reduce a 0,5 bar, manteniendo simultáneamente el voltaje de la célula de combustible constante, la magnitud de la potencia producida por el apilamiento de células de combustible se reduce aproximadamente a 300 vatios. En este caso, se deben absorber otros 300 vatios de la batería de almacenamiento para satisfacer la demanda de los órganos auxiliares. Otra posibilidad es incrementar ligeramente la presión hasta que el apilamiento produce 600 vatios de potencia eléctrica.

5 Haciendo referencia adicionalmente a la figura 6, se observará que el punto de funcionamiento en la intersección de la línea de 2,5 bar con la línea de igual potencia de 600 vatios, corresponde a un voltaje de la célula de combustible de casi 1 voltio. En otras palabras, no es posible evitar un elevado voltaje de la célula sin bajar la presión operativa en un suministro de potencia híbrido pasivo. Dicho de otro modo, la figura 6 muestra la forma en la que la presente invención hace posible evitar el cierre del sistema de la célula de combustible en condiciones de funcionamiento con carga conectada cero, aunque no exista capacidad de almacenamiento de energía disponible en la batería.



## REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para el funcionamiento de un suministro de potencia híbrido pasivo conectado a una carga variable, en condiciones en las que la carga variable es cero o próxima a cero, comprendiendo el suministro de potencia híbrido pasivo un sistema de célula de combustible PEM (1) y una batería de almacenamiento (18) conectados en paralelo a la carga variable (17), comprendiendo el sistema de célula de combustible una pluralidad de células de combustible individuales PEM conectadas en serie y órganos auxiliares que comprenden una bomba de recirculación de hidrógeno controlable (213) y una bomba de recirculación de oxígeno controlable (223), comprendiendo el procedimiento:
- 10
- suministrar un flujo de hidrógeno sustancialmente puro a los ánodos de dichas células de combustible;
  - suministrar un flujo de oxígeno sustancialmente puro a los cátodos de dichas células de combustible;
  - controlar la corriente eléctrica suministrada por la batería de almacenamiento;
  - 15 - controlar el voltaje de salida compartido por la pluralidad de células de combustible individuales conectadas en serie y por la batería;
  - evaluar el estado de carga (SOC) de la batería basándose en dicha corriente eléctrica y dicho voltaje de salida;
  - controlar la presión de hidrógeno en las células de combustible;
  - 20 - controlar la presión de oxígeno en las células de combustible;
  - limitar el flujo de hidrógeno y el flujo de oxígeno y accionando las bombas de recirculación de hidrógeno y de oxígeno, de manera tal que lleven y mantengan las presiones de hidrógeno y de oxígeno por debajo de 0,7 bar<sub>absoluto</sub>, manteniendo simultáneamente dicha presión de hidrógeno entre 70% y 130% de dicha presión de oxígeno, de manera tal que asegure que el voltaje de salida se mantiene a un nivel que corresponde a menos de 0,90 voltios/célula y no supera el límite de voltaje máximo de la batería.
- 25
2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que dicho procedimiento comprende el ajuste de dicha corriente de hidrógeno y dicha corriente de oxígeno, de manera tal que dicho voltaje de salida permanezca a un nivel que corresponde a un valor entre 0,70 y 0,85 voltios/célula.
- 30
3. Procedimiento, según la reivindicación 1 ó 2, en el que la batería de almacenamiento tiene un voltaje en circuito abierto que corresponde a un valor entre 0,75 y 0,85 voltios/célula de combustible cuando el estado de carga de la batería es 50%.

