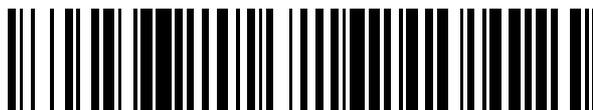


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 670 023**

51 Int. Cl.:

<b>C25B 15/02</b>	(2006.01)
<b>C25B 1/10</b>	(2006.01)
<b>C25B 9/00</b>	(2006.01)
<b>C25B 9/20</b>	(2006.01)
<b>C25B 1/12</b>	(2006.01)
<b>C25B 9/08</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.07.2015 PCT/US2015/038956**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.01.2016 WO16004288**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.07.2015 E 15747606 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018 EP 3164528**

54 Título: **Sistema compresor electroquímico de múltiples pilas y método para operarlo**

30 Prioridad:

**02.07.2014 US 201462020030 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**29.05.2018**

73 Titular/es:

**NUVERA FUEL CELLS, LLC (100.0%)  
129 Concord Road, Building 1  
Billerica MA 01821, US**

72 Inventor/es:

**BEVERAGE, KEVIN y  
BLANCHET, SCOTT**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 670 023 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 compresor electroquímico de múltiples pilas y método para operarlo

5 La presente descripción se dirige a un sistema compresor electroquímico (EHC) de múltiples pilas y al método para operarlo, y más particularmente, a un sistema EHC de múltiples pilas y al método para optimizar su consumo de potencia eléctrica.

10 El hidrógeno ha emergido como una alternativa viable a las fuentes de energía tradicionales. La comercialización exitosa del hidrógeno como un portador energético y la sostenibilidad a largo plazo de una "economía del hidrógeno" depende en gran medida de la eficiencia y la eficacia de costos de las celdas combustibles de hidrógeno, celdas de electrólisis de hidrógeno, generación de hidrógeno, sistemas de manipulación/gestión de hidrógeno (por ejemplo, compresores) y sistemas de distribución de hidrógeno. El hidrógeno gaseoso es un medio conveniente y eficiente de almacenamiento de energía, usualmente mediante confinamiento a presión. Favorablemente, almacenar hidrógeno a alta presión produce alta densidad de energía.

15 Los compresores electroquímicos de hidrógeno (EHC) son mecanismos silenciosos, escalables, modulares y eficientes para presurizar hidrógeno. Un EHC puede formarse de una unidad de electrodos de membranas (MEA). La MEA puede comprender un ánodo con carga negativa, un cátodo con carga positiva, y una membrana de intercambio protónico que separa el ánodo y el cátodo. Puede pasarse una corriente a través de la MEA mientras un gas que contiene hidrógeno puede tocar el ánodo con carga negativa, en el ánodo, las moléculas de hidrógeno pueden oxidarse y la reacción puede producir dos electrones y dos protones. Los dos protones pueden impulsarse electroquímicamente a través de la membrana hacia el cátodo con carga positiva, donde pueden volverse a unir por dos electrones reenrutados y reducirse para formar una molécula de hidrógeno. Los EHC que funcionan de esta manera se denominan a veces bombas de hidrógeno. Cuando el hidrógeno acumulado en el cátodo con carga positiva se restringe a un espacio confinado, el EHC presuriza el hidrógeno. Un EHC también puede denominarse una pila EHC.

20 Las pilas EHC pueden disponerse en serie para formar pilas EHC de múltiples etapas que posibilitan la compresión de hidrógeno a mayores presiones. Las pilas EHC también pueden disponerse en paralelo para formar sistemas de EHC de múltiples pilas que posibilitan mayor capacidad de volumen. Tradicionalmente un sistema EHC de múltiples pilas puede incluir dos o más pilas EHC. Para un sistema EHC de múltiples pilas una fuente de alimentación suministra energía a todas las pilas EHC y la corriente total hacia el sistema se controla para mantener el rendimiento de hidrógeno. Esta relación se representa por la ecuación 1 mostrada más adelante.

35 
$$H_2 \sim I_{tot}$$
 Ecuación (1)

40 Por lo tanto, el sistema EHC de múltiples pilas actúa como una única gran pila en una única carga que demanda la misma corriente para todas las pilas. Esta relación puede representarse mediante las ecuaciones 2 para la corriente y la ecuación 3 para la potencia mostrada más adelante.

45 
$$I_{tot} = \sum_1^n I_n$$
 Ecuación (2)

50 
$$P_{tot} = \sum_1^n I_n^2 \cdot R$$
 Ecuación (3)

Uno de los inconvenientes para este método de operación es que una pila pobre (por ejemplo, con fallos o deteriorada) se fuerza entonces a operar más allá de su intervalo seguro, lo que acelera rápidamente la degradación y, a la vez, también sufre la eficiencia energética. Un método para disminuir la probabilidad de degradación y dejar margen para la operación dentro de los límites seguros de la pila pobre es la disminución de la potencia nominal del sistema total. Por ejemplo, en el caso de una celda o pila de bajo rendimiento, puede disminuirse la corriente o potencia del sistema total para impedir el fallo de la celda o pila mala. Aunque este método puede disminuir la probabilidad del fallo de la celda o pila mala, no es lo óptimo porque la eficiencia energética aún sufre y la disminución de la corriente o potencia del sistema total disminuye el rendimiento total del sistema.

60 El documento US 2013/0317959 describe un electrolizador que funciona dentro de un sistema energético, por ejemplo, para proporcionar servicios de red de distribución, almacenamiento de energía o combustible, o para producir hidrógeno a partir de la electricidad producida de recursos renovables. El electrolizador puede configurarse para que opere a tasas de consumo de electricidad que varían frecuente o rápidamente o para que opere a un consumo de potencia especificado. En un proceso de operación de un electrolizador, se recibe una serie de despachos que indican un consumo de potencia especificado durante un periodo de tiempo. Los despachos pueden producirse al menos cada 30 minutos. El electrolizador

se opera de acuerdo con los despachos. El hidrógeno producido por el electrolizador se descarga hacia un sistema de gas natural.

