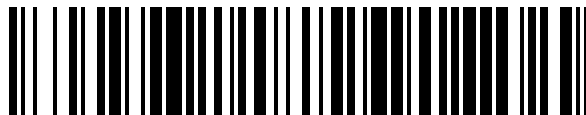


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 204 161**

21 Número de solicitud: 201731431

51 Int. Cl.:

H01M 8/04 (2006.01)

12

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22 Fecha de presentación:

22.11.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

30.01.2018

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE HUELVA (100.0%)
C/ Dr. Cantero Cuadrado 6
21071 Huelva ES**

72 Inventor/es:

**SEGURA MANZANO, Francisca;
ANDUJAR MARQUEZ, José Manuel;
VIVAS FERNANDEZ, Francisco José y
DE LAS HERAS JIMENEZ, Ainhoa**

74 Agente/Representante:

ALGUACIL OJEDA, Juan

54 Título: **SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CELDAS DE COMBUSTIBLE**

ES 1 204 161 U

SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE CELDAS DE COMBUSTIBLE

DESCRIPCIÓN

Campo técnico de la invención

La invención se relaciona con los sistemas embebidos para la monitorización de tensión de celdas, corriente y temperatura de un stack de pila de combustible tipo PEM, incluyendo la detección de deterioro de las celdas.

10

Antecedentes de la invención o Estado de la Técnica

Debido a la imperiosa necesidad de encontrar nuevos modelos energéticos sostenibles desde el punto de económico y medioambiental, el uso del hidrógeno y asociado a él, el uso de pilas de combustible, se presenta como una solución de futuro inmediato.

15

Entre las bondades de las pilas de combustible y en concreto del tipo PEM ("Proton Exchange Membrane" o membrana de intercambio de protones), se pueden destacar el gran rendimiento de operación, la rápida respuesta del sistema y la nula emisión de gases contaminantes. Sin embargo, sus dos debilidades quizás más importantes son el elevado coste tecnológico y la gran dependencia de su durabilidad respecto a las condiciones de operación. Existe, por tanto, un interés creciente para aumentar la vida útil de las pilas de combustible.

20

La degradación de una pila de combustible puede ser debida a diferentes fenómenos físico-químicos que se traducen en pérdidas de rendimiento en su punto de trabajo. Esta disminución de rendimiento se ve reflejada en caídas de tensión a lo largo de toda su curva de polarización, debido al aumento de las pérdidas denominadas de activación, óhmicas y concentración.

25

30

Hasta la fecha, ninguna de las soluciones conocidas posee una estructura "todo en uno", por lo que requieren de conexión externa punto a punto mediante cableado, y la necesidad de electrónicas externas para alimentación general o para posibles sensores externos.

35

Por otro lado, la precisión de los sistemas convencionales para el control del estado de operación de la pila de combustible es muy baja.

5 En particular, los sistemas multiplexados suelen ser vulnerables a cualquier fallo eléctrico, algo que suele conllevar daños en la electrónica de varios componentes. Por otra parte, para aplicaciones de bajo número de celdas (<50), las soluciones conocidas no resultan ser lo suficientemente rápidas por lo que es necesario la utilización de varios módulos para aplicaciones que requieran un mayor voltaje de operación.

10 En otro orden de cosas, muchas soluciones requieren de conector y cableado externo, por lo que presentan problemas de acoplamiento y ruido electromagnético sobre las señales. Finalmente, el coste de la mayoría de soluciones comerciales hace que el uso de este tipo de equipos sea la mayoría de las veces prohibitivo para el usuario final, lo que impide la necesaria monitorización de los stacks de las pilas de combustible en funcionamiento.

Otras propuestas se limitan a representar la tensión de celda del stack completo, por lo que para conocer el estado de operación del sistema es necesario hacer un post-tratamiento de datos. Además, aunque la relación entre las variables principales (tensión, corriente, potencia, temperatura) sea aparentemente conocida, el estado de operación real del sistema puede diferir del teórico, en el sentido de que, para un valor de corriente suministrado, haya un valor de tensión del stack muy diferente del valor teórico. Esto ocasiona que la potencia real obtenida se aleje de la teórica.

25 Si sólo se tiene información de la tensión de celda, a lo sumo, se puede llegar a conocer la tensión total del stack. En cambio, si no se tiene información sobre ni de la corriente ni de la temperatura reales del stack, el usuario no puede conocer la potencia suministrada por cada celda. En consecuencia, tampoco un posible mal funcionamiento de alguna de las celdas, ni tampoco identificar la causa del mal funcionamiento: exceso o defecto de temperatura. Un exceso de temperatura en la operación del stack puede provocar una disminución de la resistividad de la membrana de las celdas que conforman el stack, mientras que un defecto de temperatura puede provocar inundación de la membrana (exceso de H₂O generada durante la operación de la misma). En los dos casos, la consecuencia es la disminución del tiempo de vida del stack por degradación de las membranas de las celdas.

En el presente documento, el término stack se refiere al conjunto de celdas apiladas que conforman la pila de combustible. En la comunidad científica y en la industria, se emplean los términos stack y pila de combustible para referirnos al conjunto de celdas
5 en el primer caso y, en el segundo caso, al sistema completo integrado por el stack junto con el BoP (Balance of Plant). El balance de planta o BoP incluye elementos auxiliares, tipo válvulas, sensores, ventilador, etc., que necesita el stack para que el sistema de pila de combustible funcione correctamente.

10 **Breve descripción de la invención**

La presente invención se concibe para dar respuesta a las limitaciones observadas en el estado de la técnica. Una de las finalidades es la de dar una solución completa de bajo coste y fácil uso que puede ser utilizada en cualquier sector que implique el uso
15 de pilas de combustible.

A tal efecto, se propone un sistema preferiblemente embebido que permite la monitorización de tensión de cada celda, así como la corriente y temperatura del stack, para un stack de “n” celdas, siendo “n” un número entero, capaz de generar una
20 corriente máxima de “x” amperios. Por tanto, es de aplicación para un stack de cualquier número de celdas y corriente, esto es, para un stack de cualquier potencia.

El stack es la parte más importante y costosa de una pila de combustible. La potencia que es capaz de suministrar una pila de combustible es el producto de la tensión y
25 corriente que es capaz de suministrar su stack. La tensión del stack es la suma de las tensiones individuales de las celdas que lo componen. Es importante conocer sus valores, ya que así se puede determinar si el funcionamiento de la pila de combustible es el apropiado.

30 La presente propuesta permite la intercomparación en tiempo real del punto de polarización de la pila de combustible respecto al teórico, así como la representación de variables auxiliares como corriente, potencia o temperatura, esenciales para un análisis de degradación y tiempo de vida.

35 Es objeto de la presente invención, un sistema de supervisión y control de celdas de combustible caracterizado que incluye un módulo de adquisición que comprende un

multiplexor cuya frecuencia de muestreo depende del número de celdas del stack; un sensor de temperatura; un sensor de corriente; un módulo de conexión mediante cableado para conectar de forma individual cada una de las celdas de combustible al módulo multiplexor que multiplexa las señales individuales recibidas de cada celda; un
5 módulo de procesamiento que incluye un convertor analógico-digital y un microcontrolador. Este módulo de procesamiento puede analizar el punto de polarización.