Fig. 1  
TÉCNICA ANTERIOR

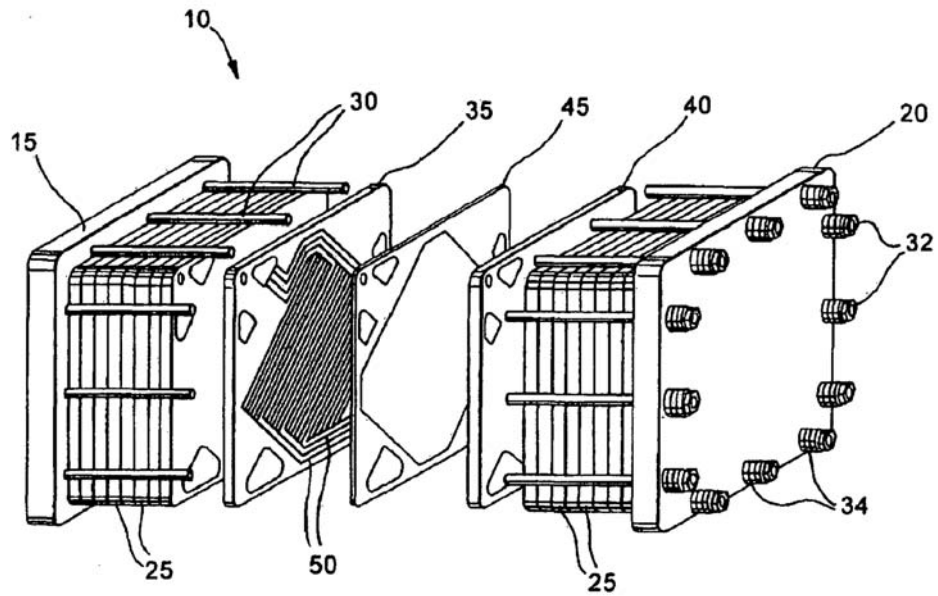


Fig. 2A

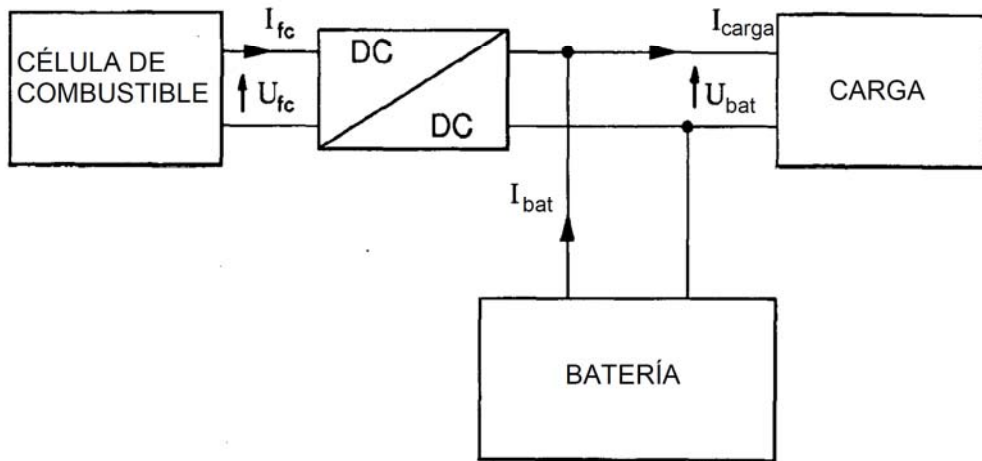
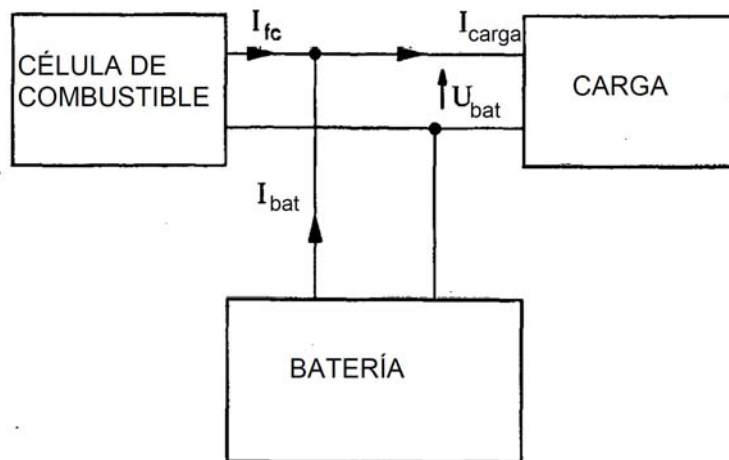


