

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 659**

51 Int. Cl.:

<b>C25B 1/04</b>	(2011.01)	<b>C25B 9/70</b>	(2011.01)
<b>C25B 9/00</b>	(2011.01)		
<b>C25B 9/21</b>	(2011.01)		
<b>H01M 8/12</b>	(2006.01)		
<b>H01M 8/2432</b>	(2006.01)		
<b>H01M 8/247</b>	(2006.01)		
<b>H01M 8/248</b>	(2006.01)		
<b>H01M 8/249</b>	(2006.01)		
<b>C25B 1/042</b>	(2011.01)		
<b>C25B 9/65</b>	(2011.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2023** **E 23162019 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.07.2024** **EP 4249640**

54 Título: **Sistema de acondicionamiento de una pluralidad de subpilas de celdas de óxido sólido del tipo SOEC/SOFC a alta temperatura superpuestas**

30 Prioridad:  
**22.03.2022 FR 2202538**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**12.11.2024**

73 Titular/es:  
**COMMISSARIAT À L'ENERGIE ATOMIQUE ET  
AUX ENERGIESALTERNATIVES (100.0%)  
25 Rue LeblancBat Le Ponant  
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:  
**DEVANCIARD, NICOLAS**

74 Agente/Representante:  
**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 986 659 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 acondicionamiento de una pluralidad de subpilas de celdas de óxido sólido del tipo SOEC/SOFC a alta temperatura superpuestas

5

Campo técnico

La presente invención se refiere al campo general de la electrólisis a alta temperatura (EHT), en particular a la electrólisis de vapor de agua a alta temperatura (EVHT), designada con los nombres en inglés "High Temperature Electrolysis" (HTE) y "High Temperature Steam Electrolysis". " (HTSE), la electrólisis del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o incluso la coelectrólisis de vapor de agua y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a alta temperatura.

10

Más precisamente, la invención se refiere al campo de los electrolizadores de óxido sólido de alta temperatura, habitualmente designados con el acrónimo SOEC (por "Solid Oxide Electrolysis Cell" en inglés).

15

También se refiere al campo de las pilas de combustible de óxido sólido de alta temperatura, normalmente denominadas con el acrónimo SOFC (por "Solid Oxide Fuel Cells" en inglés).

20

Así, de manera más general, la invención se refiere al campo de las pilas de celdas de óxido sólido del tipo SOEC/SOFC que funcionan a alta temperatura.

Más concretamente, la invención se refiere a un sistema de acondicionamiento de una pluralidad de subpilas de celdas de óxido sólido superpuestas tipo SOEC/SOFC que funcionan a alta temperatura, permitiendo el acondicionamiento simultáneo de las subpilas.

25

Técnica anterior

En el contexto de un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura del tipo SOEC, se trata de transformar, mediante una corriente eléctrica, dentro del mismo dispositivo electroquímico, el vapor de agua (H<sub>2</sub>O) a dihidrógeno (H<sub>2</sub>) y dióxígeno (O<sub>2</sub>), y/o transformar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en monóxido de carbono (CO) y dióxígeno (O<sub>2</sub>). En el contexto de una pila de combustible de óxido sólido de alta temperatura del tipo SOFC, se invierte la operación para producir corriente eléctrica y calor al ser alimentada con dihidrógeno (H<sub>2</sub>) u otros combustibles como el metano (CH<sub>4</sub>), gas natural, biogás y dióxígeno (O<sub>2</sub>), normalmente en el aire. En aras de la simplicidad, la siguiente descripción favorece el funcionamiento de un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura del tipo SOEC que lleva a cabo la electrólisis del vapor de agua. Sin embargo, esta operación es aplicable a la electrólisis del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o incluso la coelectrólisis de vapor de agua a alta temperatura (EHT) con dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Además, esta operación se puede trasladar al caso de una pila de combustible de óxido sólido de alta temperatura del tipo SOFC.

30

35

40

Para llevar a cabo la electrólisis del agua, es ventajoso realizarla a alta temperatura, típicamente entre 600 y 1000 °C, porque es más ventajoso electrolizar vapor de agua que agua líquida y porque una parte de la energía necesaria para la reacción puede ser proporcionada por calor, más barato que la electricidad.

45

Para realizar la electrólisis del vapor de agua a alta temperatura (EHT o EVHT), un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura del tipo SOEC está formado por una pila de unidades elementales cada una de las cuales comprende una celda de electrólisis de óxido sólido, o incluso una celda electroquímica, formada por tres capas de ánodo/electrolito/cátodo superpuestas entre sí, y placas de interconexión fabricadas en aleaciones metálicas, también llamadas placas bipolares o interconectores. Cada celda electroquímica está intercalada entre dos placas de interconexión. Un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura del tipo SOEC es entonces una pila alterna de celdas electroquímicas e interconectores. Una pila de combustible de óxido sólido de alta temperatura del tipo SOFC está formada por el mismo tipo de pila de unidades elementales. Al ser reversible esta tecnología de alta temperatura, la misma pila puede funcionar en modo de electrólisis y producir hidrógeno y oxígeno a partir de agua y electricidad, o en modo de pila de combustible y producir electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno.

50

55

Cada celda electroquímica corresponde a un conjunto electrolito/electrodo, que es típicamente un conjunto cerámico multicapa cuyo electrolito está formado por una capa central conductora de iones, siendo esta capa sólida, densa e impermeable, e intercalada entre las dos capas porosas que forman los electrodos. Cabe señalar que pueden existir capas adicionales, pero que solo sirven para mejorar una o más de las capas ya descritas.

60

Los dispositivos de interconexión, eléctricos y fluidicos, son conductores electrónicos que aseguran, desde el punto de vista eléctrico, la conexión de cada celda electroquímica de unidad elemental en la pila de patrones elementales, garantizando el contacto eléctrico entre una cara y el cátodo de una celda y entre la otra cara y el ánodo de la siguiente celda, y desde un punto de vista fluidoico, el suministro de reactivos y la evacuación de productos para cada una de las celdas. Los interconectores cumplen así las funciones de suministro y

65

recogida de corriente eléctrica y delimitan compartimentos de circulación de gas, para su distribución y/o recogida.

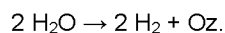
Más precisamente, la función principal de los interconectores es garantizar el paso de la corriente eléctrica pero también la circulación de los gases en las proximidades de cada celda (a saber: vapor de agua inyectado, hidrógeno y oxígeno extraídos para la electrólisis EHT; aire y combustible, incluido el hidrógeno inyectado y vapor de agua extraído para una pila SOFC), y separar los compartimientos anódico y catódico de dos celdas adyacentes, que son los compartimientos de circulación de gas en el lado respectivamente de los ánodos y cátodos de las celdas.

En particular, para un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura del tipo SOEC, el compartimento catódico comprende vapor de agua e hidrógeno, producto de la reacción electroquímica, mientras que el compartimento anódico comprende un gas de drenaje, si está presente, y oxígeno, otro producto de la reacción electroquímica. Para una pila de combustible de óxido sólido de alta temperatura del tipo SOFC, el compartimento anódico contiene el combustible, mientras que el compartimento catódico contiene el oxidante.