El documento US 2005/0121315 describe un sistema electroquímico que tiene una pluralidad de pilas de celdas electroquímicas distintas. El sistema incluye un sistema de gestión de agua y oxígeno acoplado de manera continua a la pluralidad de pilas de celdas electroquímicas y un sistema de gestión de hidrógeno acoplado de manera continua a la pluralidad de celdas electroquímicas. Un medio para ventilar el sistema y un sistema de control para monitorizar y operar dicho sistema electroquímico, dicho sistema de control incluye un medio para detectar condiciones operativas anormales y un medio para degradar el funcionamiento de dicho sistema electroquímico en respuesta a dicha condición anormal.

En consideración de las circunstancias antes mencionadas, la presente descripción proporciona un mejor sistema y método para operar un sistema EHC de múltiples pilas.

En un aspecto, la presente descripción se dirige a un sistema compresor electroquímico de hidrógeno (EHC) de múltiples pilas. El sistema EHC puede incluir dos o más pilas EHC, en donde cada pila EHC incluye al menos una celda electroquímica y una fuente de alimentación. El sistema EHC puede incluir, además, un controlador en comunicación con la fuente de alimentación de cada pila EHC, en donde el controlador se configura para disminuir el consumo de energía total del sistema EHC mediante el control independiente de la fuente de alimentación de cada pila EHC. El sistema comprende, además, un circuito de distribución de agua configurado para que circule agua a través de cada pila EHC; un circuito de distribución de refrigerante configurado para que circule refrigerante a través de cada pila EHC; y al menos un sensor dispuesto en el circuito de distribución de refrigerante en la salida de cada pila y configurado para que genere una señal indicativa de la temperatura del refrigerante en la salida de la pila; y al menos un sensor dispuesto en el circuito de distribución de refrigerante, configurado para que genere una señal indicativa de la temperatura del refrigerante en la entrada de cada pila; en donde el sistema EHC se configura de manera que la distribución del flujo del refrigerante a través de cada pila se determina en base a un diferencial de temperatura del refrigerante a través de cada pila.

En otro aspecto, la presente descripción se dirige a un método de controlar un sistema compresor electroquímico de hidrógeno (EHC) de múltiples pilas que tiene dos o más pilas EHC. El método puede incluir dirigir un chorro de gas que contiene hidrógeno hacia las dos o más pilas EHC. El método puede incluir, además, suministrar potencia a las dos o más pilas EHC desde fuentes de alimentación independientes y controlar la potencia suministrada independientemente a cada pila EHC. El método comprende, además, circular agua a través de cada pila EHC; circular refrigerante a través de cada pila EHC; detectar la temperatura del refrigerante que sale de cada pila; detectar la temperatura del refrigerante que entra en cada pila; calcular un diferencial de temperatura del refrigerante a través de cada pila; y determinar la distribución del flujo del refrigerante a través de cada pila en base al diferencial de temperatura del refrigerante a través de cada pila.

Las ventajas y objetivos adicionales de la presente invención se expondrán en parte en la siguiente descripción y, en parte, serán obvios a partir de la descripción, o pueden aprenderse durante la práctica de la invención. Las ventajas y objetivos de la presente invención se comprenderán y alcanzarán por medio de los elementos y combinaciones particularmente destacadas en las reivindicaciones anexas.

Deberá entenderse que tanto la descripción general anterior como la siguiente descripción detallada son sólo ilustrativas y aclaratorias y no son restrictivas de la presente invención como se reivindica.

Las figuras acompañantes, las cuales se incorporan a esta descripción y constituyen una parte de la misma, ilustran varias modalidades de la presente invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la presente invención.

La Figura 1 ilustra un sistema compresor electroquímico de hidrógeno (EHC) de múltiples pilas, de acuerdo con una modalidad ilustrativa.

La Figura 2 ilustra un sistema EHC de múltiples pilas, de acuerdo con una modalidad ilustrativa.

La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un método de operar un sistema EHC de múltiples pilas.

La Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método de operar un sistema EHC de múltiples pilas.

La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un método de operar un sistema EHC de múltiples pilas.

Ahora se hará referencia en detalle a las modalidades ilustrativas de la presente descripción, cuyos ejemplos se ilustran en las figuras acompañantes. Donde quiera que sea posible, los mismos números de referencia se usarán a lo largo de todos los dibujos para referirse a las mismas partes o partes similares.

La presente invención se describe en la presente descripción con referencia modalidades ilustrativas para una aplicación particular, tal como, presurizar hidrógeno. Se entiende que las modalidades descritas en la presente descripción no se limitan a ellas. Aquellos con habilidades ordinarias en la técnica y con acceso a las enseñanzas que se proporcionan en la presente descripción reconocerán modificaciones, aplicaciones y modalidades adicionales, y substitución de

equivalentes que caen todas dentro del alcance de la presente descripción. En consecuencia, la presente invención no se limita por las anteriores ni por las siguientes descripciones.

5 La Figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema compresor electroquímico de hidrógeno (EHC) de múltiples pilas 100, de acuerdo con una modalidad ilustrativa. El sistema EHC 100 puede incluir una o más pilas EHC 120. Por ejemplo, el sistema EHC 100 como se muestra en la Figura incluye dos pilas EHC (es decir, la pila EHC 121 y la pila EHC 122). En otras modalidades, el sistema EHC 100 puede incluir más de dos pilas EHC. Por ejemplo, el sistema EHC 100 puede incluir 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25 o más pilas EHC. Cada pila EHC (por ejemplo, 121 y 122) puede incluir una o más celdas electroquímicas. Cada pila EHC podría incluir exactamente una única celda electroquímica o una pluralidad de celdas electroquímicas que varía, por ejemplo, de 2 a 500 o más. El número de celdas electroquímicas que forman cada pila EHC dentro del sistema EHC 100 puede ser el mismo para todas las pilas EHC o puede variar entre las pilas. Por ejemplo, la pila EHC 121 podría tener 250 celdas electroquímicas mientras que la pila EHC 122 podría tener 300 celdas electroquímicas.