Fig. 2B



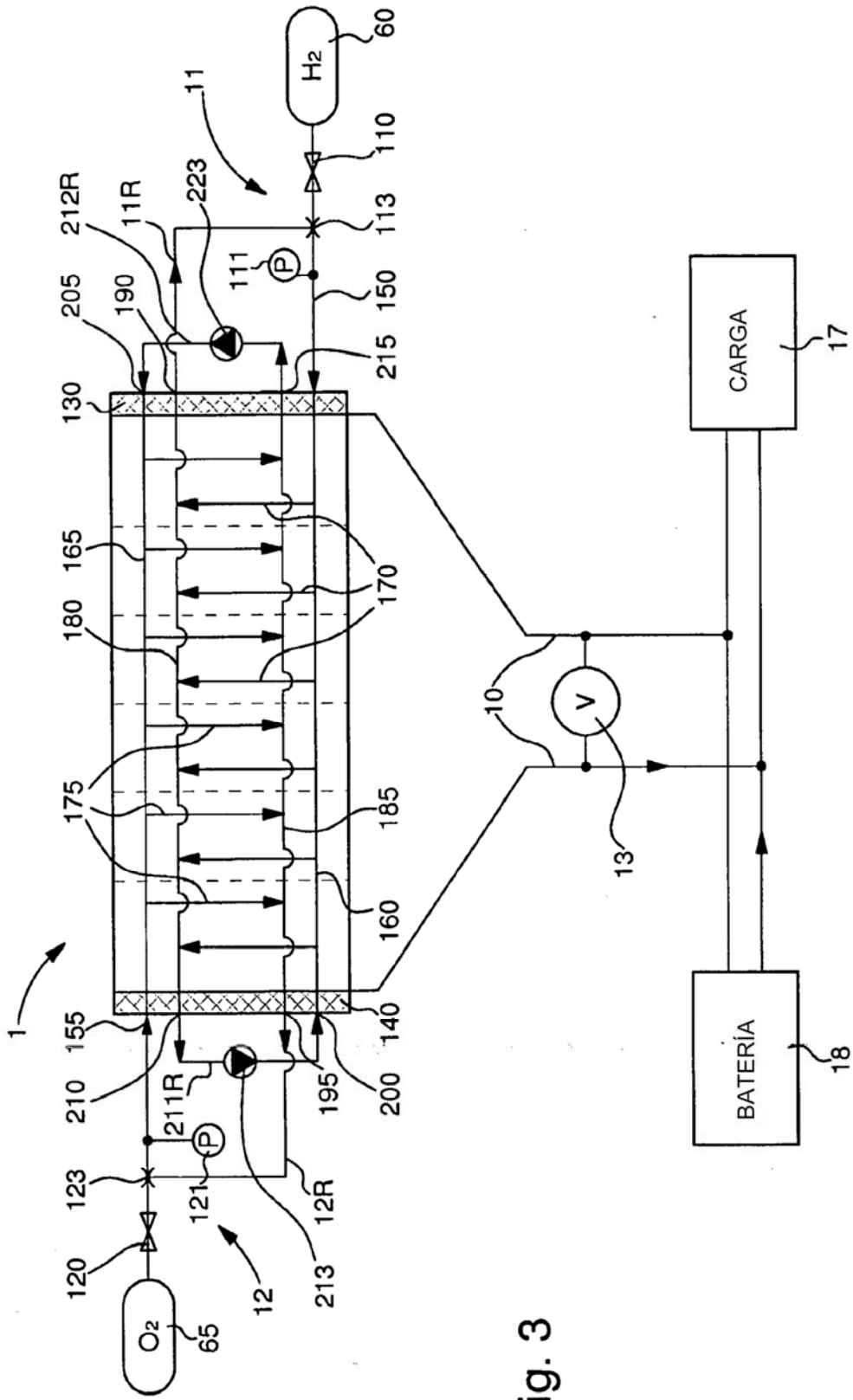


Fig. 3

Fig. 4

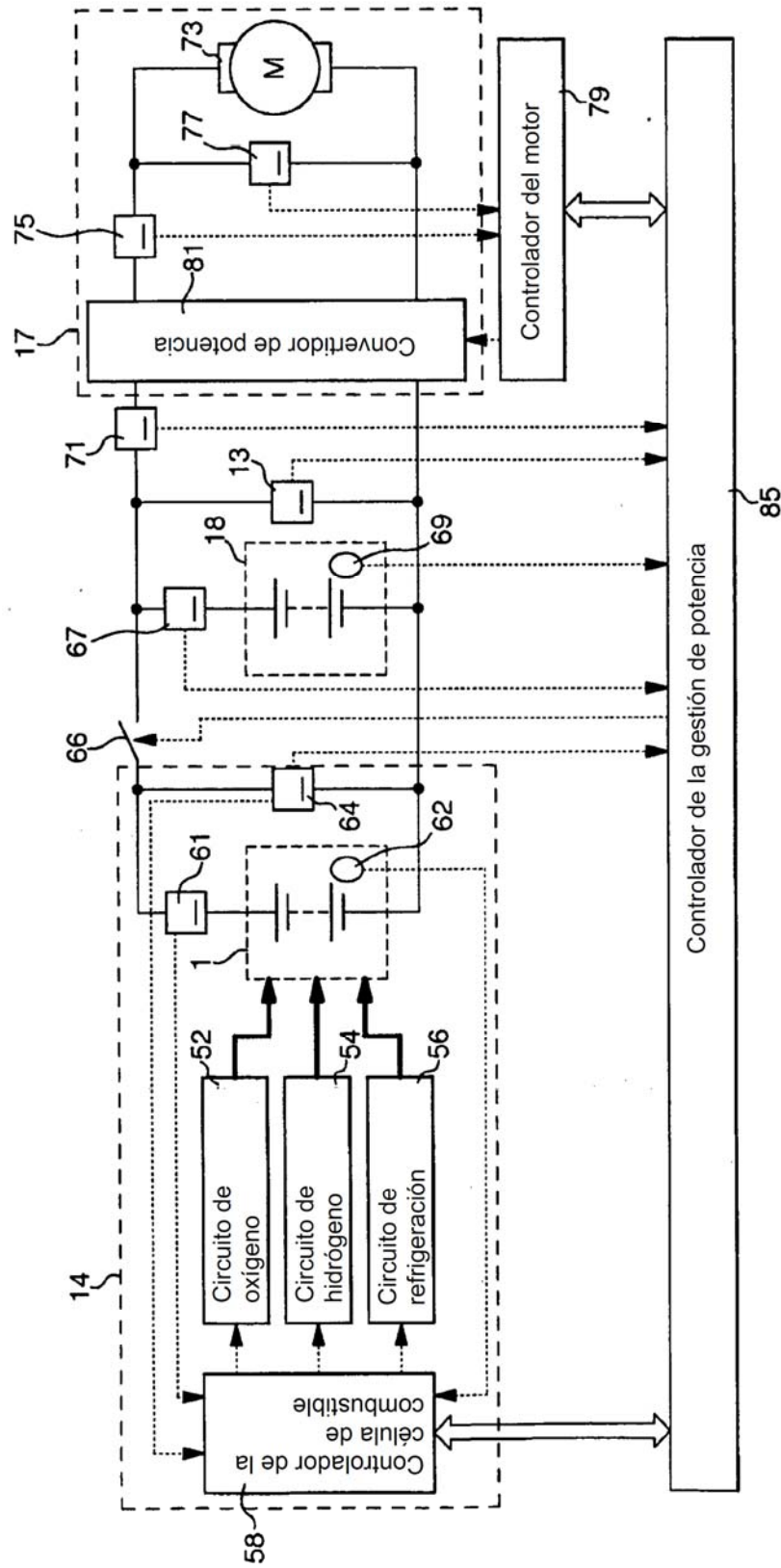