Opcionalmente, el módulo de procesamiento almacena la curva teórica y para hacer
10 una comparación con la curva real (medida) de la pila de combustible.

Opcionalmente, el sistema incluye además un módulo de visualización para representar una interfaz cuando se ejecuta un software de gestión en el módulo de procesamiento.

15 Opcionalmente, la interfaz representa en tiempo real al menos los valores de tensión de celda a la vez que la corriente, temperatura y potencia del stack.

Opcionalmente, los módulos multiplexor, de conexión y de procesamiento anteriores se embeben e implementan en una PCB.

20

Opcionalmente, el sistema comprende un puerto de salida digital para conexión con otro dispositivo electrónico.

Opcionalmente, el sistema comprende un módulo de aislamiento galvánico.

25

Opcionalmente, el sistema comprende un módulo mecánico de sujeción que comprende una pluralidad de sondas retráctiles.

Pueden destacarse varias diferencias respecto a los sistemas existentes: la electrónica de adquisición, el mecanismo de sujeción mediante pines, la unidad de medición con
30 sensores capaces de identificar el estado real del sistema, y la capacidad de monitorización en tiempo real de la tensión de celda, de la curva de polarización y de la potencia. Todo esto permite hacer un completo análisis de rendimiento actual del sistema, junto con una estimación de la degradación del mismo.

35

Actualmente, los sistemas de monitorización de celdas más comunes son soluciones de elevado coste que se limitan a la medida de tensión de celdas de combustible, obviando otros parámetros tan importantes como la corriente o temperatura, fundamentales para describir la curva de polarización del stack. En algunos casos, estos sistemas actúan únicamente como generador de alarmas en el momento en que se sobrepase ciertos niveles de tensión mínima de operación, por lo que no permiten el estudio de degradación, siendo su finalidad exclusivamente el control y la seguridad en la operación de la pila de combustible.

Desde el punto de vista del acoplamiento eléctrico del hardware de adquisición a las celdas del stack, lo más utilizado es la unión directa punto a punto a través de cableado, lo que hace que para un gran número de celdas, se tenga una gran cantidad de cableado, más vulnerable al ruido electromagnético circundante. Este hecho unido a la difícil tarea de asegurar un correcto acoplamiento eléctrico puede provocar falsos contactos, los cuales pueden derivar en cortocircuitos, mediciones incorrectas o simplemente no tener medición alguna, poniendo en riesgo la veracidad de los resultados obtenidos.

En realizaciones preferentes, se ha desarrollado una PCB que incluye además un módulo propio de adquisición de señal, un módulo de sujeción al stack de pila de combustible junto con el contacto eléctrico, no siendo necesario ningún cableado adicional a cada celda del stack. Esto garantiza máxima comodidad a la hora de conectarlo y fiabilidad durante el proceso de adquisición de señal. Se implementa hardware de monitorización de bajo coste que posean una configuración multiplexada con aislamiento. Opcionalmente, implementa la técnica “plug and play”, enchufar y usar, a través de una conexión USB a cualquier PC.

Breve descripción de las figuras

La FIG. 1: Esquema del montaje sobre stack de pilas de combustible.

La FIG. 2: Detalle Porta PCB anclado al stack.

La FIG. 3: Array de palpadores y electrónica de adquisición.

La FIG. 4: Detalle de conexión celda-palpador.

La FIG. 5: Esquema electrónico del hardware de adquisición, procesado y control.

La FIG. 6: Efecto atenuación corriente de fuga.

La FIG. 7: Efecto fallo en conmutación con etapa de ganancia posterior.

La FIG. 8: Efecto fallo en conmutación con etapa de ganancia previa.

La FIG. 9: Imagen de la interfaz gráfica representando un diagrama de barras.

La FIG. 10: Imagen de la interfaz gráfica con el histórico temporal de variables.

La FIG. 11: Imagen de la interfaz gráfica para representación de la curva de polarización y potencia del stack

5 La FIG. 12: Esquema de funcionamiento normal de una celda de combustible.

La FIG. 13: Efecto de la corriente de corrosión e inanición de combustible.

La FIG. 14: Región Aire/Aire en el arranque.

La FIG. 15: Región Aire/Aire con fugas de combustible en la membrana.

10 La FIG. 16: Región Aire/Aire con fugas en la línea de salida de hidrógeno no consumido.

La FIG. 17: Región Aire/Aire con fugas en la línea de suministro de hidrógeno.

Descripción detallada de la invención

15 Sin carácter limitante de su alcance, se ilustra adicionalmente el funcionamiento de la invención mediante unos ejemplos particulares de realización y la referencia a las figuras anteriores.

20 La componente hardware ha sido diseñada con el objetivo de garantizar una solución de bajo coste con prestaciones de precisión y seguridad suficientes para el objetivo perseguido. El presente sistema reduce el hardware necesario, acoplándose mecánicamente de forma directa sobre el stack de la pila de combustible y alimentándose directamente desde un puerto USB.

25 La componente software permite obtener medidas en tiempo real de la tensión de cada celda, simultáneamente junto con la corriente y temperatura del stack, lo que permite en todo momento asociar las causas de la posible degradación del stack (observable principalmente por el valor de la tensión de cada celda) y el punto de operación, según la curva de polarización de la pila de combustible monitorizada.

30 Del mismo modo, el software muestra en tiempo real la diferencia del punto de polarización del stack completo respecto al estado inicial, por lo que permite determinar la degradación total del mismo en todas las zonas de la curva de polarización de la pila de combustible, y por tanto descubrir fenómenos asociados a
35 las distintas pérdidas.

La medida de la tensión de celda únicamente permitirá analizar diferencias de voltaje entre celdas, pero no así determinar qué tipología de pérdidas pueden estarse produciendo, debido a que es necesario relacionar el punto de polarización (V,I) actual con respecto al original, pudiendo determinar si la degradación es causada por pérdidas por activación, óhmicas o por concentración. Del mismo modo, la temperatura de operación del stack permitirá determinar pérdidas asociadas a altas o bajas temperaturas de operación del stack, así como determinar posibles problemas de refrigeración debidos a diferentes causas, elevadas intensidades, contaminación del stack, problemas de humidificación y extracción de productos, etc.

10

En la **FIG. 1** se muestra un ejemplo del montaje final del sistema de adquisición **1** sobre el stack de pila de combustible **2** gracias al porta PCB **3** diseñado para tal uso. De forma análoga, se representan y se ubican los sensores auxiliares de corriente **4** y temperatura del stack **5**, necesarios para la caracterización del punto de operación del mismo. Adicionalmente, se muestran representadas las conexiones auxiliares eléctricas **6** y de entrada y salida de hidrógeno **7**.