15 Cada pila EHC (por ejemplo, 121 y 122) puede estar en comunicación eléctrica con una fuente de alimentación. Por ejemplo, la pila EHC 121 puede estar en comunicación eléctrica con una fuente de alimentación 151 mientras que la pila EHC 122 puede estar en comunicación eléctrica con una fuente de alimentación 152, como se muestra en la Figura 1. Cada fuente de alimentación 151/152 puede configurarse para suministrar potencia (P) a su correspondiente pila EHC 121/122. Cada fuente de alimentación 151/152 puede configurarse para que controle la potencia suministrada mediante el ajuste lo mismo de la corriente (I) que del potencial eléctrico (es decir, la tensión (V)). En cierta modalidad, una única fuente de alimentación puede configurarse para suministrar potencia a una pluralidad de las pilas EHC (por ejemplo, 121 y 122) y puede configurarse para que controle independientemente la potencia suministrada a cada pila EHC.

25 La corriente (I) suministrada por cada fuente de alimentación 151/152 puede variar, por ejemplo, en base al área activa de la pila, el número de celdas y las condiciones del proceso. De acuerdo con algunas modalidades, la corriente puede variar entre aproximadamente 0 a 400 amperios, 0 a 600 amperios, 0 a 800 amperios, 0 a 1000 amperios, o 0 a más de 1000 amperios. La tensión (V) suministrada por cada fuente de alimentación 151/152 también puede variar, por ejemplo, en base al área activa de la pila, el número de celdas y las condiciones del proceso. De acuerdo con algunas modalidades, la tensión puede variar entre aproximadamente 15 a 75 voltios, 15 a 100 voltios, 15 a 200 voltios, 15 a 300 voltios, 15 a 500 voltios, 15 a 1000 voltios, o 15 a más de 1000 voltios.

Como se conoce por un usuario con habilidades comunes en la técnica la relación entre potencia, tensión y corriente puede expresarse como la ecuación mostrada más adelante.

35  $P = IV$  Ecuación (4)

En consecuencia, variar la corriente y/o la tensión también puede provocar que varíe la potencia (P). La potencia (P) suministrada por cada fuente de alimentación 151/152 y consumida por cada pila EHC también puede variar, por ejemplo, en base al área activa de la pila, el número de celdas y las condiciones del proceso. De acuerdo con algunas modalidades, la potencia puede variar entre aproximadamente 3500 a 6000 vatios, 0 a 7500 vatios, 0 a 10000 vatios, 0 a 25000 vatios, 0 a 50000 vatios, o 0 a más de 50000 vatios.

45 Como se conoce por un usuario con habilidades comunes en la técnica la relación entre potencia (P) y corriente (I) puede expresarse en términos de la resistencia (R) como la ecuación mostrada más adelante.

$P = I^2R$  Ecuación (5)

50 La resistencia de cada pila EHC 121/122 puede variar, por ejemplo, en base al área activa y al número de celdas en la pila. La resistividad de cada celda individual en la pila también puede variar. De acuerdo con algunas modalidades, una única celda puede tener una resistividad de aproximadamente 10 a 200 mohmio\*cm<sup>2</sup>.

55 El sistema EHC 100 puede incluir, además, un controlador 110. El controlador 110 puede configurarse para la comunicación con cada fuente de alimentación 151 /152. El controlador 110 puede configurarse para que controle la potencia (P) que da a la salida cada fuente de alimentación 151/152 mediante la variación de la corriente (I) y/o de la tensión (V) como se describió anteriormente. El controlador 110 puede configurarse de manera que la potencia que da a la salida cada fuente de alimentación 151/152 como se controla por el controlador 110 es sustancialmente la misma o es única para cada pila EHC 121/122.

60 El sistema EHC 100 puede incluir, además, un circuito de distribución de hidrógeno 170 configurado para dirigir un gas que contiene hidrógeno hacia cada pila EHC y después recoger el hidrógeno a presión desde cada pila EHC y dirigirlo fuera del sistema EHC 100. El circuito de distribución de hidrógeno 170 puede incluir una pluralidad de pasajes o conductos configurados para transportar el gas que contiene hidrógeno y el hidrógeno a presión. El sistema EHC 100 puede incluir, además, un flujómetro 171 dispuesto en un pasaje del circuito de distribución de hidrógeno en la entrada del sistema EHC 100. El flujómetro 171 puede configurarse para que genere una señal indicativa de la tasa de flujo total

del gas que contiene hidrógeno que se dirige hacia el sistema EHC 100. El flujómetro 171 puede configurarse para que transmita la señal hacia el controlador 110.

5 El sistema EHC 100 puede incluir, además, un circuito de distribución de agua 130 y un circuito de distribución de refrigerante 140. El circuito de distribución de agua 130 puede incluir una pluralidad de pasajes o conductos configurados para distribuir una corriente de agua (por ejemplo, líquida y/o en vapor) hacia cada pila EHC y después recoger la corriente de agua descargada desde cada pila EHC y dirigir la corriente de agua fuera del sistema EHC 100 o la corriente de agua recogida puede reciclarse. La corriente de agua puede usarse dentro de cada pila, por ejemplo, para controlar la humedad dentro de cada celda electroquímica y mantener la conductividad del electrolito.

10 El circuito de distribución de refrigerante 140 puede incluir una pluralidad de pasajes o conductos configurados para circular el refrigerante a través de cada pila EHC. El refrigerante que circula a través de cada pila EHC puede configurarse para que regule la temperatura de cada pila mediante la extracción del calor desde la pila.