Fig. 5A

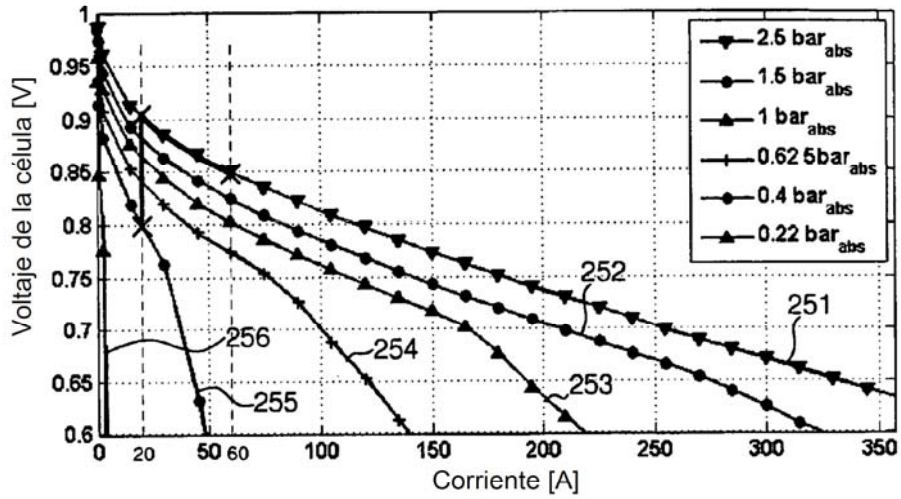
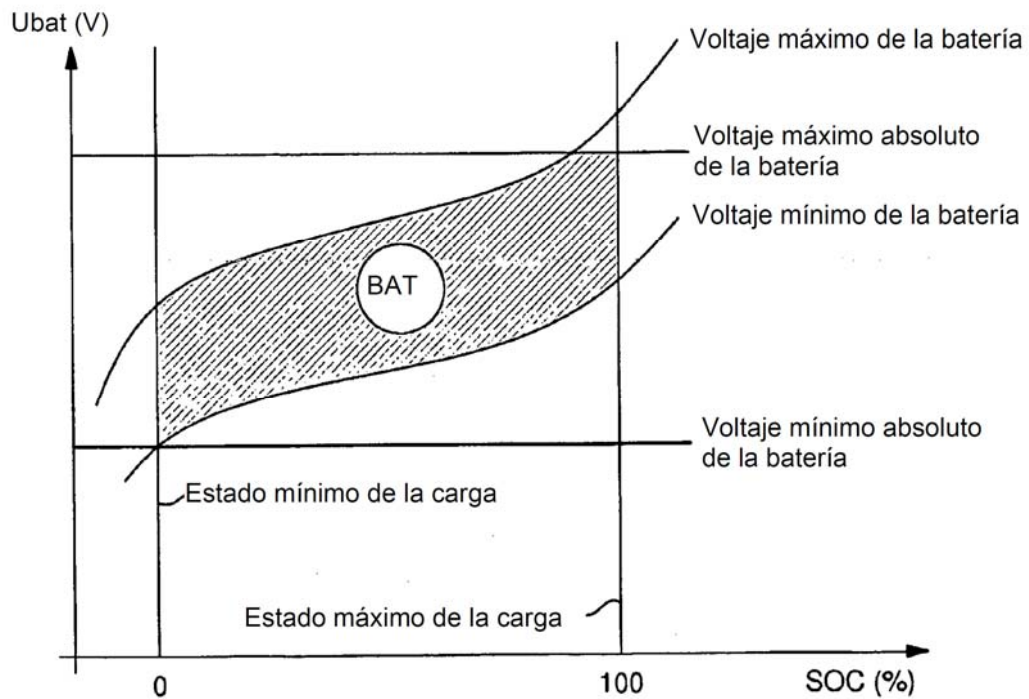