15

En la **FIG. 2** se muestra en detalle el sistema de acoplamiento o porta PCB **3** sobre el módulo de adquisición **1**, así como la unión sobre el stack de pila de combustible **2**. El sistema de sujeción al módulo de adquisición se realiza a través de dos agujeros pasantes **8** en los que se ancla el porta PCB gracias al uso de tornillo, arandela y rosca de apriete. Por su parte, el sistema dispone de un orificio oblongo **9** el cual permite un movimiento longitudinal de la varilla roscada de apriete **10** del stack **2** de pilas de combustible, de tal forma que permite ajustar la distancia correcta entre la unidad de adquisición y control y el stack de pilas de combustible, asegurando un correcto contacto eléctrico gracias a las sondas retráctiles **11** (ver Figura 3). La correcta sujeción se garantiza gracias a arandela y rosca de apriete.

20

25

La **FIG. 3** muestra representada más en detalle el módulo de adquisición, en la que se puede apreciar la distribución del peine de palpadores retráctiles **11** respecto al resto del circuito de adquisición y control **12**.

30

En la **FIG.4** se detalla la conexión entre la sonda palpadora retráctil **11** y la placa bipolar de las celdas de combustible **13**. Gracias a la capacidad de compresión de la sonda, se garantiza un correcto contacto eléctrico ante irregularidades en la superficie de la placa bipolar, o por imprecisiones en el montaje o ajuste de las sondas.

35

La **FIG. 5** muestra un ejemplo de realización donde se aprecia un conjunto de celdas **14** que están cableadas a unos divisores resistivos **15** que disminuyen la tensión entre sus extremos de forma que puedan acoplarse a un módulo de multiplexado **16**. La multiplexión se realiza de forma periódica y permite aumentar el número de canales de adquisición sin aumentar el número de convertidores analógico-digitales **21**. A continuación del multiplexor **16** se hace uso de una etapa descargadora **17** la cual permite eliminar el efecto de capacidades parásitas en el sistema, proporcionando unas conmutaciones rápidas y seguras. La salida de dicha etapa se encuentra conectada a un filtro paso bajo **18** el cual ha sido diseñado para eliminar componentes de alta frecuencia y reducir de ese modo el ruido electromagnético por interferencias externas. El amplificador de instrumentación **19** toma la señal filtrada y permite por un lado obtener la señal diferencial correspondiente a la tensión de una celda concreta, y por otro eliminar el ruido en modo común de la señal de entrada, aumentando por tanto la precisión de la medida. Con el objetivo de aumentar la seguridad del sistema, se hace uso de un amplificador de aislamiento **20** el cual permite aislar galvánicamente la entrada y salida del circuito, obteniendo un aislamiento eléctrico que permite preservar la electrónica de control y sucesivas etapas, de posibles fallos en la zona de alta tensión. La salida aislada es adquirida a través de un convertidor analógico-digital **21** de 24 bits con tecnología sigma-delta de alta precisión y bajo coste. La salida digitalizada es procesada en todo momento por el microcontrolador **22** quien representa la unidad de control y posee las funciones adicionales de comunicación externa con el PC y software de gestión a través de una conexión USB **23**, así como del control de la secuencia del multiplexor **16** a través de una etapa de optoacoplamiento **24**, la cual permite mantener el aislamiento eléctrico entre la zona de alta tensión y la zona de control y procesamiento. Adicionalmente, el microcontrolador se encarga de la lectura de los sensores auxiliares de corriente y tensión **25**, los cuales son tratados mediante una etapa previa de acondicionamiento **26**.

30

En la **FIG. 6** se muestra una configuración distinta a la que se propone y en ésta, el divisor resistivo **15** se encuentra tras el multiplexador **16**. En ella se puede apreciar el efecto negativo de la corriente de fuga de los multiplexores sobre los divisores resistivos. La corriente de fuga de todos los multiplexores inactivos generará una tensión parásita en el divisor resistivo, que al ser de valores óhmicos elevados, provocará una desviación en la medida traduciéndose en mediciones erróneas, las

35

cuales no podrán ser detectadas por el filtro paso bajo **18** ni el amplificador de instrumentación **19**, al ser de origen diferencial.

De igual manera, en la **FIG. 7** se muestra el comportamiento frente a la seguridad del sistema anterior ante posibles fallos en la secuencia de multiplexado **16**. Al no disponer de una etapa resistiva previa **15**, existe la posibilidad de cortocircuitar celdas anexas **14**, con el consiguiente daño para el stack y para el equipo de adquisición.

En el caso de disponer de divisor resistivo previo **15** tal y como se representa en la **FIG. 8**, la elevada resistencia entre celdas ante un fallo del multiplexor **16** provoca que la corriente de fallo sea muy pequeña y no dañe ninguna de las celdas de combustible **14**.

El módulo de procesamiento puede ejecutar software de gestión para que una unidad de visualización pueda representar en tiempo real todas las variables eléctricas de interés, tensión de celda y corriente del stack, así como la temperatura del mismo. Para ello, el software de gestión genera al ser ejecutado una interfaz de tres ventanas distintas (**FIG. 9**, **FIG. 10** y **FIG. 11**) y un panel de control general **27** en el cual se configura el puerto de comunicación y están las opciones de guardado del sistema. Adicionalmente, se dispone de un panel de aviso **28** en el cual se visualizan el estado de tres leds, los cuales son programados por el usuario y se activan cuando algunas de las celdas del stack traspasan los límites de seguridad marcados, indicando el número de celda y el evento que lo ha originado.

En la **FIG. 9** se presenta un ejemplo de la ventana de monitorización **29** en la cual se representa en un diagrama de barras las tensiones de celda de todo el stack, y por tanto permite ver de una forma muy rápida diferencias significativas entre dos o más celdas de combustible. De forma análoga, la temperatura del stack es representada en un indicador creado para tal fin **30**.

En la **FIG. 10** se muestra la segunda ventana en la cual se permite la representación de la evolución temporal de todas las celdas monitorizadas **31** y por tanto permite un estudio dinámico ante los distintos perfiles de carga utilizados.

En la **FIG. 11** se representa en tiempo real el punto de polarización de la pila de combustible **32**, formado por tensión y corriente; así como potencia del stack **33**

referidos a las curvas teóricas proporcionadas por el fabricante, de tal forma que nos permite identificar qué zona de polarización ha sufrido una mayor degradación, y por tanto identificar la naturaleza de la degradación (pérdidas por activación, óhmicas o por concentración).

5

En la **FIG. 12** se muestra el esquema del funcionamiento normal de una celda de combustible: las moléculas de hidrógeno **34** que entran en el ánodo **35** se descomponen en iones H⁺ **36** y electrones **37** en presencia de un catalizador **38**. Los iones H⁺ atraviesan la membrana **39** y los electrones pasan por el circuito exterior. En el cátodo **40**, las moléculas de oxígeno **41** (procedente del propio aire exterior) se recombinan con los iones H⁺ y los electrones para formar agua **42**, la cual constituye el "residuo" de la celda.

