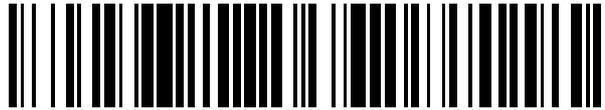


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 352 709**

21 Número de solicitud: 200701133

51 Int. Cl.:

**H01M 8/04** (2006.01)

**G05F 1/10** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación: **26.04.2007**

43 Fecha de publicación de la solicitud: **22.02.2011**

Fecha de la concesión: **05.12.2011**

45 Fecha de anuncio de la concesión: **19.12.2011**

45 Fecha de publicación del folleto de la patente:  
**19.12.2011**

73 Titular/es:  
**UNIVERSIDAD DE VIGO  
CAMPUS UNIVERSITARIO LAGOAS -  
MARCSENDE  
36310 VIGO, PONTEVEDRA, ES**

72 Inventor/es:  
**DE CAL ZAPATA, MANUEL;  
URREJOLA MADRIÑAN, SANTIAGO;  
SANJURJO RODRIGUEZ, MANUEL ANGEL;  
RODRIGUEZ REGUEIRA, PABLO;  
NUÑEZ FERNANDEZ, JAIME;  
VAZQUEZ ALFAYA, MANUEL EUSEBIO;  
CERDEIRA PEREZ, FERNANDO;  
LOPEZ CISNEROS, PABLO y  
SANCHEZ BERMUDEZ, ANGEL MANUEL**

74 Agente: **No consta**

54 Título: **Sistema modular de generación eléctrica basado en pilas de combustible.**

57 Resumen:

Consiste en un sistema modular para suministrar energía eléctrica a pequeños y medianos consumidores. Está formado por pilas de combustible, regulador de tensión, baterías, sistemas de control e inversor. Se adapta a las necesidades de cada consumidor gracias a la modularidad del sistema que permite ser ampliado, interconectando sistemas iguales, para formar una red de generación.

ES 2 352 709 B1

## DESCRIPCIÓN

Sistema modular de generación eléctrica basado en pilas de combustible.

### 5 Desarrollo de la técnica

Esta invención es del sector de la generación eléctrica mediante energías renovables.

### 10 Estado de la técnica

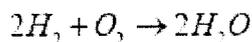
10 La generación de energía es uno de los factores fundamentales en el desarrollo de una sociedad. Actualmente la gran mayoría de los sistemas de generación son sistemas derivados de la utilización de combustibles de carácter agotable (carbón, petróleo, energía nuclear). El hecho de tener una dependencia excesiva de estos sistemas junto con los inconvenientes medioambientales que esto conlleva nos hace pensar en la búsqueda de sistemas de generación que eviten dichos problemas.

Hoy en día los sistemas alternativos que ofrece el mercado son:

- 20 1. Energía hidráulica: Aprovechando la transformación de la energía potencial de un depósito de agua elevado en energía cinética.
2. Energía eólica: Aprovechamiento de la energía del viento mediante sistemas aerogeneradores de transformación de la energía cinética en energía mecánica.
- 25 3. Energía solar: Transformación de la energía térmica de la radiación solar. Hay dos tipos principalmente:
  - Energía solar-térmica: mediante colectores térmicos que calientan el agua para su posible utilización en aplicaciones de agua caliente y calefacción.
  - 30 • Energía fotovoltaica: con paneles fotovoltaicos que transforman la radiación solar en corriente eléctrica.
4. Biomasa: utilización de materiales orgánicos para conseguir electricidad mediante energía térmica.
- 35 5. Otras energías: entre las que se encuentran las energías de las olas, las geotérmicas y las mareomotrices. Que son de menor aplicación.

40 A pesar de sus evidentes ventajas las energías renovables antes mencionadas no son perfectas y tienen ciertos inconvenientes que es necesario solucionar. Es por ello que nos centraremos en la tecnología del hidrógeno, ya que éste puede hacer de nexo de enlace entre las renovables y los consumidores de energía.

El hidrógeno puede usarse como combustible en motores de combustión interna o puede servir de alimentación de las pilas de combustible conjuntamente con oxígeno para producir electricidad y agua como productos gracias a la electrólisis inversa.



50

En el caso de utilizarse las pilas de combustible se puede producir energía como resultado de la transformación de un material almacenado sin tener emisiones contaminantes. Si el hidrógeno que utilizamos es a su vez el resultado se aprovechar las energías renovables (solar y eólica) en momentos puntuales de excesos de energía en electrolizadores, somos capaces de almacenar energía de carácter variable y la podremos utilizar en el momento deseado, algo que era imposible de no usarse esta tecnología.

### Descripción

60 Para la realización de esta invención se han seguido los siguientes pasos:

1. Revisión bibliográfica.
- 65 2. Modelización, simulación del sistema y resultados de la simulación. Para la simulación de los distintos elementos del sistema (pila de combustible, bomba de calor, electrónica de potencia, ...) se utilizó el paquete Simulink®, incluido en el software Matlab®.