15 El sistema EHC 100 puede incluir, además, un primer sensor 161, un segundo sensor 162 y un tercer sensor 163. El primer sensor 161 puede configurarse para que genere una señal indicativa de la temperatura del refrigerante que sale de la pila EHC 121. El segundo sensor 162 puede configurarse para que genere una señal indicativa de la temperatura del refrigerante que sale de la pila EHC 122. El tercer sensor 163 puede configurarse para que genere una señal indicativa de la temperatura del refrigerante que entra en las pilas EHC 121 y 122. El controlador 110 puede estar en comunicación con el primer sensor 161, el segundo sensor 162 y el tercer sensor 163. El controlador 110 puede configurarse para que reciba cada señal y, en base a la señal, calcule un cambio de temperatura del refrigerante dentro de la pila EHC 121 y la pila EHC 122. En base al cambio de temperatura del refrigerante dentro de cada pila, el controlador 110 puede calcular la distribución del flujo del refrigerante dentro de cada pila mediante la utilización del cambio de temperatura y la potencia de cada pila. Por ejemplo, dada la física de la pila EHC, el potencial electroquímico debido al diferencial de presión puede calcularse mediante el uso de la ecuación de Nernst mostrada más adelante.

$$E = E_0 - \frac{RT}{zF} \cdot \ln\left(\frac{p_{red}}{p_{ox}}\right) \quad \text{Ecuación (6)}$$

30 La presión de hidrógeno en el ánodo y cátodo es la fuente del diferencial de la concentración. Este potencial de Nernst es reversible y no contribuye a la generación de calor en la pila. Mediante la sustracción del potencial electroquímico reversible del potencial eléctrico aplicado total desde la fuente de alimentación, puede estimarse la cantidad total de calor (Q) que debe extraerse de la pila. Con el conocimiento de la capacidad calorífica del refrigerante y la elevación de la temperatura a través de la pila de 163 a 161 o 162, puede calcularse la tasa de flujo del refrigerante mediante el uso de la ecuación (7) mostrada más adelante.

$$\dot{m} = \frac{Q}{c_p \cdot \Delta T} \quad \text{Ecuación (7)}$$

40 Calcular la distribución del flujo del refrigerante en base al cambio de temperatura puede simplificar el sistema EHC 100 porque deja margen para eliminar los flujómetros individuales asociados con cada pila.

45 La Figura 2 muestra una ilustración esquemática de un sistema EHC de múltiples pilas 200, que es similar al sistema EHC 100, sin embargo, el sistema EHC 200 incluye cinco pilas EHC. Como se muestra en la Figura 2, el sistema EHC 200 incluye las pilas EHC 221, 222, 223, 224 y 225. Cada pila EHC puede estar en comunicación eléctrica con una fuente de alimentación (es decir, 251, 252, 253, 254 y 255). En algunas modalidades, cada pila EHC puede estar en comunicación eléctrica con una única fuente de alimentación configurada para controlar independientemente la potencia suministrada a cada pila EHC. En otras palabras, en la presente descripción, donde se describen fuentes de alimentación independientes, en algunas modalidades estas podrían sustituirse con un único módulo de potencia que puede suministrar independientemente potencia controlada a múltiples cargas.

50 El sistema EHC 200 puede incluir, además, un controlador 210 en comunicación con cada fuente de alimentación. El sistema EHC puede incluir, además, un circuito de distribución de hidrógeno 270. Con el propósito de mantener las características de la Figura 2 identificables fácilmente, no se han mostrado los circuitos de distribución de agua y refrigerante. Sin embargo, el EHC 200 puede incluir ambos circuitos de distribución de agua y refrigerante igual que el EHC 100, aunque expandidos para incorporar las pilas EHC adicionales (por ejemplo, 253, 254 y 255).

60 El sistema EHC 200 como se muestra en la Figura 2 se usó para tres pruebas separadas de análisis numérico (es decir, Prueba 1, Prueba 2 y Prueba 3). Cada pila EHC dentro del sistema EHC 200 usado para las tres pruebas consistía en 256 celdas electroquímicas y cada celda tenía un área de aproximadamente 250 cm<sup>2</sup>. Para cada prueba se supusieron presiones de operación equivalentes para todas las pilas (es decir, iguales potenciales de Nernst).

#### Prueba 1

65 La Prueba 1 consistió en operar el sistema EHC 200 de acuerdo con un esquema de alimentación tradicional donde se suministra una corriente total de 1250 amperios e igual corriente se suministra a cada pila EHC. Este escenario ilustra el

funcionamiento como sería el caso si se usase solamente una única fuente de alimentación para el sistema completo para alimentar cada pila. Para la Prueba 1, la corriente suministrada a cada pila (es decir, 221, 222, 223, 224 y 225) fue de 250 amperios desde cada fuente de alimentación correspondiente (es decir, 251, 252, 253, 254 y 255). La Tabla 1 más adelante muestra los parámetros y resultados para cada pila para la Prueba 1.

Tabla 1

Pila	Potencia (P)	Resistencia	Área	Celdas	Resistencia (R)	Corriente (I)	Tensión (V)
	(W)	(mohmio*cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	#	(ohmio)	(amperios)	(voltios)
251	5760	90	250	256	0.092160	250	23.04
252	4608	72	250	256	0.073728	250	18.432
253	4608	72	250	256	0.073728	250	18.432
254	4992	78	250	256	0.079872	250	19.968
255	3840	60	250	256	0.061440	250	15.36
<b>P<sub>Total</sub></b>	23808				<b>I<sub>Total</sub></b>	1250	

Como se muestra en la Tabla 1, la pila 251 tiene la mayor resistencia de 0.092160 ohmios mientras que la pila 255 tiene la menor resistencia de 0.061440 ohmios. Como resultado de la mayor resistencia, el suministro a la pila 251 de una corriente de 250 amperios dio como resultado un consumo de potencia de 5760 vatios y el suministro a la pila 255 de una corriente de 250 amperios dio como resultado un consumo de potencia de 3840 vatios. En correspondencia con el mayor consumo de potencia, la pila 251 también recibió el mayor potencial eléctrico de 23.04 voltios.