Para realizar la electrólisis del vapor de agua a alta temperatura (EHT), inyectamos vapor de agua (H<sub>2</sub>O) en el compartimento catódico. Bajo el efecto de la corriente eléctrica aplicada a la pila, la disociación de las moléculas de agua en forma de vapor se lleva a cabo en la interfaz entre el electrodo de hidrógeno (cátodo) y el electrolito: esta disociación produce gas dihidrógeno (H<sub>2</sub>) e iones de oxígeno (O<sup>2-</sup>). El dihidrógeno (H<sub>2</sub>) se recoge y se evacua a la salida del compartimento de hidrógeno. Los iones de oxígeno (O<sup>2-</sup>) migran a través del electrolito y se recombinan en dióxígeno (O<sub>2</sub>) en la interfaz entre el electrolito y el electrodo de oxígeno (ánodo). Un gas de drenaje, como por ejemplo aire, puede circular por el ánodo y recoger así el oxígeno generado en forma gaseosa en el ánodo.

Para garantizar el funcionamiento de una pila de combustible de óxido sólido (SOFC), se inyecta aire (oxígeno) en el compartimento catódico de la pila e hidrógeno en el compartimento anódico. El oxígeno del aire se disociará en iones O<sup>2-</sup>. Estos iones migrarán en el electrolito desde el cátodo al ánodo para oxidar el hidrógeno y formar agua con una producción simultánea de electricidad. En una celda SOFC, al igual que en la electrólisis SOEC, el vapor de agua se encuentra en el compartimento de dihidrógeno (H<sub>2</sub>). Sólo se invierte la polaridad.

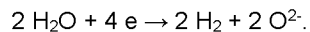
A modo de ilustración, la figura 1 representa una vista esquemática que muestra el principio de funcionamiento de un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura del tipo SOEC. La función de dicho electrolizador es transformar el vapor de agua en hidrógeno y oxígeno según la siguiente reacción electroquímica:



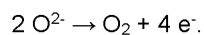
Esta reacción se lleva a cabo electroquímicamente en las celdas del electrolizador. Como se muestra esquemáticamente en la figura 1, cada celda de electrólisis elemental 1 está formada por un cátodo 2 y un ánodo 4, colocados a cada lado de un electrolito sólido 3. Los dos electrodos (cátodo y ánodo) 2 y 4 son conductores electrónicos y/o iónicos, fabricados de material poroso, y el electrolito 3 es estanco a los gases, aislante electrónico y conductor iónico. El electrolito 3 puede ser en particular un conductor aniónico, más precisamente un conductor aniónico de iones O<sup>2-</sup> y el electrolizador se llama entonces electrolizador aniónico, a diferencia de los electrolitos protónicos (H<sup>+</sup>).

Las reacciones electroquímicas tienen lugar en la interfaz entre cada uno de los conductores electrónicos y el conductor iónico.

En el cátodo 2, la semirreacción es la siguiente:



En el ánodo 4, la semirreacción es la siguiente:



El electrolito 3, interpuesto entre los dos electrodos 2 y 4, es el lugar de migración de los iones O<sup>2-</sup> bajo el efecto del campo eléctrico creado por la diferencia de potencial impuesta entre el ánodo 4 y el cátodo 2.

Como se ilustra entre paréntesis en la figura 1, el vapor de agua que ingresa al cátodo puede ir acompañado de hidrógeno H<sub>2</sub> y el hidrógeno producido y recuperado a la salida puede ir acompañado de vapor de agua. Asimismo, como se ilustra en las líneas de puntos, también se puede inyectar un gas de drenaje, como aire, en la entrada del lado del ánodo para evacuar el oxígeno producido. La inyección de un gas de drenaje tiene

la función adicional de actuar como regulador térmico.

Un electrolizador, o reactor de electrólisis, elemental consta de una celda elemental como se describió anteriormente, con un cátodo 2, un electrolito 3 y un ánodo 4, y dos interconectores que proporcionan las funciones de distribución eléctrica y fluidica.

Para aumentar los caudales de hidrógeno y oxígeno producidos, es conocido apilar varias celdas de electrólisis elementales unas sobre otras, separándolas mediante interconectores. El conjunto está colocado entre dos placas de interconexión de extremos que soportan las alimentaciones eléctricas y las alimentaciones de gas del electrolizador (reactor de electrólisis).

Un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura del tipo SOEC comprende así al menos una, generalmente una pluralidad de celdas de electrólisis apiladas una encima de otra, estando formada cada celda elemental por un electrolito, un cátodo y un ánodo, interponiéndose el electrolito entre el ánodo y el cátodo.

Como se indicó anteriormente, los dispositivos de interconexión eléctrica y fluidica que están en contacto eléctrico con uno o más electrodos generalmente proporcionan las funciones de suministrar y recolectar corriente eléctrica y delimitan uno o más compartimentos de circulación de gas.

Así, la función del compartimento denominado catódico es la distribución de corriente eléctrica y vapor de agua, así como la recuperación de hidrógeno en el cátodo en contacto.

El compartimento denominado anódico tiene la función de distribuir la corriente eléctrica así como de recuperar el oxígeno producido en el ánodo en contacto, eventualmente mediante un gas de drenaje.

La figura 2 representa una vista despiezada de unidades elementales de un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura del tipo SOEC según la técnica anterior. Este electrolizador comprende una pluralidad de celdas de electrólisis elementales C1, C2, del tipo celda de óxido sólido (SOEC), apiladas alternativamente con interconectores 5. Cada celda C1, C2 consta de un cátodo 2.1, 2.2 y un ánodo (solo se representa el ánodo 4.2 de la celda C2), entre los cuales se coloca un electrolito (solo se representa el electrolito 3.2 de la celda C2).

El interconector 5 es un componente de aleación metálica que asegura la separación entre los compartimentos catódico 50 y anódico 51, definidos por los volúmenes entre el interconector 5 y el cátodo adyacente 2.1 y entre el interconector 5 y el ánodo adyacente 4.2 respectivamente. Este también asegura la distribución de gases a las celdas. La inyección de vapor de agua en cada unidad elemental se realiza en el compartimento catódico 50. La recolección del hidrógeno producido y el vapor de agua residual en el cátodo 2.1, 2.2 se realiza en el compartimento catódico 50 aguas abajo de la celda C1, C2 después de la disociación del vapor de agua por esta última. La recolección del oxígeno producido en el ánodo 4.2 se realiza en el compartimento anódico 51 aguas abajo de la celda C1, C2 después de la disociación del vapor de agua por esta última. El interconector 5 asegura el paso de corriente entre las celdas C1 y C2 por contacto directo con los electrodos adyacentes, es decir entre el ánodo 4.2 y el cátodo 2.1.

Al ser las condiciones de funcionamiento de un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura (SOEC) muy parecidas a las de una pila de combustible de óxido sólido (SOFC), se encuentran las mismas limitaciones tecnológicas.

Así, el buen funcionamiento de tales pilas de celdas de óxido sólido del tipo SOEC/SOFC que funcionan a alta temperatura requiere principalmente el cumplimiento de los puntos que se exponen a continuación.