Para alcanzar los niveles de potencia deseados, las celdas se ensamblan unas junto a otras en serie, hasta formar el stack requerido. Para que el stack así construido pueda funcionar como pila de combustible (sistema que alimentado por hidrógeno genera potencia eléctrica), necesita de lo que se denomina el BoP ("Balance of Plant" o balance de planta), esto es, un conjunto de subsistemas que proporcionan el suministro de hidrógeno (integrado por válvulas de entrada y salida para alimentación y purga), el subsistema de oxigenación/refrigeración (integrado por al menos un ventilador/extractor para refrigeración y ajuste de estequiometría), la circuitería eléctrica (que permite alimentar a una carga eléctrica) y el control sobre el BoP completo para que el stack pueda funcionar en las condiciones apropiadas.

Una vez en funcionamiento, el rendimiento de la pila de combustible puede verse afectado por causas diversas, influyendo directamente en sus prestaciones eléctricas (genera menos potencia de la nominal prevista). Es entonces decisivo disponer de un sistema capaz de monitorizar el estado de cada celda, con objeto de analizar su posible degradación y, en última instancia, su deterioro. Esto posibilitará que, de forma selectiva, se pueda llevar a cabo la retirada de las celdas deterioradas y, si es posible, su reemplazo por celdas en buen estado, lo cual permitirá recuperar el rendimiento (potencia) inicial del stack. Dicho lo anterior, las dos principales causas de deterioro de las celdas que además pueden ser detectadas por pérdida de tensión, son la corrosión del carbón que se emplea para depositar el catalizador y la inanición de combustible. La primera se debe a que en una celda de combustible tipo PEM, en la estructura Electrolito-Membrana-Electrolito, el catalizador que favorece la disociación del

hidrógeno está suspendido en una fina capa de carbono que cubre a la membrana por
ambos lados. Cuando esta capa de carbono desaparece (como consecuencia de la
reacción del mismo con agua para formar CO₂, iones H⁺ y electrones), la interfaz
hidrógeno-oxígeno (en lo sucesivo hidrógeno-aire, ya que el oxígeno que necesita la
5 celda de combustible para reaccionar, procede directamente del aire circundante) que
existe en la membrana se convierte en oxígeno-oxígeno (en lo sucesivo aire-aire),
generando dos zonas de diferente tensión y por tanto una corriente denominada
"corriente de corrosión". Esta corriente aparece durante el arranque de la pila (es la
degradación por activación ya mencionada), y también aparece si hay pérdidas de
10 combustible, o si la válvula de suministro o la válvula de purga tienen fugas. Es decir,
que si debido a un mal funcionamiento, la región H₂/Aire que existe en la interfaz
ánodo-membrana-cátodo se transforma en una región Aire/Aire, la celda de
combustible deja de funcionar correctamente y la reacción que existe en el ánodo no
es la disociación de las moléculas de hidrógeno sino la combinación del carbono
15 (existente en la estructura necesaria para depositar el catalizador), con agua para
formar dióxido de carbono como muestra la **FIG. 13**. Como consecuencia, en una
misma celda aparecen dos regiones: una donde existe una mezcla de H₂/Aire **43** en la
que se mantiene una diferencia de tensión de aproximadamente 1 V, y otra de mezcla
Aire/Aire **44** en la que no existe diferencia de tensión. Debido a que los platos
20 bipolares de la celda (responsables de separar las celdas individuales en el stack) son
conductores, la diferencia de tensión creada en la región H₂/Aire se aplica a la región
Aire/Aire. Esta diferencia de tensión aplicada a la región Aire/Aire provoca una
corriente denominada "corriente de corrosión" **45** cuyo efecto es el consumo del
carbono de la capa catalizadora.

25 Según lo anterior, se deduce que es muy importante evitar que se generen regiones
tipo Aire/Aire. Las **FIGs. 14-17** muestran algunas situaciones en las que se puede dar
esta situación adversa que provoca el deterioro del stack de una pila de combustible y,
por tanto, el deterioro de ésta.

30 La **FIG. 14**, a modo de ejemplo, ilustra el caso de una pila que no ha estado
funcionando durante cierto tiempo (más de 30 minutos), donde el ánodo se rellena de
aire **46**. Entonces, en el momento del arranque (activación), cuando se suministra
hidrógeno, inicialmente se genera una región Aire/Aire, con las consiguientes
35 consecuencias adversas.

La **FIG. 15** muestra otra situación en la que se pueden generar regiones Aire/Aire es en el apagado. Después del apagado, el consumo de hidrógeno en el ánodo reduce la presión de éste por debajo de la presión atmosférica, y si hay fuga de combustible en la membrana **47**, el aire entra en el ánodo a ocupar el hueco liberado por la fuga de hidrógeno. En este caso, la tensión de la celda dañada no vuelve a su valor normal en circuito abierto, sino que baja ostensiblemente.

La **FIG. 16**, ilustra una fuga en la línea de salida de hidrógeno **48** no consumido que vuelve a tener efecto sobre la corriente de corrosión. Un indicador de que existen fugas en la válvula de purga, es que la tensión de alguna de las celdas en circuito abierto se decrementa hasta casi anularse.

La **FIG. 17** muestra que, si existen fugas en la línea de suministro de hidrógeno, la interfaz Aire/Aire que debería haber en un estado normal de apagado, se sustituye por la interfaz H₂/Aire **49**. Como consecuencia, la tensión de celda nunca llegará a ser 0 V (tensión de celda si la interfaz es Aire/Aire, lo que equivale a que no existan fugas en la válvula de suministro) habiendo transcurrido más de 30 minutos después del apagado de la pila.

La **FIG. 13** representa otro efecto de deterioro (además del de la corriente de corrosión ya comentado), relativo a la inanición o falta de combustible. Esta falta de combustible provoca un efecto similar a la corriente de corrosión sobre una celda de combustible. Cuando no existe suficiente hidrógeno con el que reaccionar, éste es sustituido por el carbono de la capa catalizadora, de forma que el carbono reacciona con el agua para generar protones y electrones, con el fin de abastecer la demanda de la carga. En esta situación, la tensión de celda puede bajar por debajo de 0 V, llegando a una situación inversa irreversible que supondrá la inhabilitación definitiva de la misma.

Tanto en el caso de corriente de corrosión o inanición de combustible, ambos fenómenos adversos pueden ser detectados mediante la monitorización la tensión de celda, y por tanto mediante el sistema objeto de esta invención.

Existen varios métodos para el estudio de diagnóstico de pilas de combustible, entre los cuales se pueden destacar el estudio de la curva de polarización, el estudio de la impedancia por espectroscopia electroquímica, el método de interrupción de corriente y la medición de humedad y presión. De todos los anteriores métodos el primero y el

último son los únicos que pueden ser llevados a cabo "on-line" durante la operación normal con carga, siendo el primero el más adecuado para determinar el tipo de pérdidas asociadas, debido a que se estudian los puntos sobre la curva de polarización. Por todo ello, los sistemas de monitorización de tensión de celda junto con otros sensores de tipo físico-químico (humedad, presión, temperatura, corriente, concentración de reactivos, etc) son los más extendidos para los estudios de degradación sobre pilas de combustible.