La pila EHC 251 puede caracterizarse como la pila de peor rendimiento debido a la alta resistencia y al consumo de energía. La alta resistencia y el consumo de energía podrían provocarse por una variedad de problemas, por ejemplo, una o más celdas defectuosas con la pila, alta conductividad del electrolito dentro de una o más celdas, baja humedad, contaminación iónica del electrolito, envenenamiento del catalizador, contacto eléctrico pobre entre los componentes internos de la pila, distribución no apropiada del gas, desigualdades térmicas, etc. La pila EHC 255 puede caracterizarse como la pila de mejor rendimiento debido a la baja resistencia y consumo de energía. La pila EHC 251 exhibió una resistividad 50 % mayor que la de la pila EHC 255, que equivalía a 1920 vatios más de consumo de potencia. Al menos una porción de la potencia consumida por cada pila se convierte en calor. Por lo tanto, la potencia consumida adicional por la pila EHC 251 provocó que la pila EHC 151 funcionase a una temperatura mayor que la de todas las pilas.

Prueba 2

Como se describe en la presente descripción, la Prueba 1 demuestra el esquema de alimentación tradicional donde a cada pila EHC se suministra la misma cantidad de corriente (por ejemplo, 250 amperios). En la Prueba 2, en lugar de suministrar a cada pila la misma cantidad de corriente, a cada pila se le suministró el mismo potencial eléctrico o tensión (es decir, 18.72 voltios) por cada fuente de alimentación correspondiente. La Tabla 2 más adelante muestra los parámetros y resultados para cada pila de la Prueba 2.

Tabla 2.

Pila	Potencia (P)	Resistencia	Área	Celdas	Resistencia (R)	Corriente (I)	Tensión (V)
	(W)	(mohmio*cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	#	(ohmio)	(amperios)	(voltios)
251	3803	90	250	256	0.092160	203.12	18.72
252	4753	72	250	256	0.073728	253.91	18.72
253	4753	72	250	256	0.073728	253.91	18.72
254	4387	78	250	256	0.079872	234.37	18.72
255	5704	60	250	256	0.061440	304.69	18.72
<b>P<sub>Total</sub></b>	23400				<b>I<sub>Total</sub></b>	1250	
<b>Δ P(W)</b>	408	1.71 %	<b>Ahorros</b>				
<b>kWh/día</b>	9.792						
<b>kWh/kg</b>	0.039168						

Como se muestra en la Tabla 2, la resistencia de cada pila no ha cambiado respecto a la Prueba 1. En la Prueba 2, el potencial eléctrico (es decir, la tensión) suministrado a cada pila se emparejó para cada pila EHC mientras que la corriente individual para cada pila varió entre las pilas EHC. Aunque la corriente individual para cada pila varió para la Prueba 2, la corriente total se controló para que permaneciese igual que en la Prueba 1 (es decir, 1250 amperios).

El emparejamiento de la tensión de cada pila en lugar del de la corriente puede permitir que se reduzca la potencia total consumida en comparación con la potencia total consumida para la Prueba 1. La reducción de la potencia total puede atribuirse a la mayor utilización de la pila de mejor rendimiento (por ejemplo, 255) y la menor utilización de la pila de peor rendimiento (por ejemplo, 251). Esa distribución puede lograrse debido a las fuentes de alimentación individuales asociadas con cada pila EHC.

La mayor utilización de la pila EHC 255 y la menor utilización de la pila EHC 251 fue un resultado del diferencial de corriente aplicado a las pilas EHC. Como se muestra en la Tabla 2, se aplicaron 203.12 amperios a la pila EHC 251 mientras que se aplicaron 304.69 amperios a la pila EHC 255. Como resultado, para la Prueba 2, la pila EHC 251 consumió la mínima potencia (es decir, 3803 vatios) mientras que la pila EHC 255 consumió ahora la máxima potencia (es decir, 5704 vatios). Por lo tanto, la pila de mejor rendimiento (por ejemplo, 255) es ahora la pila que funciona a la mayor temperatura, en contraste con la Prueba 1 donde la pila de peor rendimiento (por ejemplo, 251) funcionaba a la mayor temperatura.

Para la Prueba 2, la potencia total consumida fue de 23400 vatios que es 408 vatios menos de la potencia consumida para la Prueba 1. Así, el emparejamiento del potencial eléctrico (por ejemplo, 18.72 voltios) de las pilas EHC a la vez que se mantiene la corriente total igual (por ejemplo, 1250 amperios), redujo la potencia consumida en aproximadamente 1.71 %. La relación de este esquema de alimentación puede representarse por las ecuaciones 8 y 9 mostradas más adelante.

$$\min(P_{tot}) \mid I_{tot} \sim H_2 \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots V_n \mid I_{tot} \sim H_2 \quad \text{Ecuación (9)}$$

### Prueba 3

En la Prueba 3, en lugar de emparejar el potencial eléctrico, la corriente total se mantuvo en 1250 amperios a la vez que se varió la tensión de manera que se emparejó la potencia consumida (P) de cada pila EHC. Esta relación puede representarse por la ecuación 10 mostrada más adelante.

$$P_1 = P_2 = P_3 = \dots P_n \mid I_{tot} \sim H_2 \quad \text{Ecuación (10)}$$

La Tabla 2 más abajo muestra los parámetros y resultados para cada pila durante la Prueba 3.