En primer lugar, es necesario disponer de un aislamiento eléctrico entre dos interconectores sucesivos, de lo contrario se cortocircuitará la celda electroquímica, pero también es necesario un buen contacto eléctrico y una superficie de contacto suficiente entre una celda y un interconector. Se busca la menor resistencia óhmica posible entre celdas e interconectores.

Además, es necesario disponer de una junta entre los compartimentos anódico y catódico, de lo contrario se producirá una recombinación de los gases producidos, lo que provocará una caída de la eficiencia y, especialmente, la aparición de puntos calientes que dañarán la pila.

Por último, es fundamental tener una buena distribución de los gases tanto en la entrada como en la recuperación de los productos, de lo contrario se producirán pérdidas de rendimiento, falta de homogeneidad de presión y temperatura dentro de las diferentes unidades elementales o incluso una degradación perjudicial de las celdas electroquímicas.

Los gases entrantes y salientes en una pila de electrólisis de alta temperatura (SOEC) o pila de combustible

(SOFC) que funcionan a alta temperatura se pueden gestionar mediante dispositivos como el ilustrado con referencia a la figura 3. El dispositivo 13 comprende así partes frías PF y partes calientes PC, comprendiendo estas últimas el fondo del horno 11, la campana del horno 10, un tubo de bucle 12 para gestionar las entradas y salidas de gas y la pila 20, también denominada "stack", de electrólisis de alta temperatura (SOEC) o pila de combustible (SOFC).

Además, la figura 4 permite ilustrar un ejemplo de un conjunto 80 que comprende dicha pila 20 o stack y un sistema de sujeción 60 de la misma. Un conjunto de este tipo 80 puede ser como se describe en la solicitud de patente francesa FR 3 045 215 A1.

Así, la pila 20 comprende una pluralidad de celdas electroquímicas 41 formadas cada una de ellas por un cátodo, un ánodo y un electrolito interpuestos entre el cátodo y el ánodo, y una pluralidad de interconectores intermedios 42 dispuestos cada uno entre dos celdas electroquímicas 41 adyacentes. Además, esta comprende una placa de extremo superior 43 y una placa de extremo inferior 44, también denominadas respectivamente placa de extremo de pila superior 43 y placa de extremo de pila inferior 44, entre las cuales están sujetadas la pluralidad de celdas electroquímicas 41 y la pluralidad de interconectores intermedios 42, o entre las cuales se ubica la pila.

El sistema de sujeción 60 comprende una placa de sujeción superior 45 y una placa de sujeción inferior 46, entre las cuales se sujeta la pila 20. Cada placa de sujeción 45, 46 tiene cuatro orificios de sujeción 54 a través de los cuales se extienden barras de sujeción 55, o tirantes. En los extremos de estos están previstos medios de sujeción 56, 57, 58.

En general, hasta la fecha, las pilas 20 tienen un número limitado de celdas electroquímicas 41. Normalmente, el solicitante utiliza pilas 20 de un número de 25 celdas electroquímicas 41 de 100 cm<sup>2</sup> de superficie activa. La etapa de acondicionamiento se lleva a cabo individualmente, colocándose cada pila sola en un banco de acondicionamiento. El ciclo aplicado permite realizar tanto la etapa de obtención de juntas como la etapa de reducción de las celdas electroquímicas 41. El ciclo finaliza con diversas mediciones electroquímicas para caracterizar el rendimiento de la pila, antes de su suministro para su uso.

Antes de su funcionamiento, es necesario someter la pila 20 a al menos una etapa de tratamiento térmico denominado de reducción, para poner las celdas electroquímicas 41 en su forma reducida, y no oxidadas como están inicialmente. Esta etapa de reducción puede ser un ciclo termomecánico bajo gas reductor para el electrodo de hidrógeno y aire o gas neutro para el electrodo de oxígeno. Una etapa de tratamiento térmico de este tipo se ha descrito, por ejemplo, en la solicitud de patente europea EP 2 870 650 A1.

Además, las pilas 20 implementadas hasta la fecha utilizan generalmente, en cada una de sus etapas, juntas que deben garantizar la estanqueidad entre dos compartimentos de circulación de gas, adyacentes y distintos, es decir, un compartimento anódico y un compartimento catódico. Estas uniones se han descrito en la solicitud de patente europea EP 3 078 071 A1. Estas juntas tienen la particularidad de requerir un acondicionamiento térmico durante el cual se aplastan.

Además, los elementos de contacto, como las capas descritas en la solicitud de patente EP 2 900 846 A1 o las rejillas de Nickel, también se aplastan durante el acondicionamiento térmico y durante el funcionamiento de la pila 20, lo que garantiza su correcta instalación. Los elementos que sirven como elementos de contacto en la cámara de hidrógeno también se aplastan.

En otras palabras, durante la etapa de acondicionamiento térmico, una pila 20 es aplastada varios centímetros. Hasta la fecha, dado el número relativamente pequeño de celdas apiladas, el aplastamiento se desarrolla correctamente.

Sin embargo, el solicitante ha previsto realizar pilas con un mayor número de celdas electroquímicas, normalmente más allá de 25 celdas. En este caso, el desplazamiento esperado durante la sujeción de la pila puede provocar problemas de bloqueo mecánico del tipo presión en las varillas guía. Estos bloqueos impiden entonces un buen acondicionamiento térmico y, en consecuencia, un funcionamiento normal de la pila.

Una solución a estos inconvenientes es proporcionar un concepto de pila o stack en el que se ensamblan varias subpilas, por medio de placas de refuerzo, para gestionar grandes eventos de aplastamiento. Sin embargo, entonces es necesario acondicionar cada subpila por separado y, por tanto, debe producirse un gran número de pilas y subpilas.

Sin embargo, el acondicionamiento de una pila de este tipo es un paso largo y costoso porque el calentamiento requiere energía. Además, los dispositivos actuales permiten acondicionar una única pila o subpila a la vez.

Por consiguiente, sigue siendo necesario mejorar el principio de acondicionamiento de pilas de electrólisis de

alta temperatura (SOEC) o de pilas de combustible (SOFC), en particular para acondicionar varias subpilas al mismo tiempo.

Divulgación de la invención

5

Por lo tanto, el objeto de la invención es solucionar, al menos parcialmente, las necesidades mencionadas anteriormente y los inconvenientes relacionados con las modalidades de la técnica anterior.