Dependiendo del estudio a realizar, los sistemas de monitorización de tensión de celda deben cumplir unas restricciones mínimas para garantizar una lectura precisa. Como norma general, se estima que los sistemas deben ser capaces de medir con una frecuencia de muestreo mínima de 1-4 Hz, y con una precisión de ± 100 mV para detectar fallos importantes y ± 10 mV para análisis de degradación de celdas.

Atendiendo a lo anterior, es necesario el uso de equipos con una velocidad de muestreo alta si el número de canales es elevado, o bien la utilización de tantos canales de instrumentación como canales de monitorización existan. Normalmente, la primera de las opciones lleva asociado una disminución en la precisión total del sistema al aumentar la frecuencia de muestreo, mientras que la segunda aumenta exponencialmente los costes del sistema de adquisición.

Desde el punto de vista de la seguridad del sistema, es necesario el uso de aislamientos eléctricos para prevenir daños en la electrónica y en las distintas celdas. Esto requiere de un diseño más exhaustivo y el empleo de componentes que encarecen el mismo.

Teniendo en cuenta la maniobrabilidad del sistema, es necesario el desarrollo de sistemas de adquisición que faciliten su interfaz con la pila de combustible, debido a que las soluciones actuales requieren de grandes mazos de cables crimpados, lo que significa una mayor complejidad de montaje, la posibilidad de malas conexiones poniendo el riesgo la integridad del stack, y la mayor vulnerabilidad a ruido electromagnético debido a las grandes distancias de cable.

Finalmente, sería deseable sistemas de bajo coste y filosofía "plug and play", enchufar y usar, con la finalidad de promover el uso de este tipo de tecnologías y facilitar el

diseño, estudio y operación de las pilas de combustible en el sector industrial, docente universitario e investigador.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de supervisión y control de celdas de combustible caracterizado por que comprende:

- 5 - un módulo de adquisición (1) que comprende un multiplexor (16) cuya frecuencia de muestreo depende del número de celdas (14) del stack (2);
- un sensor de temperatura (5) configurado para medir la temperatura;
- un sensor de corriente (4) configurado para medir la corriente;
- un módulo de conexión mediante cableado para conectar de forma individual
- 10 cada una de las celdas de combustible al módulo multiplexor que multiplexa las señales individuales recibidas de cada celda;
- un módulo de procesamiento que comprende al menos un convertor analógico-digital (21) y un microcontrolador (22), el módulo de procesamiento configurado para analizar el punto de polarización.

15

2. Sistema según la reivindicación 1, donde el módulo de procesamiento está configurado para almacenar la curva teórica y para hacer una comparación entre la curva real de la pila de combustible y teórica.

20 3. Sistema según la reivindicación 2, que comprende además un módulo de visualización configurado para representar una interfaz cuando se ejecuta en el módulo de procesamiento un software de gestión.

4. Sistema según la reivindicación 3, donde la interfaz representa en tiempo real al

25 menos los valores de tensión de celda a la vez que la corriente, temperatura y potencia del stack.

5. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los módulos multiplexor, de conexión y de procesamiento anteriores se implementan en una PCB.

30

6. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, , que comprende un puerto de salida para conexión USB (23) plug and play.

7. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un

35 módulo de aislamiento galvánico (20).

8. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un módulo mecánico de sujeción que comprende una pluralidad de sondas retráctiles (11).