3. Operación individual de los elementos de la instalación.

En esta etapa se analizaron los parámetros de funcionamiento de cada elemento y su integración en el sistema. Las pilas de combustible se sometieron a distintas cargas con diferentes sistemas de alimentación.

4. Operación del sistema.

En la etapa final se procedió a instalar y operar el sistema completo, realizando diferentes pruebas para analizar el funcionamiento.

5. Conclusiones y posibles mejoras de la invención.

*Simulación del sistema*

*Modelo de la pila de combustible*

El modelo teórico de la pila se basa en relaciones electroquímicas, termodinámicas y de mecánica de fluidos. Utiliza ecuaciones básicas como son la de Nerst-Planck para transporte de especies, Stefan-Maxwell para transporte en fase gaseosa y Butler-Vollmer para el voltaje de la pila. Dependiendo del enfoque, a partir del modelo se pueden obtener datos de flujos, distribución de densidades de corriente, voltajes, caídas de presión y otra serie de variables.

La herramienta utilizada en este modelo es Simulink<sup>®</sup>. Consiste en un paquete de software añadido a Matlab<sup>®</sup>, una herramienta matemática que se utiliza para modelar, simular y analizar sistemas dinámicos, gobernados por ecuaciones diferenciales. Soporta sistemas lineales y no lineales, modelados en tiempo continuo o en intervalos.

Cuando el modelo está definido, se puede simular empleando diversos métodos de integración.

Mediante los bloques de salida se pueden observar los resultados en el transcurso de la simulación. Además se pueden variar diversos parámetros y observar la respuesta del sistema. Los resultados de la simulación pueden ser llevados al espacio de trabajo de Matlab<sup>®</sup> para ser procesados. Las herramientas de análisis del modelo incluyen sistemas de linearización y rectificación, a los que se puede acceder desde la línea de comando de Matlab<sup>®</sup>. Como Matlab<sup>®</sup> y Simulink<sup>®</sup> están integrados, los modelos se pueden analizar, simular y revisar con ambos entornos en cualquier punto.

A continuación se describe el modelo realizado para la pila de combustible de membrana de intercambio protónico, modelo Nexa<sup>™</sup>, del fabricante canadiense Ballard. En la figura 1 se muestra el esquema general del modelo.

SISTEMA PEMFC	I. PEMFC	I.1 ÁNODO	I.1.a PROP. ENTRADA ÁNODO
			I.1.b PROP. SALIDA ÁNODO
			I.1.c BALANCE H <sub>2</sub>
			I.1.d BALANCE H <sub>2</sub> O
		I.2 MEMBRANA	I.2.a D <sub>i</sub>
		I.3 CÁTODO	I.3.a PROP. ENTRADA CÁTODO
			I.3.b PROP. SALIDA CÁTODO
			I.3.c BALANCE O <sub>2</sub>
			I.3.d BALANCE N <sub>2</sub>
			I.3.e BALANCE H <sub>2</sub> O
	I.4 VOLTAJE DE LA PILA	I.4.a E	
		I.4.b V <sub>ohm</sub>	
		I.4.c V <sub>act</sub> , V <sub>conc</sub>	
	I.5 COLECTOR SALIDA CÁTODO	I.5.a ORIFICIO SALIDA	
	II. AC. DE ENTRADA	II.1 COLECTOR ENTRADA CÁTODO	
II.2 INTERCAMBIADOR			
II.3 HUMIDIFICADOR			
II.4 COLECTOR ENTRADA ÁNODO			
III. SISTEMA DE COMPRESIÓN			

*Ecuaciones del modelo con diagramas de bloques Simulink® para un sistema PEMFC*

El sistema general considerado está formado por el compresor del aire de entrada, los sistemas de acondicionamiento de los gases de entrada, un stack de membranas de intercambio protónico y los colectores de entrada y de salida. La simulación se aborda tomando cada bloque por separado, pero con entradas y salidas interconectadas en cada uno de ellos. Se asumen las mismas condiciones de temperatura en todas las partes de la pila, ya que el tiempo de arranque de las PEMFC es pequeño, operando a temperaturas máximas de alrededor de 80°C y, además, los periodos de duración de la simulación utilizados son breves.

*PEMFC*

En este apartado se incluyen los bloques de los modelos de los electrodos y de la membrana. Además se lleva a cabo el modelado del voltaje de la pila.

*Ánodo*

En este modelo se supone que la alimentación del ánodo es hidrógeno puro, suministrado desde un depósito en el que se controla la presión de salida. La entrada al ánodo se asume con una humedad del 100%. La salida de hidrógeno del ánodo se asume igual a cero, ya que se considera su recirculación. La temperatura del hidrógeno en el ánodo es igual a la temperatura global de la pila.