10

La invención tiene así como objeto, según uno de sus aspectos, un sistema de acondicionamiento de una pluralidad de subpilas de celdas de óxidos sólidos del tipo SOEC/SOFC que funcionan a alta temperatura formando juntas una pila modular de celdas de óxidos sólidos de alta temperatura de tipo SOEC/SOFC, comprendiendo cada subpila una pluralidad de celdas electroquímicas formadas cada una de ellas por un cátodo, un ánodo y un electrolito interpuestos entre el cátodo y el ánodo, y una pluralidad de interconectores intermedios dispuestos cada uno entre dos celdas electroquímicas adyacentes, caracterizado porque el sistema comprende:

15

- un recinto térmico que delimita un volumen interno,
- una pluralidad de subpilas colocadas en el volumen interno, estando superpuestas al menos dos subpilas al menos parcialmente entre sí, teniendo cada subpila una cara superior y una cara inferior,
- 20 – una pluralidad de placas de extremo, estando dispuesta cada subpila entre una placa de extremo superior y una placa de extremo inferior, teniendo cada placa de extremo una cara superior y una cara inferior, al menos una de las cuales está en contacto con al menos una subpila, siendo la superficie de una cara superior de una placa de extremo de mayor dimensión que la superficie de una cara inferior de una subpila y siendo la superficie de una cara inferior de una placa de extremo de mayor dimensión que la superficie de una cara superior de una subpila de modo que cada cara superior y cada cara inferior de una placa de extremo en contacto con al menos una subpila tiene una o más superficies libres no superpuestas sobre una subpila y sin contacto con una subpila,
- una pluralidad de soportes que forman una matriz dispuestos sobre la(s) superficie(s) libre(s) de las caras superiores de las placas de extremo en contacto con al menos una subpila, cada soporte forma una matriz que comprende un hueco que se abre hacia una cara superior del soporte formando una matriz, opuesta a una superficie libre,
- una pluralidad de elementos flexibles, estando cada uno de ellos dispuesto encima de un hueco que se apoya sobre el soporte que forma una matriz, a ambos lados del hueco, y en particular colocados sobre un avellanado,
- una pluralidad de elementos de apoyo, dispuestos bajo la(s) superficie(s) libre(s) de las caras inferiores de las placas de extremo en contacto con al menos una subpila, pudiendo cada elemento de apoyo entrar en contacto con al menos un elemento flexible durante el acondicionamiento de las subpilas y deformarlas mediante penetración en al menos un hueco.

20

25

30

35

40

El sistema de acondicionamiento según la invención puede, además, incluir una o más de las características siguientes, tomadas de manera aislada o en cualquier combinación técnica posible.

45

Los huecos pueden tener una sección en forma de "V". Los huecos se pueden formar avellanando los soportes que forman la matriz.

Los elementos flexibles pueden tener forma de láminas flexibles.

50

El elemento flexible asociado con la misma primera subpila puede tener un espesor diferente del espesor del elemento flexible asociado con la misma segunda subpila superpuesta a la primera subpila.

En particular, el espesor de los elementos flexibles puede aumentar desde la parte superior de la pila modular hacia la base de la pila modular.

55

Además, los elementos flexibles y/o los soportes que forman una matriz y/o los elementos de apoyo pueden estar hechos de metal, en particular de Inconel<sup>®</sup>, o cerámica.

60

Además, el número de subpilas a superponer no está limitado por diseño. Sin embargo, para tener en cuenta la altura aceptable del banco de acondicionamiento, el número de subpilas puede estar preferentemente entre 2 y 20.

La pila modular puede estar dispuesta entre una placa superior de distribución de carga principal y una placa inferior de base.

65

Además, el recinto térmico puede consistir en un fondo del horno, formando la pared horizontal inferior del recinto térmico, una pared horizontal superior y paredes laterales, definiendo juntas el volumen interno.

El sistema también puede incluir una barra de fuerza para aplicar una fuerza de compresión a la pila modular, en particular a una placa de distribución de carga principal superior.

- 5 Además, la invención también se refiere, según otro de sus aspectos, a un método de sujeción de una pluralidad de subpilas de celdas de óxido sólido del tipo SOEC/SOFC que operan a alta temperatura formando una pila modular mediante un sistema de acondicionamiento tal como se ha definido anteriormente, caracterizado porque comprende la etapa consistente en ejercer una fuerza de compresión vertical sobre las subpilas con una recuperación de fuerzas mediante los elementos flexibles apoyados sobre los soportes.
- 10 Ventajosamente, el método puede implementarse bajo un gas neutro, directamente en el interior de las subpilas o a través del recinto térmico completamente inerte.

Breve descripción de los dibujos

- 15 La invención podrá comprenderse mejor con la lectura de la descripción detallada que sigue, de los ejemplos de realización no limitativos de la misma, o incluso con el examen de las figuras, esquemáticas y parciales, del dibujo adjunto, en el que:
- 20 – la figura 1 es una vista esquemática que muestra el principio de funcionamiento de un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura (SOEC),
  - la figura 2 es una vista esquemática despiezada de una parte de un electrolizador de óxido sólido de alta temperatura (SOEC) que comprende interconectores y celdas según la técnica anterior,
  - la figura 3 ilustra el principio de la arquitectura de un dispositivo en el que se coloca una pila de electrólisis de alta temperatura (SOEC) o pila de combustible (SOFC) que funciona a alta temperatura,
  - 25 – la figura 4 representa, en perspectiva y por observación desde arriba, un ejemplo de pila de celdas de óxido sólido del tipo SOEC/SOFC según la técnica anterior con un sistema de sujeción de la pila,
  - la figura 5 representa, esquemáticamente en sección parcial, un ejemplo de un sistema de acondicionamiento según la invención de una pluralidad de subpilas de celdas de óxido sólido del tipo SOEC/SOFC que funcionan a alta temperatura antes de acondicionar la pila mediante plegado en V de las láminas metálicas, y
  - 30 – la figura 6 representa, esquemáticamente en sección parcial, el ejemplo de un sistema de acondicionamiento según la invención de la figura 5 después de acondicionar la pila mediante plegado en V de las láminas metálicas.

- 35 En todas estas figuras, referencias idénticas pueden designar elementos idénticos o similares.

Además, las diferentes partes que se muestran en las figuras no se muestran necesariamente en una escala uniforme, para que las figuras sean más legibles.

- 40 Exposición detallada de la invención

Las figuras 1 a 4 ya se han descrito previamente en la parte relativa al estado de la técnica anterior y al contexto técnico de la invención. Se especifica que, para las figuras 1 y 2, los símbolos y las flechas de alimentación de vapor de agua  $H_2O$ , de distribución y recuperación de dihidrógeno  $H_2$ , de oxígeno  $O_2$ , de aire y de corriente eléctrica, se muestran con fines de claridad y precisión, para ilustrar el funcionamiento de los dispositivos mostrados.

Además, cabe señalar que todos los constituyentes (ánodo/electrolito/cátodo) de una celda electroquímica determinada son preferentemente cerámicos. La temperatura de funcionamiento de una pila de tipo SOEC/SOFC de alta temperatura también suele estar entre 600 y 1000 °C.

Además, los posibles términos "superior" e "inferior" deben entenderse aquí según la dirección normal de orientación de una subpila o pila del tipo SOEC/SOFC en su configuración de uso.

55 Ahora describiremos un ejemplo de un sistema de acondicionamiento 100 de acuerdo con la invención de varias subpilas 20a del tipo SOEC/SOFC para formar una pila modular 20 con referencia a las figuras 5 y 6.

60 Generalmente se considera aquí el acondicionamiento de tres subpilas 20a. Sin embargo, el número de subpilas 20a no está limitado por el diseño sino más bien por el hecho de necesitar tener en cuenta la altura aceptable del banco de acondicionamiento. Además, el número de subpilas 20a está preferiblemente entre 2 y 20.