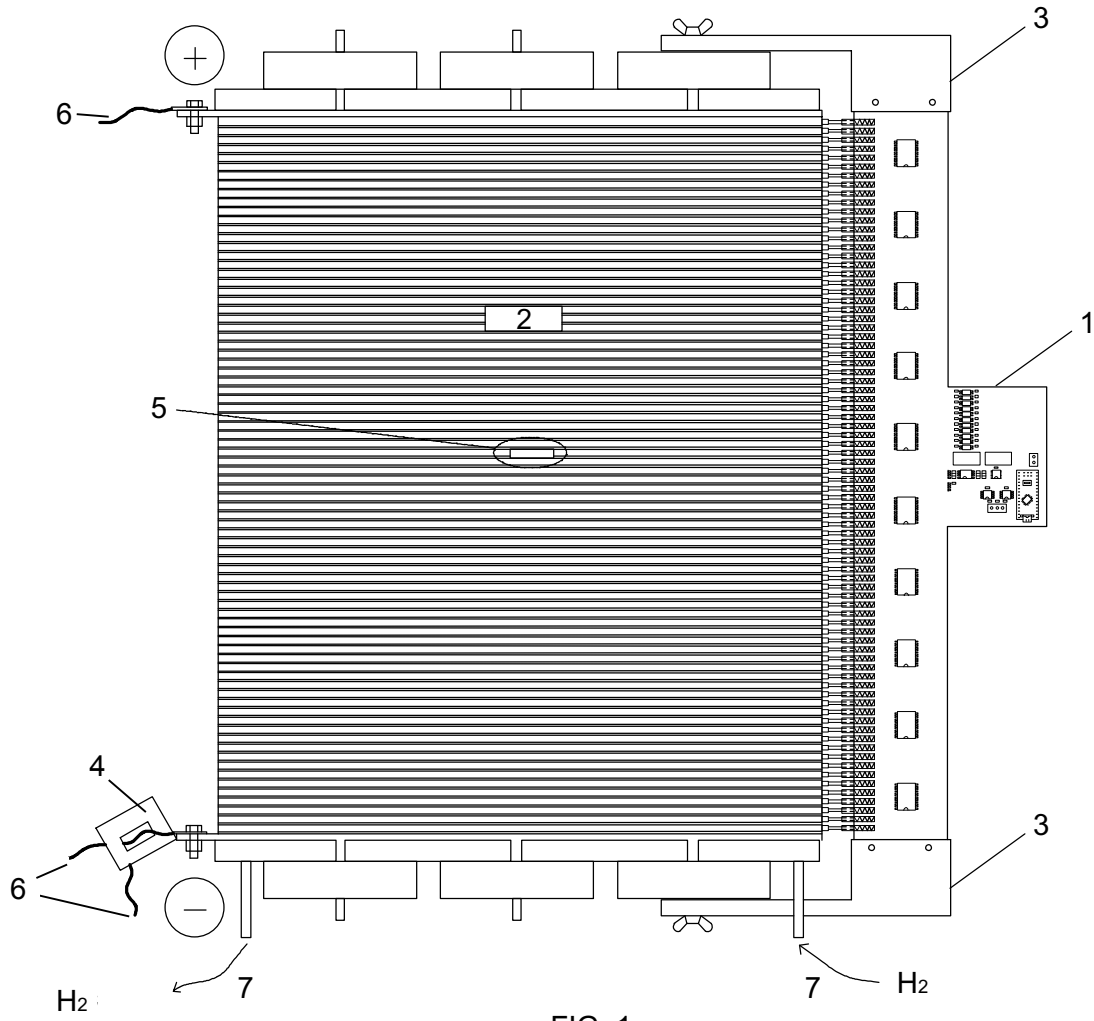


FIG. 1

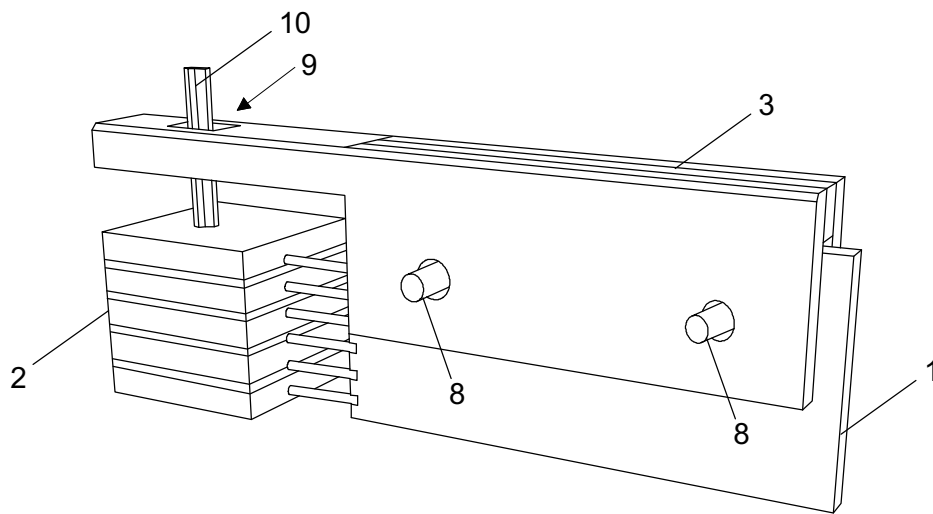
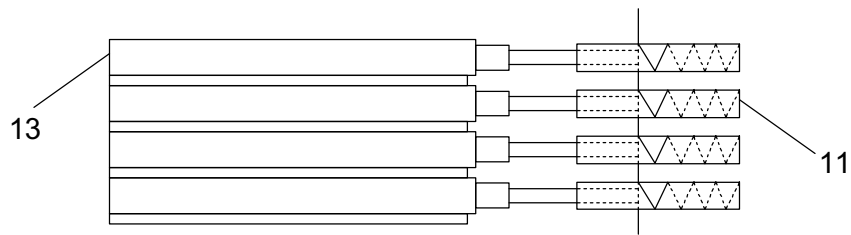
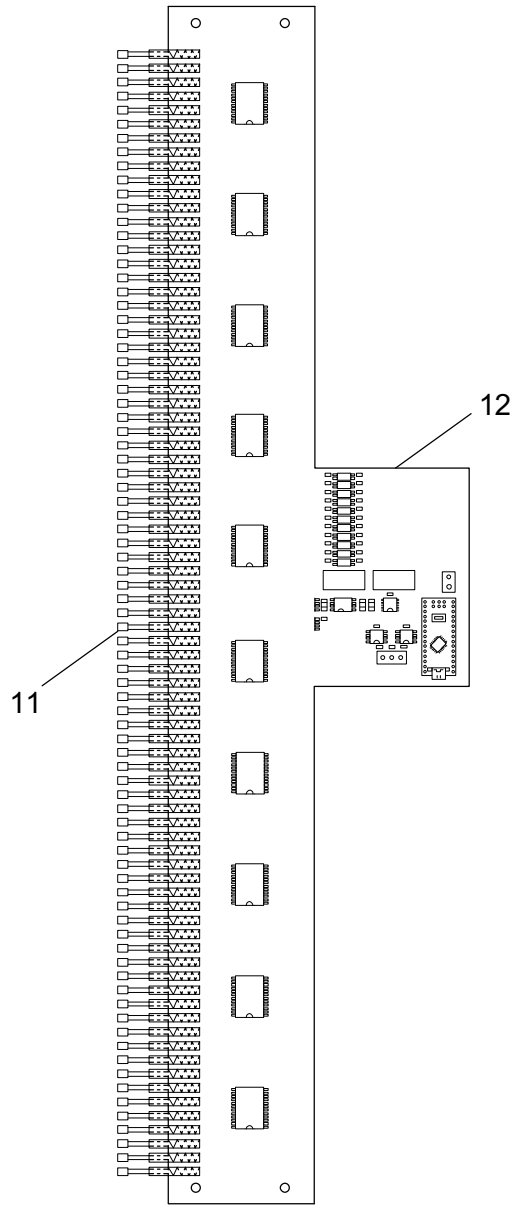