Tabla 3

Pila	Potencia (P) (W)	Resistencia (ohmio*cm <sup>2</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )	Celdas #	Resistencia (R) (ohmio)	Corriente (I) (amperios)	Tensión (V) (voltios)
251	4700.34	90	250	256	0.092160	225.84	20.81
252	4700.34	72	250	256	0.073728	252.49	18.62
253	4700.34	72	250	256	0.073728	252.49	18.62
254	4700.34	78	250	256	0.079872	242.59	19.38
255	4700.34	60	250	256	0.061440	276.59	16.99
<b>P<sub>Total</sub></b>	23501.72				<b>I<sub>Total</sub></b>	1250	
<b>Δ P(W)</b>	306.28	1.29	Ahorros				
<b>kWh/día</b>	7.3508						
<b>kWh/kg</b>	0.029403						

Como se muestra en la Tabla 3, la resistencia de cada pila no ha cambiado respecto a las Pruebas 1 y 2. El valor resultante de la potencia consumida para cada pila EHC fue de aproximadamente 4,700.34 vatios que hizo la potencia total de 23,501.72 vatios, que es un ahorro de 1.29 % sobre la de la Prueba 1. Aunque el ahorro de la Prueba 3 es menor que el de la Prueba 2, emparejar la potencia consumida de cada pila EHC mantiene una carga térmica equivalente, y de ese modo puede atribuirse a una mayor durabilidad y longevidad del sistema total.

La Figura 3 ilustra un proceso ejecutado por un sistema EHC de múltiples pilas. Los procesos descritos en la presente descripción pueden corresponderse al sistema EHC 100 y/o al sistema EHC 200, así como también a otras modalidades. El sistema EHC 100/200 como se describe en la presente descripción puede configurarse de manera que un chorro de gas que contiene hidrógeno puede dirigirse a las dos o más pilas EHC en la etapa 302. El controlador 110/210 puede configurarse de manera que puede aplicarse potencia a cada pila EHC y posibilitar la determinación de la resistencia de cada pila EHC dentro del sistema EHC 100/200, en la etapa 304.

En la etapa 306, el controlador 110/210 puede determinar la corriente total (I) que va a suministrarse al sistema EHC 100 en base a la producción deseada de hidrógeno. El controlador 110/210 puede recibir la producción deseada de hidrógeno, por ejemplo, desde el sensor de flujo 171/271 o puede ser una entrada programada del usuario. La corriente total puede variar en base a la presión y a la tasa de flujo del chorro de gas que contiene hidrógeno suministrado al sistema EHC 100. En la etapa 308, el controlador 110/210 puede funcionar como se describe en la Prueba 2 mediante el emparejamiento del potencial eléctrico aplicado a cada EHC y la optimización de la distribución de corrientes entre las pilas EHC a la vez que se logra el valor de la corriente total.

La Figura 4 ilustra un proceso ejecutado por el sistema EHC de múltiples pilas 100 similar al proceso ilustrado en la Figura 3. Las etapas 402, 404 y 406 mostradas en la Figura 4 pueden ser iguales a las etapas 302, 304 y 306 mostradas en la Figura 3. La etapa 408 mostrada en la Figura 4 puede ser diferente de la etapa 308. En la etapa 408, el controlador 110/210 puede funcionar como se describe en la Prueba 3 mediante el emparejamiento de la potencia de cada pila EHC mientras se optimiza la distribución de corrientes entre las pilas EHC a la vez que se logra el valor de la corriente total.

La Figura 5 ilustra un proceso ejecutado por el sistema EHC de múltiples pilas 100 similar al proceso ilustrado en la Figura 4. Las etapas 502 y 506 mostradas en la Figura 5 pueden ser iguales a las etapas 402 y 406 mostradas en la Figura 4. Las etapas 504 y 508 mostradas en la Figura 5 pueden ser diferentes de las etapas 404 y 408. El controlador 110/210 puede configurarse de manera que puede aplicarse potencia a cada pila EHC y posibilitar la determinación de una elevación de la temperatura (por ejemplo, diferencia) por cada pila EHC dentro del sistema EHC 100/200, en la etapa 504. Por ejemplo, la elevación de la temperatura puede calcularse en base a la elevación de la temperatura del refrigerante a través del EHC. En la etapa 508, el controlador 110/210 puede funcionar como se describe lo mismo en la Prueba 2 que en la Prueba 3 mediante el emparejamiento lo mismo del potencial eléctrico que de la potencia de cada pila EHC mientras se optimiza la distribución de corrientes entre las pilas EHC a la vez que se logra el valor de la corriente total. La elevación de la temperatura de cada celda puede utilizarse por el controlador 110/210 para establecer la distribución de potencia a cada celda.

Será evidente para los expertos en la técnica que pueden hacerse varias modificaciones y variaciones al sistema y método descritos. Otras modalidades serán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la consideración de la descripción y la práctica del sistema y método descritos. Se pretende que la descripción y los ejemplos se consideren solamente ilustrativos, con un alcance verdadero que se indica por las siguientes reivindicaciones y sus equivalentes.