65 Como se describió anteriormente en la parte relativa a la técnica anterior y al contexto técnico de la invención, cada subpila 20a comprende una pluralidad de celdas electroquímicas 41 formadas cada una de ellas por un cátodo, un ánodo y un electrolito intercalado entre el cátodo y el ánodo, y un pluralidad de interconectores

intermedios 42 dispuestos cada uno entre dos celdas electroquímicas 41 adyacentes.

5 Las tres subpilas 20a están colocadas en el volumen interno Vi de un recinto térmico 102 del sistema de acondicionamiento 100. Este recinto térmico 102 está compuesto aquí por un fondo del horno 11, como se describió anteriormente, que forma la pared horizontal inferior del recinto térmico 102, y una pared horizontal superior 102s y paredes laterales 102l, que definen juntas el volumen interno Vi, como se ve en las figuras 5 y 6.

10 Así, las tres subpilas 20a están colocadas en el volumen interno Vi del recinto térmico 102 estando completamente superpuestos uno con respecto al otro.

Cada una de las subpilas 20a tiene una cara superior 20as y una cara inferior 20ai, aquí con superficies idénticas.

15 Además, el sistema 100 comprende cuatro placas de extremo 40, interpuestas con las subpilas 20a. Más precisamente, cada subpila 20a está dispuesta entre una placa de extremo superior 40 y una placa de extremo inferior 40, por lo que la misma placa de extremo 40 puede desempeñar a la vez el papel de placa de extremo superior para una subpila 20a y el papel de placa de extremo inferior para otra subpila 20a.

20 Cada placa de extremo 40 tiene una cara superior 40s y una cara inferior 40i, aquí con superficies idénticas, y al menos una de las cuales está en contacto con una subpila 20a.

25 Además, la pila modular 20 así obtenida está dispuesta entre una placa superior de distribución de carga principal 110 y una placa inferior de base de la pila 120. La placa inferior de base de la pila 120 se coloca sobre el fondo del horno 11.

30 Además, el sistema 100 comprende una barra de fuerza 130, de forma redondeada, para aplicar una fuerza de compresión sobre la pila modular 20, en particular sobre la placa superior de distribución de carga principal 110. La barra de fuerza 130 permite en particular un apoyo rotuliano sobre la placa de distribución de carga principal 110.

35 Según la invención, el acondicionamiento de la pila modular 20 mediante el ensamblaje de varias subpilas 20a una encima de la otra se realiza de tal manera que se minimiza la huella en el suelo del banco de acondicionamiento, al tiempo que se permite realizar de forma independiente para cada subpila 20 una sujeción mecánica controlada.

40 Además, se proporciona una distribución de la carga mecánica principal entre las diferentes subpilas 20a durante el aplastamiento durante el acondicionamiento de la pila 20 para permitir una recuperación de las fuerzas.

Precisamente, la compresión mecánica principal proporcionada por la barra de fuerza 130 se distribuye entre las subpilas 20a mediante elementos flexibles 105 dedicados en forma de láminas metálicas, que pueden ser de diferentes espesores e1, e2.

45 Así, ventajosamente, la superficie de una cara superior 40s de una placa de extremo 40 es mayor que la superficie de una cara inferior 20ai de una subpila 20a. Asimismo, la superficie de una cara inferior 40i de una placa de extremo 40 es mayor que la superficie de una cara superior 20as de una subpila 20a.

50 De esta manera, cada cara superior 40s y cada cara inferior 40i de una placa de extremo 40 en contacto con al menos una subpila 20a tiene una o más superficies libres 40l no superpuestas sobre una subpila 20a y sin contacto con una subpila 20a. Estas superficies libres 40l se muestran en las figuras 5 y 6. Estas corresponden así a las partes que sobresalen lateralmente de una subpila 20a en sus cuatro lados formada en las placas de extremo 40.

55 Luego, sobre estas superficies libres 40l se disponen soportes que forman una matriz 103. Se observa que en este ejemplo, se pueden proporcionar dos soportes largos 103 por etapa de la subpila 20a, concretamente uno delante y otro detrás de la subpila 20a. En otros ejemplos no mostrados, se pueden proporcionar cuatro soportes 103 por etapa de la subpila 20a, concretamente, por ejemplo, a cada lado de la subpila 20a. Los soportes 103 pueden tener una altura ligeramente inferior a la de la pila después del acondicionamiento. Los soportes 103 son ventajosamente metálicos, por ejemplo de Inconel®.

60 Como se muestra en la figura 5, cada soporte que forma una matriz 103 comprende además un hueco 104 que se abre hacia la cara superior 103s del soporte 103 que está opuesta a la superficie libre 40l. Cada hueco 104 tiene una sección en forma de "V".

65 Ventajosamente también, una pluralidad de elementos flexibles 105, aquí en forma de láminas metálicas 105,

están dispuestos encima de los huecos 104, apoyándose sobre los soportes que forman la matriz 103 al nivel de los avellanados 108 previstos para este fin, en ambos lados de los huecos 104. Cada lámina metálica 105 está hecha también, por ejemplo, de Inconel®. Cada lámina metálica 105 tiene, por ejemplo, una longitud de aproximadamente 200 mm y un ancho de aproximadamente 10 mm.

5

Las láminas metálicas 105 tienen ventajosamente espesores e1, e2, mostrados en la figura 5, que están diferenciados por etapa. En particular, las láminas metálicas 105 tienen un espesor creciente, como en este ejemplo, desde la parte superior de la pila modular 20 hacia la base de la pila modular 20.

10

Además, una pluralidad de elementos de apoyo 106 está dispuesta debajo de las superficies libres 40l de las caras inferiores 40i de las placas de extremo 40 en contacto con una subpila 20a. Cada elemento de apoyo 106 entra en contacto con una lámina metálica 105 a través de su extremo formando un contraste 106p durante el acondicionamiento de las subpilas 20a. Este contacto permite entonces la deformación de las láminas metálicas 105 que se pliegan en forma de "V" para penetrar en los huecos 104.

15

Luego, como se muestra en la figura 6, se obtienen espacios 107 sin contacto entre las láminas metálicas 105 y los soportes formando una matriz 103.

20

En otras palabras, cuando se empaqueta una pila modular 20, las superficies libres 40l se utilizan ventajosamente para insertar en ellas un conjunto formado por un soporte que forma una matriz 103 con un hueco 104, una lámina metálica 105 y un elemento de apoyo 106 que comprende un extremo que forma un contraste 106p para compensar la fuerza mecánica generada por el peso experimentado por cada una de las subpilas 20a.

25

En la práctica, esta fuerza se compensa parcial pero no completamente por la fuerza necesaria para el plegado en "V" de las láminas metálicas 105.

30

Así, sin modificar el banco de acondicionamiento, el sistema 100 permite distribuir uniformemente la carga mecánica entre las subpilas 20a que componen la pila modular global 20 durante su aplastamiento y funcionamiento.

35

El conjunto que comprende el soporte 103, el elemento flexible 105 y el elemento de apoyo 106 está formado ventajosamente en una aleación resistente a altas temperaturas, en particular hasta 900 °C, y por lo tanto se elige preferiblemente que sea del tipo Inconel®. Este conjunto está ventajosamente dimensionado para que después del aplastamiento de la pila no esté en contacto en toda la superficie para no limitar la distancia de aplastamiento de la pila y por tanto para asegurar una buena estanqueidad de las juntas entre las celdas y la estanqueidad de la pila.