FIG. 2



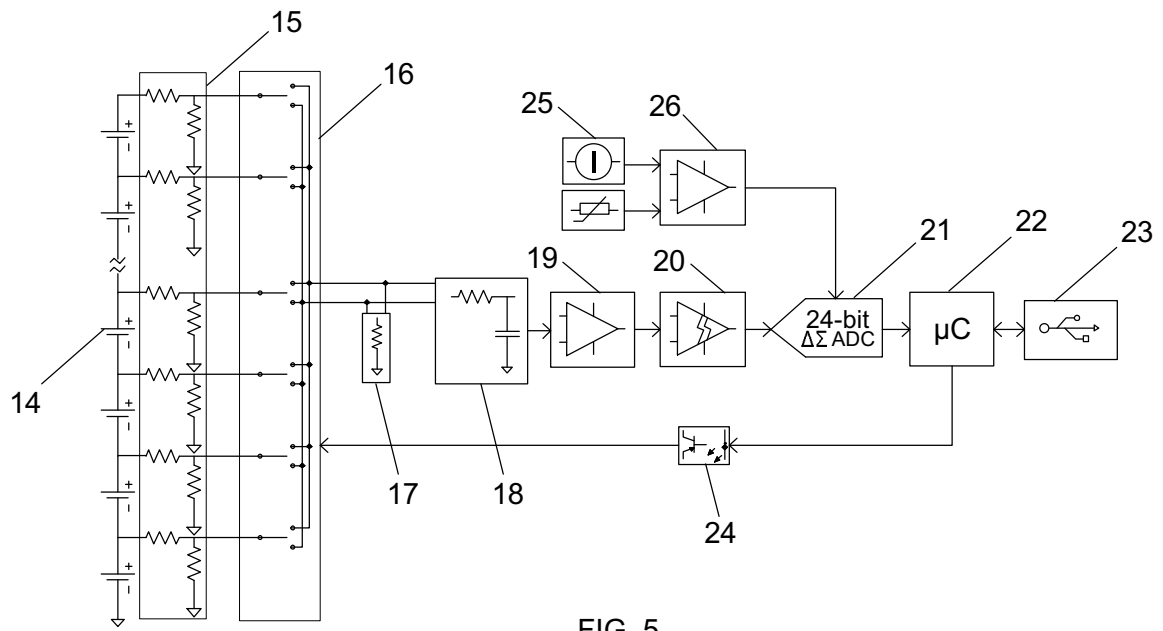


FIG. 5

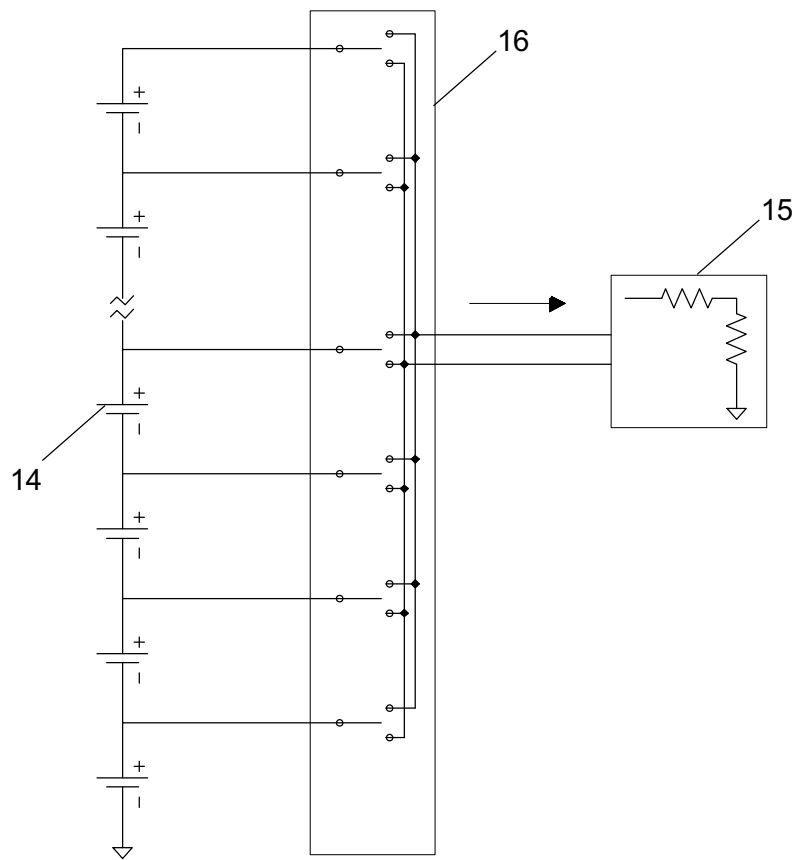


FIG. 6

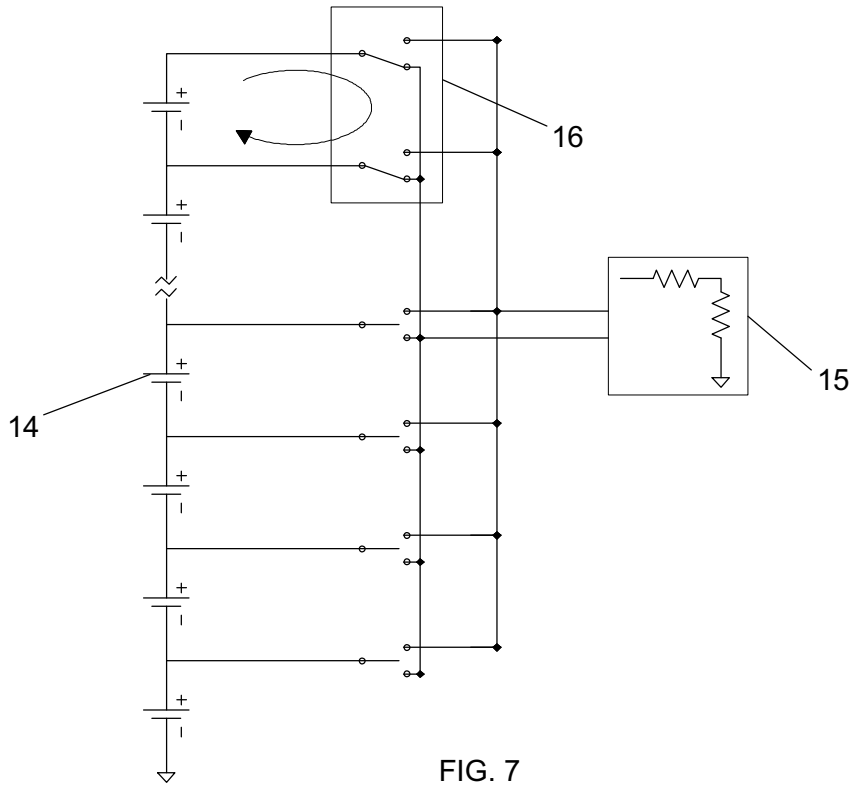


FIG. 7

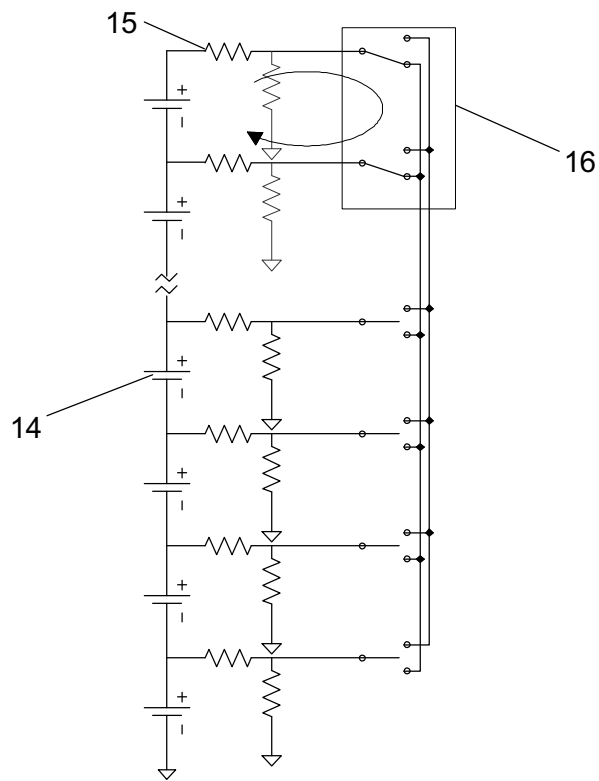


FIG. 8

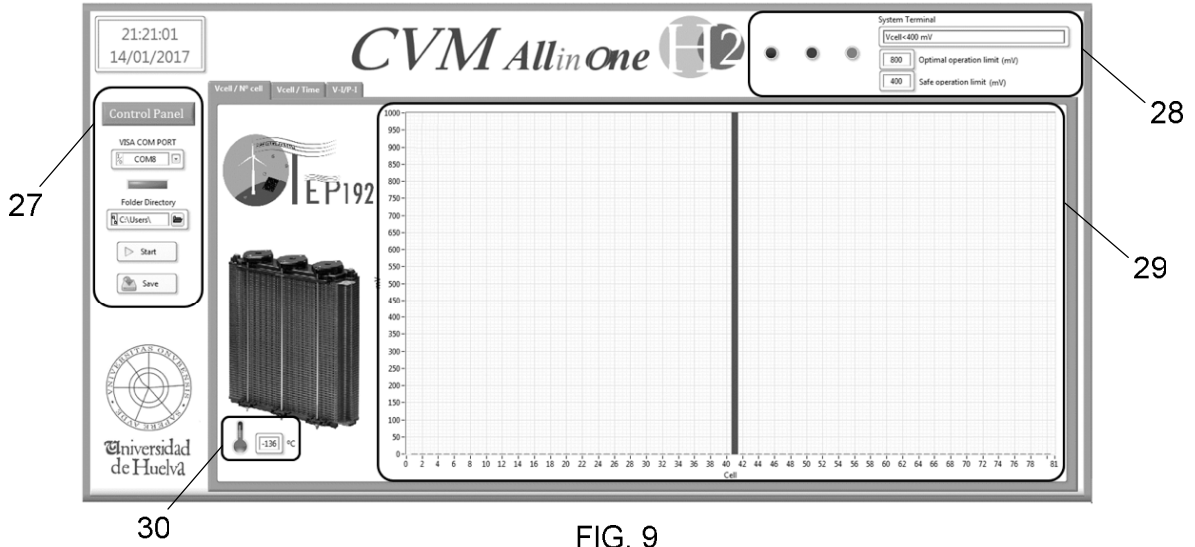


FIG. 9

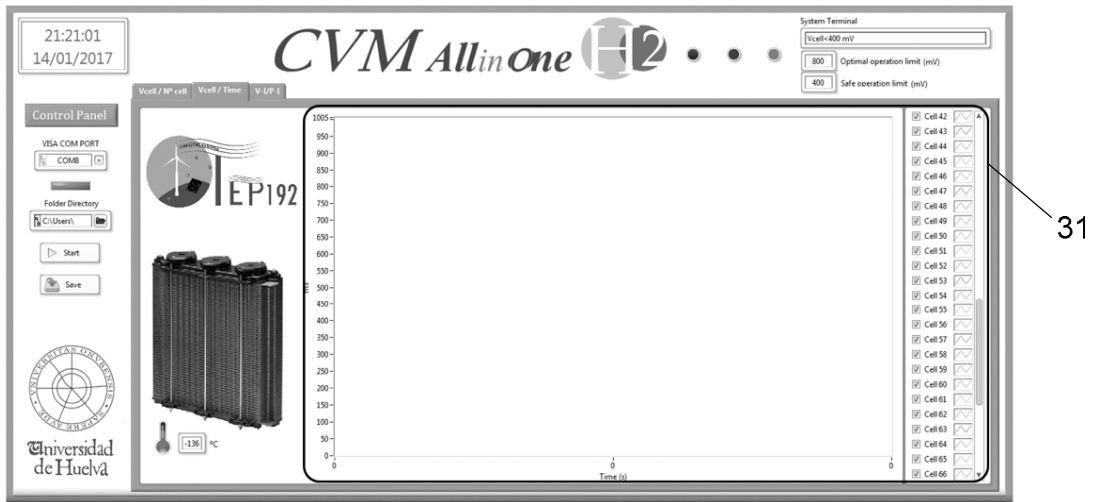