Fig. 5B



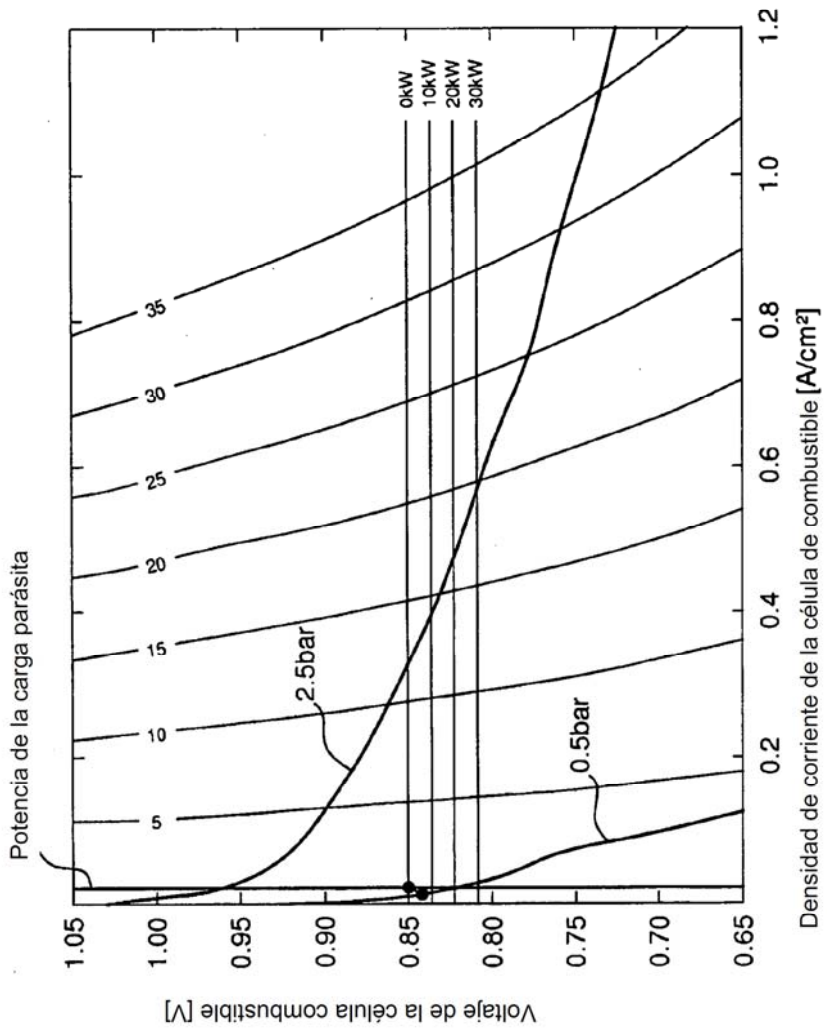


Fig. 6