40

Ventajosamente, el espesor e1, e2 de una lámina metálica 105 se obtiene usando la ecuación de fuerza de plegado en V (cálculo de fuerza de conformado en frío), a saber:

$$F = CRLe^2 / V,$$

45

en la que:

F (expresada en N) es la fuerza de plegado (aquí 75 N para el piso intermedio o 150 N para el piso inferior para compensar el peso experimentado pero sin excederlo);

R (expresado en MPa) es la resistencia a la tracción del metal (de aproximadamente 1000 MPa como máximo para Inconel®);

50

L (expresada en mm) es la longitud plegada (aquí 10 mm);

e (expresado en mm) es el espesor de la lámina metálica;

V (expresado en mm) es la diferencia de altura antes y después del aplastamiento de las subpilas + 1 mm (es decir, aproximadamente 100 mm);

55

C es el coeficiente igual a 1,16 (valor utilizado cuando  $V > 30 \cdot e$ ).

60

Así, resulta que las dos láminas metálicas 105 (delantera y trasera) del piso intermedio tienen un espesor e1 de aproximadamente 0,8 mm y las dos láminas metálicas 105 (delantera y trasera) del piso inferior tienen un espesor e2 aproximado de 1,14 mm.

Los extremos de las láminas metálicas 105 están posicionados horizontal y repetitivamente sobre los soportes que forman una matriz 103 gracias a los huecos 108 formados por avellanado en los planos oblicuos de los soportes 103.

65

Al final del montaje de la pila en la mesa de acondicionamiento y tan pronto como es sometida a presión mecánica por la barra de fuerza 130, los contrastes 106p se colocan en apoyo sobre las láminas metálicas 105 gracias a tornillos colocados en el centro de los lados de la pila entre el contraste 106p y la placa de

extremo superior 40. Dos varillas guía instaladas a cada lado de los tornillos pueden permitir que la base superior del contraste 106p se mantenga paralela a la placa de extremo superior 40. Se puede garantizar una fuerza de sujeción idéntica para cada tornillo de las láminas 105 utilizando una llave dinamométrica.

5 Se observa que en la configuración de la figura 6, después del aplastamiento, la altura total de la pila se reduce aproximadamente un 40 % siguiendo la conformación de las juntas presentes entre cada celda y con las láminas 105 plegadas en contacto parcial con los soportes que forman la matriz 103 para no evitar el aplastamiento de la pila. La barra de fuerza de 130 habrá aplicado una fuerza constante durante todo el proceso de aplastamiento de la pila a medida que el horno se calienta.

10

Por supuesto, la invención no se limita a las realizaciones que se acaban de describir. Los expertos en la técnica pueden realizar diversas modificaciones.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema (100) de acondicionamiento de una pluralidad de subpilas (20a) de celdas de óxido sólido tipo SOEC/SOFC que operan a alta temperatura formando juntas una pila modular (20) de celdas de óxido sólido tipo SOEC/SOFC de alta temperatura,
- 10 cada subpila (20a) que comprende una pluralidad de celdas electroquímicas (41) cada una formada por un cátodo, un ánodo y un electrolito intercalado entre el cátodo y el ánodo, y una pluralidad de interconectores intermedios (42) cada uno dispuesto entre dos celdas electroquímicas (41) adyacentes,
- 15 caracterizado porque el sistema (100) comprende:
- un recinto térmico (102) que delimita un volumen interno (Vi),
  - una pluralidad de subpilas (20a) colocadas en el volumen interno (Vi), estando superpuestas al menos dos subpilas (20a) al menos parcialmente entre sí, teniendo cada subpila (20a) una cara superior (20as) y una cara inferior (20ai),
  - una pluralidad de placas de extremo (40), cada subpila (20a) está dispuesta entre una placa de extremo superior (40) y una placa de extremo inferior (40), cada placa de extremo (40) tiene una cara superior (40s) y una cara inferior (40i) al menos una de las cuales está en contacto con al menos una subpila (20a), la superficie de una cara superior (40s) de una placa de extremo (40) es de mayor dimensión que la superficie de una cara inferior (20ai) de una subpila (20a) y la superficie de una cara inferior (40i) de una placa de extremo (40) es de mayor dimensión que la superficie de una cara superior (20as) de una subpila (20a) de modo que cada cara superior (40s) y cada cara inferior (40i) de una placa de extremo (40) en contacto con al menos una subpila (20a) tiene una o más superficies libres (40l) no superpuestas a una subpila (20a) y sin contacto con una subpila (20a),
  - una pluralidad de soportes que forman una matriz (103) dispuestos en la(s) superficie(s) libre(s) (40l) de las caras superiores (40s) de las placas de extremo (40) en contacto con al menos una subpila (20a), cada soporte que forma una matriz (103) que comprende un hueco (104) que desemboca en una cara superior (103s) del soporte que forma la matriz (103) opuesta a una superficie libre (40l),
  - una pluralidad de elementos flexibles (105), cada uno de ellos está dispuesto encima de un hueco (104) apoyado sobre el soporte que forma una matriz (103), a ambos lados del hueco (104), y en particular colocados sobre un avellanado (108),
  - una pluralidad de elementos de apoyo (106), dispuestos debajo de la(s) superficie(s) libre(s) (40l) de las caras inferiores (40i) de las placas de extremo (40) en contacto con al menos una subpila (20a), cada elemento de apoyo (106) puede entrar en contacto con al menos un elemento flexible (105) durante el acondicionamiento de las subpilas (20a) y deformarlo por penetración en al menos un hueco (104).
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45 2. Sistema según la reivindicación 1, caracterizado porque los huecos (104) tienen, en sección, forma de "V", estando formados en particular por avellanado de los soportes que forman una matriz (103).
3. Sistema según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque los elementos flexibles (105) tienen forma de láminas flexibles.
- 50 4. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el o los elementos flexibles (105) asociados a una misma primera subpila (20a) tienen un espesor (e1) diferente del espesor (e2) de uno o más elementos flexibles (105) asociados a una misma segunda subpila (20a) superpuesta a la primera subpila (20a).
- 55 5. Sistema según la reivindicación 4, caracterizado porque el espesor (e1, e2) de los elementos flexibles (105) aumenta desde la parte superior de la pila modular (20) hacia la base de la pila modular (20).
- 60 6. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los elementos flexibles (105) y/o los soportes que forman una matriz (103) y/o los elementos de apoyo (106) son de metal, en particular de Inconel®, o cerámica.
7. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el número de subpilas (20a) está comprendido entre 2 y 20.
- 65 8. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la pila modular (20) está dispuesta entre una placa superior de distribución de carga principal (110) y una placa inferior base (120).
9. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el recinto térmico (102)

consta de un fondo de horno (11), que forma la pared horizontal inferior del recinto térmico (102), una pared horizontal superior (102s) y paredes laterales (102l), que definen juntas el volumen interno (Vi).