FIG. 10

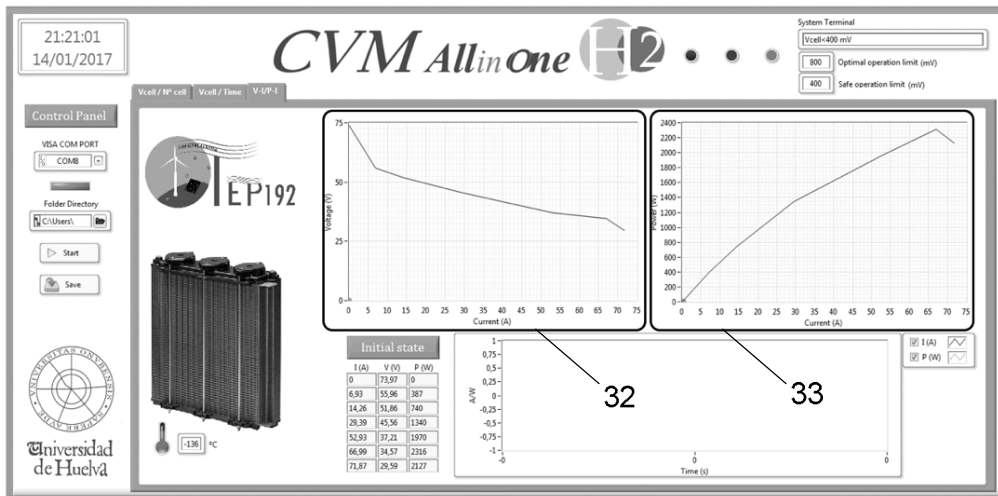


FIG. 11

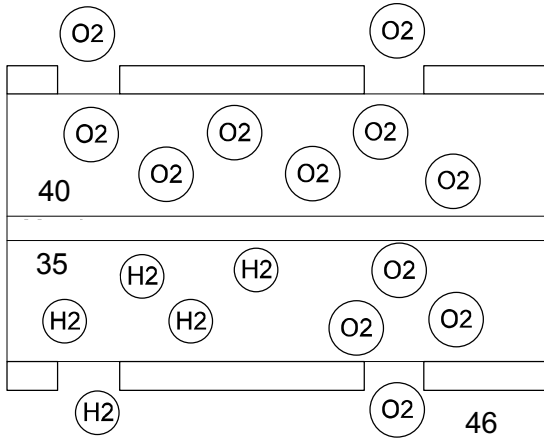


FIG. 14

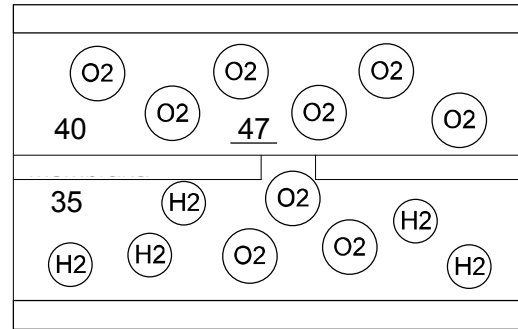


FIG. 15

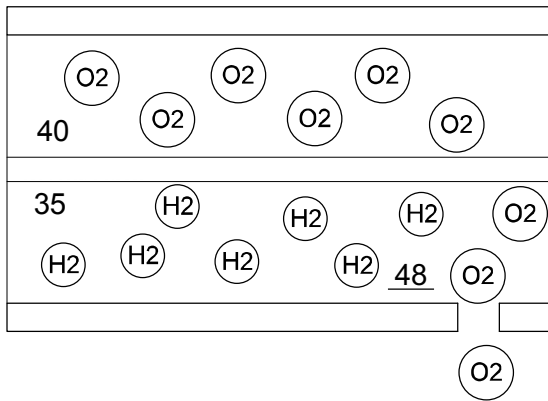


FIG. 16

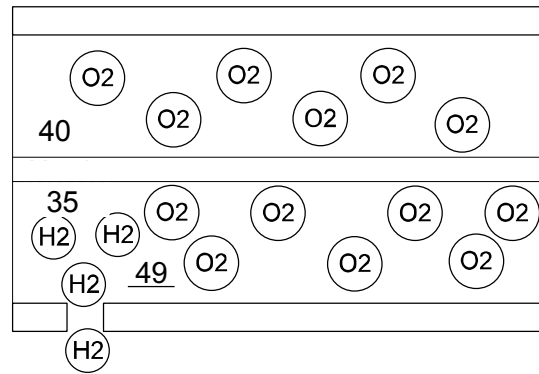


FIG. 17