Reivindicaciones

1. Un sistema compresor electroquímico de hidrógeno (EHC) de múltiples pilas (100), que comprende:  
 5 dos o más pilas EHC (121, 122), en donde cada pila EHC comprende;  
 al menos una celda electroquímica; y  
 una fuente de alimentación (151, 152);  
 un controlador (110) en comunicación con la fuente de alimentación (151, 152) de cada pila EHC (121, 122);  
 en donde el controlador (110) se configura para controlar independientemente la fuente de alimentación (151, 152)  
 10 de cada pila EHC (121, 122);  
 caracterizado porque el sistema comprende, además:  
 un circuito de distribución de agua (130) configurado para circular agua a través de cada pila EHC (121, 122);  
 un circuito de distribución de refrigerante (140) configurado para circular refrigerante a través de cada pila EHC  
 (121, 122); y  
 15 al menos un sensor (161, 162) dispuesto en el circuito de distribución de refrigerante (140) en la salida de cada  
 pila (121, 122) y configurado para generar una señal indicativa de la temperatura del refrigerante en la salida de la  
 pila; y  
 al menos un sensor (163) dispuesto en el circuito de distribución de refrigerante (140), configurado para generar  
 una señal indicativa de la temperatura del refrigerante en la entrada de cada pila (121, 122);  
 en donde el sistema EHC se configura de manera que una distribución del flujo del refrigerante a través de cada  
 20 pila (121, 122) se determina en base a un diferencial de temperatura del refrigerante a través de cada pila.
2. El sistema EHC de la reivindicación 1, en donde el controlador (110) se configura para controlar la fuente de  
 alimentación (151, 152) de cada pila EHC (121, 122), que incluye emparejar la potencia de cada pila, a la vez que  
 se mantiene un flujo de corriente total hacia el sistema en base a una producción deseada de hidrógeno.  
 25
3. El sistema EHC de la reivindicación 2, en donde el controlador (110) se configura para controlar la fuente de  
 alimentación (151, 152) de cada pila EHC (121, 122) mediante el emparejamiento sustancial de la generación de  
 calor por cada pila.
4. El sistema EHC de la reivindicación 1, en donde el controlador (110) se configura para controlar la fuente de  
 alimentación (151, 152) de cada pila EHC (121, 122) mediante el emparejamiento sustancial del potencial eléctrico  
 aplicado a cada pila EHC mientras se optimiza la distribución de corrientes aplicadas a cada pila EHC.  
 30
5. El sistema EHC de la reivindicación 4, en donde la pila EHC de mejor rendimiento (121, 122) se configura para  
 que sea la pila de mayor temperatura y la pila EHC de peor rendimiento se configura para que sea la pila de menor  
 temperatura.  
 35
6. El sistema EHC de la reivindicación 1, en donde el controlador (110) se configura, además, para controlar la  
 potencia de manera que la carga térmica de cada pila (121, 122) sea prácticamente igual.  
 40
7. El sistema EHC de la reivindicación 1, en donde los sensores (161, 162, 163) se configuran para generar una señal  
 indicativa de la diferencia de temperatura por cada pila EHC (121, 122);  
 en donde el controlador (110) se configura de manera que la diferencia de temperatura de cada pila (121, 122) se  
 utiliza para determinar una distribución de potencia de las fuentes de alimentación (151, 152).  
 45
8. Un método de controlar un sistema compresor electroquímico de hidrógeno (EHC) de múltiples pilas (100) que  
 tiene dos o más pilas EHC (121, 122), que comprende:  
 dirigir un chorro de gas que contiene hidrógeno (170) hacia las dos o más pilas EHC (121, 122);  
 suministrar potencia a las dos o más pilas EHC desde fuentes de alimentación independientes (151, 152); y  
 50 controlar la potencia suministrada independientemente a cada pila EHC (121, 122);  
 caracterizado porque el método comprende, además:  
 circular agua (130) a través de cada pila EHC (121, 122);  
 circular refrigerante (140) a través de cada pila EHC (121, 122);  
 detectar la temperatura del refrigerante que sale de cada pila (161, 162);  
 55 detectar la temperatura del refrigerante que entra en cada pila (163);  
 calcular un diferencial de temperatura del refrigerante a través de cada pila (121, 122); y  
 determinar una distribución del flujo del refrigerante a través de cada pila (121, 122) en base al diferencial de  
 temperatura del refrigerante a través de cada pila.
9. El método de la reivindicación 8, en donde controlar la potencia incluye emparejar la potencia de cada pila EHC  
 (121, 122), a la vez que se mantiene una corriente total al sistema suficiente para cumplir con una producción  
 deseada de hidrógeno (170).  
 60
10. El método de la reivindicación 9, en donde controlar la potencia comprende, además, emparejar sustancialmente  
 la carga térmica de cada pila EHC (121, 122).  
 65

11. El método de la reivindicación 8, en donde controlar la potencia incluye emparejar sustancialmente el potencial eléctrico aplicado a cada pila EHC (121, 122) mientras se optimiza la distribución de corrientes aplicadas a cada pila EHC (121, 122).
- 5 12. El método de la reivindicación 8, en donde controlar la potencia incluye suministrar la máxima corriente a la pila EHC de mejor rendimiento (121, 122) del sistema de manera que esta sea la pila de mayor temperatura a la vez que se suministra la mínima corriente a la pila EHC de peor rendimiento del sistema de manera que esta sea la pila de menor temperatura (121, 122).
- 10 13. El método de la reivindicación 8, en donde controlar la potencia incluye equilibrar sustancialmente la carga térmica de todas las pilas (121, 122).
- 15 14. El método de la reivindicación 4, que comprende, además;  
detectar una diferencia de temperatura por cada pila EHC (121, 122);  
en donde controlar la potencia independientemente incluye utilizar la diferencia de temperatura de cada pila (121, 122) para determinar una distribución de potencia de las fuentes de alimentación independientes (151, 152).