- 5 10. Sistema según la reivindicación 9, caracterizado porque comprende una barra de fuerza (130) para aplicar una fuerza de compresión sobre la pila modular (20), en particular sobre una placa superior de distribución de carga principal (110).
- 10 11. Método de sujeción de una pluralidad de subpilas (20a) de celdas de óxido sólido de tipo SOEC/SOFC que funcionan a alta temperatura formando una pila modular (20) mediante un sistema (100) de acondicionamiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende la etapa de ejercer una fuerza de compresión vertical sobre las subpilas (20a) con una recuperación de fuerzas mediante los elementos flexibles (105) apoyados sobre los soportes (103).

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

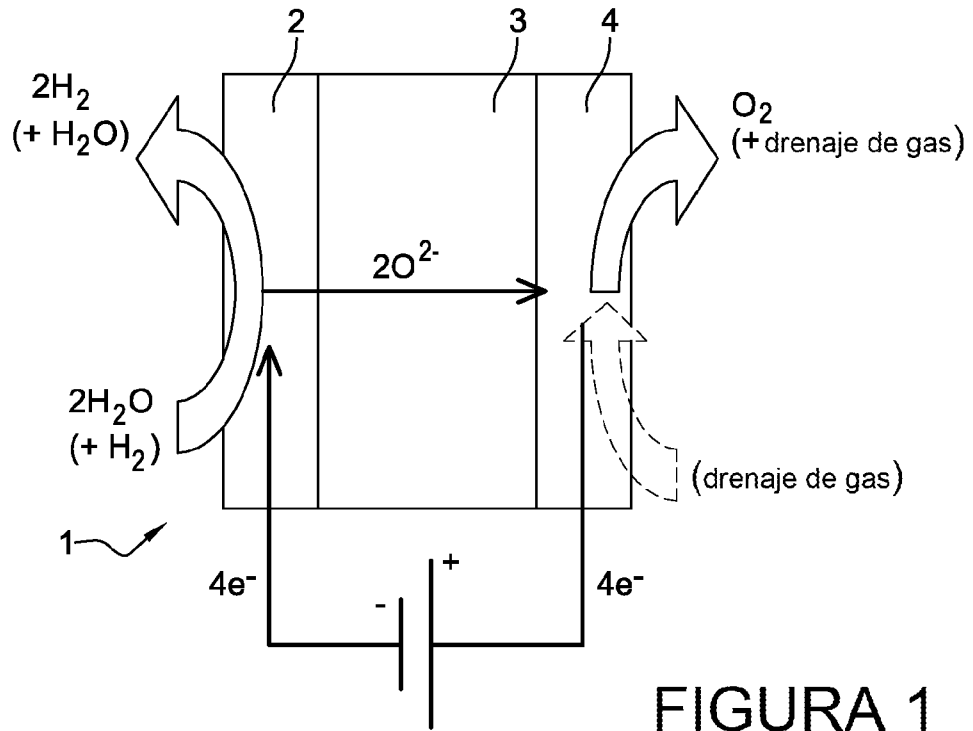


FIGURA 1

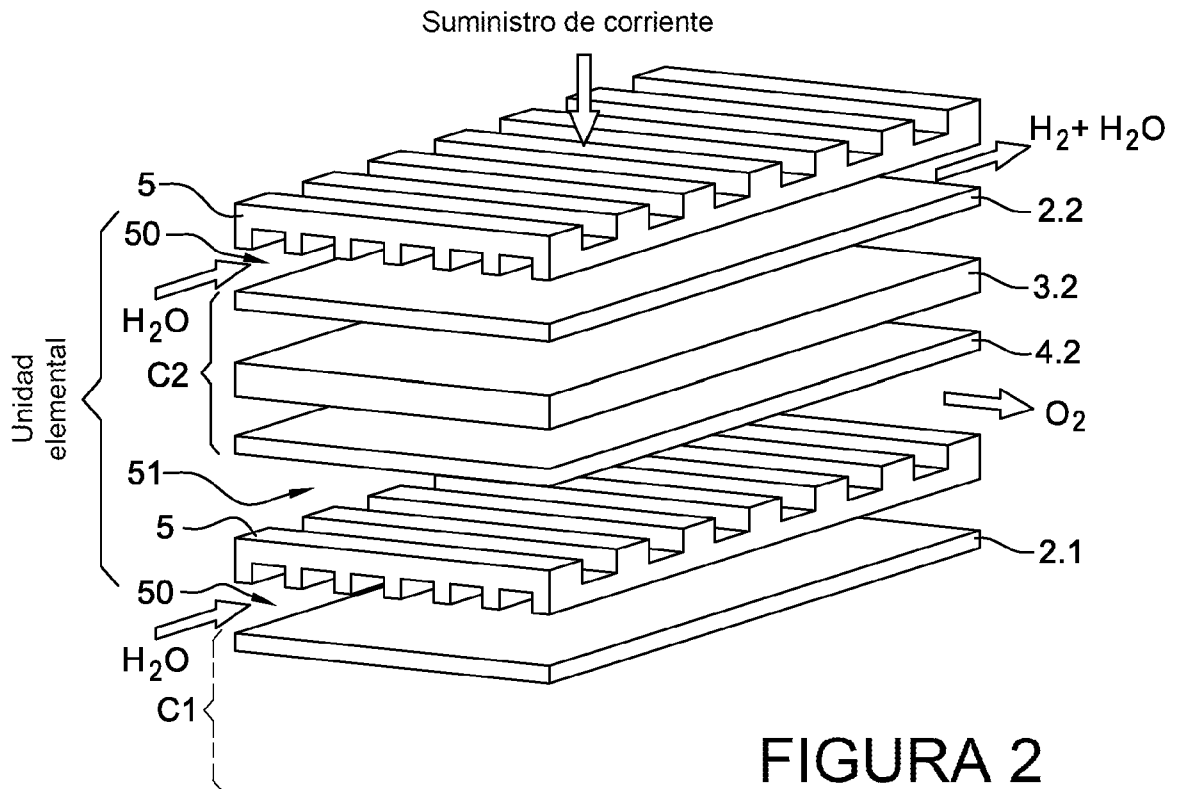
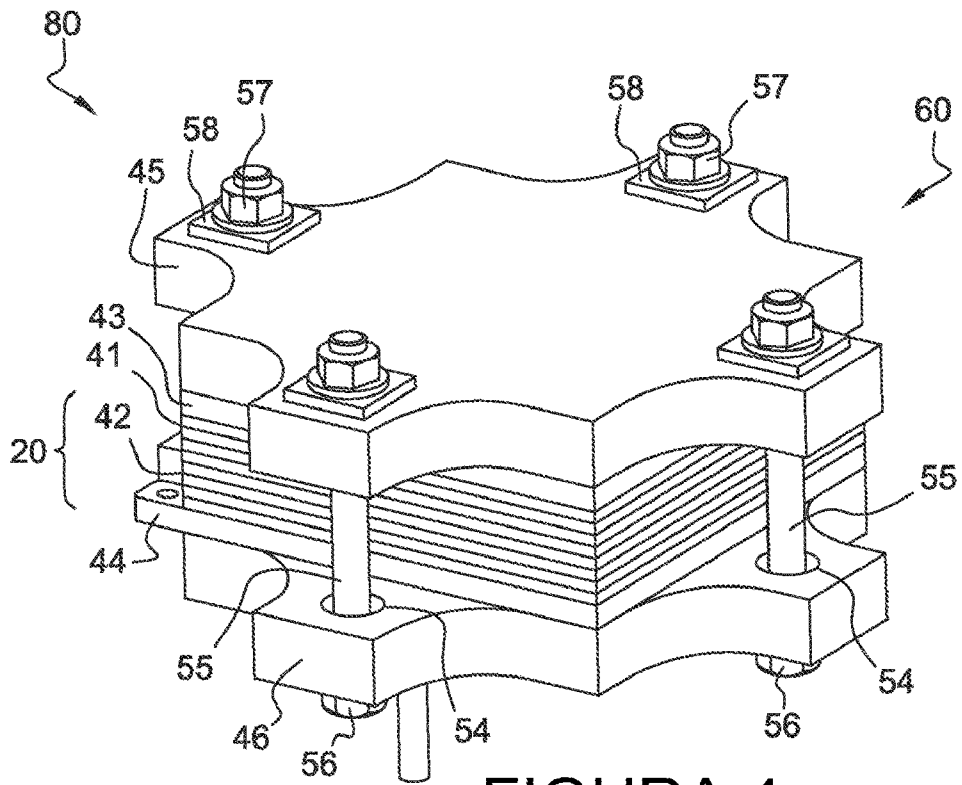
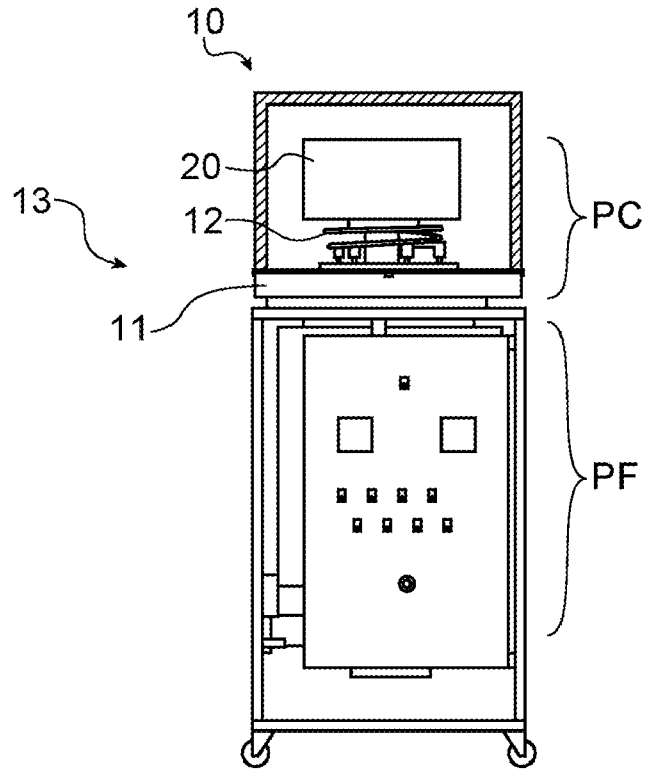


FIGURA 2



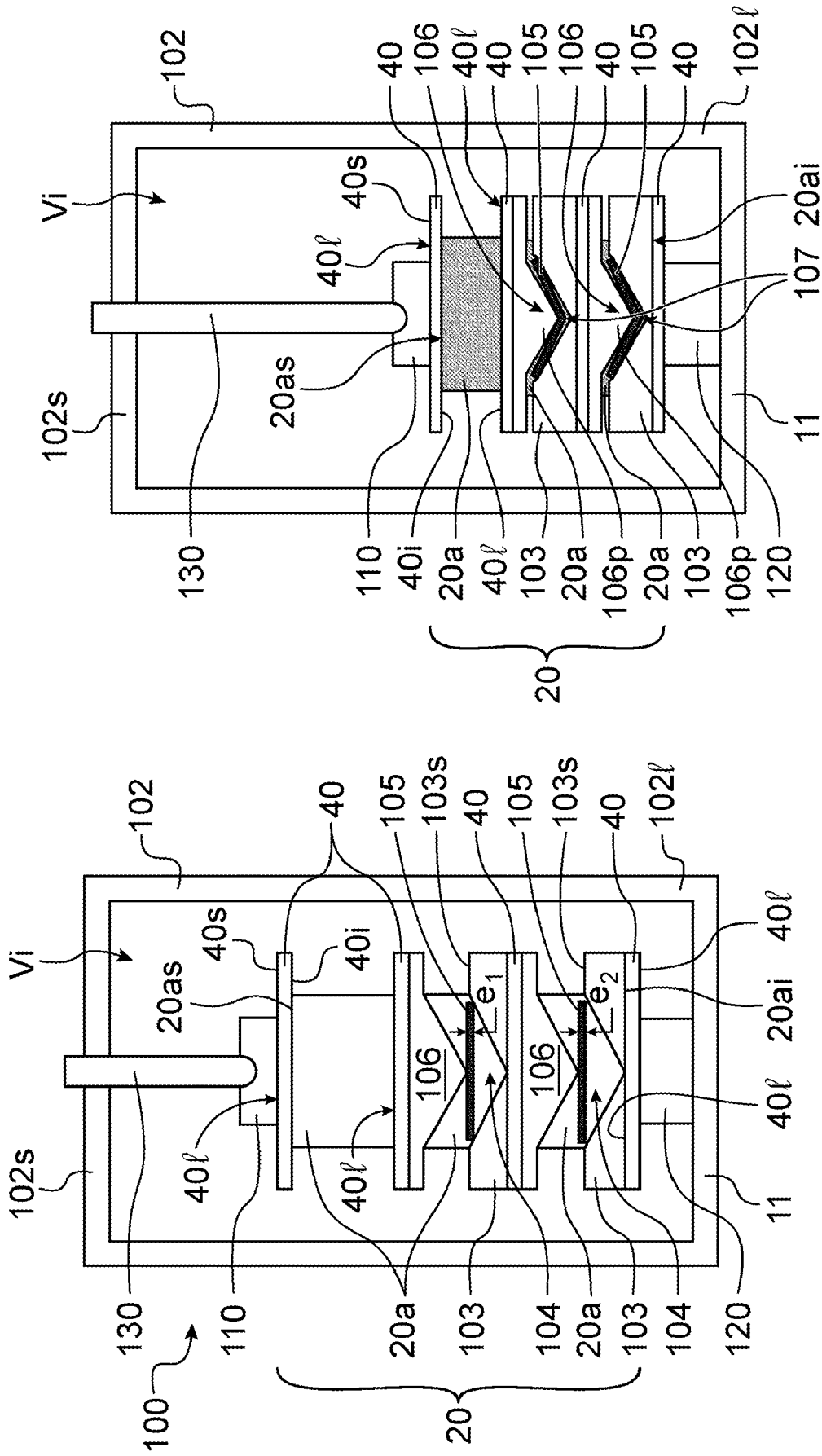


FIGURA 6

FIGURA 5