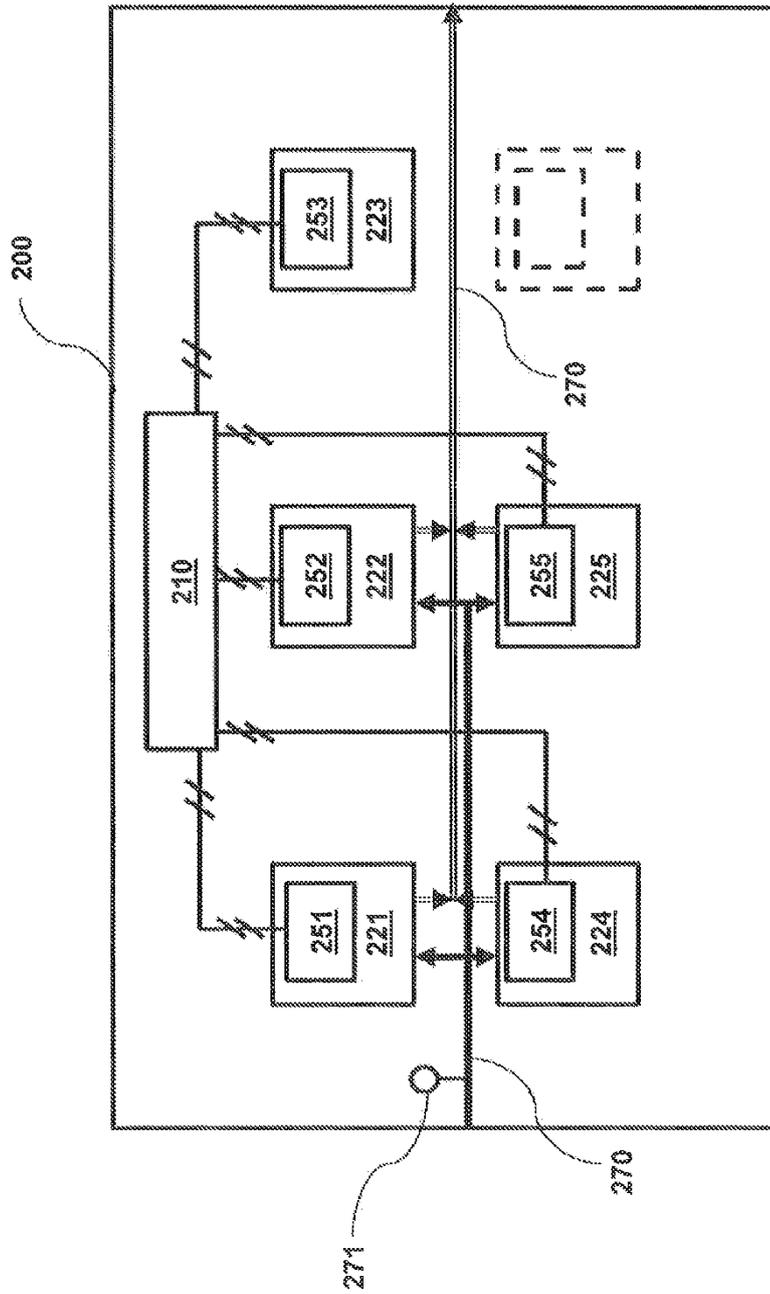


FIG. 2

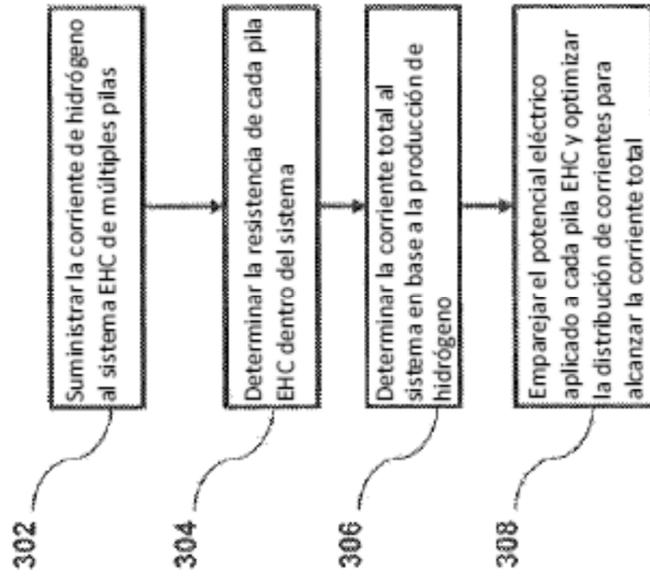


FIG. 3

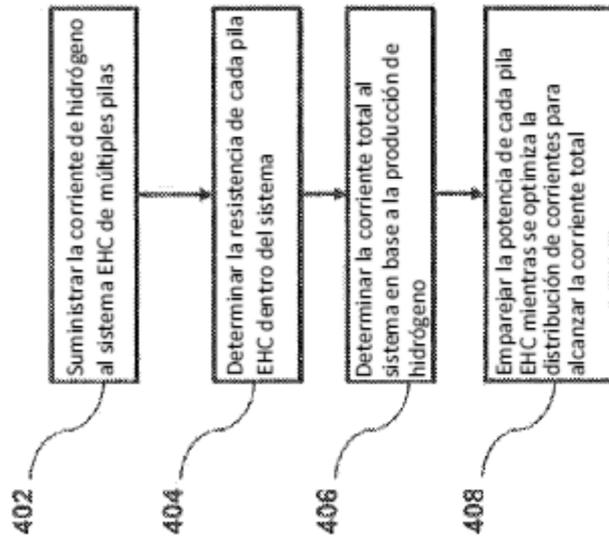


FIG. 4

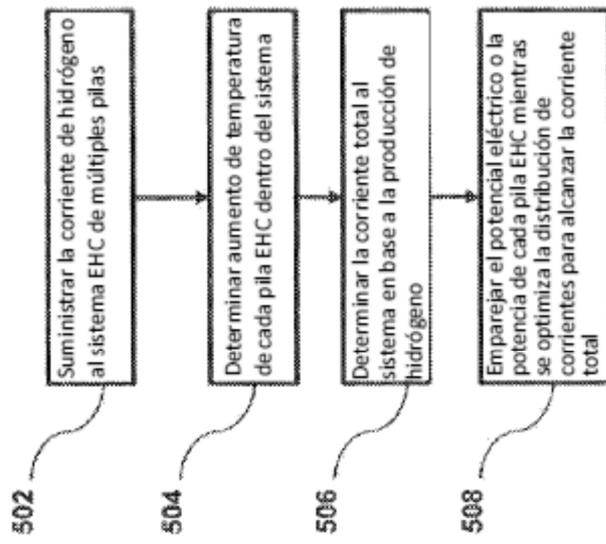


FIG. 5