*Propiedades entrada ánodo y propiedades salida ánodo*

A partir de una corriente entrante o saliente se determinan cuáles son las fracciones que corresponden al hidrógeno y al agua. Los términos conocidos de las corrientes son: flujo másico  $W$ , temperatura  $T$ , presión  $P$  y humedad relativa  $\varphi$ . En primer lugar se calculan las diferentes presiones parciales utilizando el concepto de humedad relativa:

$$\varphi = \frac{P_v}{P_{\text{sat}}(T)} \Rightarrow P_v = \varphi \cdot P_{\text{sat}}(T)$$

$$P = P_v + P_{H_2} \Rightarrow P_{H_2} = P - P_v$$

La presión de saturación a una temperatura dada se obtiene de la siguiente fórmula empírica:

$$P_{\text{sat}}(T) = \exp\left(\frac{18,3036 - 381,44}{T - 46,13}\right) \cdot \left(\frac{101325}{760}\right)$$

Con estas presiones se puede calcular la humedad  $\omega$ , definida como la relación entre la masa de vapor y la de hidrógeno.

$$\omega = \frac{m_v \text{ en } 1 \text{ m}^3 \text{ H}_2 \text{ húmedo}}{m_{H_2, \text{seco}} \text{ en el mismo volumen}} = \frac{W_{\text{total}} - W_{H_2}}{W_{H_2}} \Bigg|_{v,T} = \frac{W_{\text{total}}}{W_{H_2}} - 1$$

o de otra forma,

$$\omega = \frac{P_v}{P_{H_2}}$$

El cálculo de los flujos de hidrógeno y agua en el ánodo es el siguiente:

$$W_{H_2} = \frac{1}{1 + \omega} \cdot W_{\text{total}}$$

$$W_{H_2O} = W_{\text{total}} - W_{H_2}$$

*Balance de H<sub>2</sub> en el ánodo*

La masa de hidrógeno que hay en todo momento en el ánodo depende del flujo entrante de hidrógeno, del flujo de salida de hidrógeno (se supone nulo) y de la cantidad de hidrógeno que reacciona.

$$\frac{dm_{H_2}}{dt} = W_{H_2,e} - W_{H_2,s} - W_{H_2,react}$$

Siendo el valor del flujo de hidrógeno reaccionado:

$$W_{H_2,react} = \frac{I \cdot M_{H_2} \cdot N}{2F}$$

A partir de la masa se determina la presión parcial del hidrógeno en el ánodo, utilizando la ecuación de los gases ideales:

$$P_{H_2} = \frac{m_{H_2} \cdot R_{H_2} \cdot T}{V_{an}}$$

*Balance de H<sub>2</sub>O en el ánodo*

La masa de agua en el ánodo depende, en todo momento, del flujo de agua que entra, del que sale y del agua de la membrana:

$$\frac{dm_{H_2O}}{dt} = W_{H_2O,e} - W_{H_2O,s} - W_{H_2O,membr}$$

Con el valor de la masa se puede obtener la presión parcial del vapor de agua en el ánodo:

$$P_v = \frac{m_{H_2O} \cdot R_{H_2O} \cdot T}{V_{an}}$$

Este último parámetro permite calcular la humedad relativa en el ánodo:

$$\Phi_{an} = \frac{P_v}{P_{sat}(T)}$$

La presión de saturación se obtiene a partir de la temperatura con la siguiente fórmula empírica:

$$P_{sat}(T) = \exp\left(\frac{18,3036 - 381,44}{T - 46,13}\right) \cdot \left(\frac{101325}{760}\right)$$

*Membrana*

El modelo de la membrana de intercambio protónico simula el transporte de agua. El flujo másico y el contenido en agua se suponen uniformemente repartidos en toda su superficie. El transporte de agua a través de la membrana se consigue a través de dos fenómenos:

- Arrastre electro-osmótico: la cantidad de agua transportada es proporcional al coeficiente  $n_d$  (número de moléculas de agua transportadas por cada protón).

- Gradiente de concentración de agua a través de la membrana: se asume un cambio lineal de dicha concentración a través del espesor,  $e$ , de la membrana. El coeficiente de difusión es  $D_{H_2O}$ .

Los coeficientes  $n_d$  y  $D_{H_2O}$  varían con el contenido en agua de la membrana  $\lambda_m$ . Este contenido en agua se considera el valor medio del agua contenida en el ánodo y en el cátodo.  $\lambda_{\text{ánodo}}$  y  $\lambda_{\text{cátodo}}$  se calculan a partir de la actividad:

$i = \text{cátodo, ánodo}$

$$\alpha_i = \frac{\text{fracc.molar}_{H_2O,i} \cdot P_i}{P_{\text{sat},i}(T)} = \frac{P_{v,i}}{P_{\text{sat},i}}$$

$$\lambda_i = \begin{cases} 0,043 + 17,81 \cdot \alpha_i - 39,85 \cdot \alpha_i^2 + 36 \cdot \alpha_i^3 & , 0 < \alpha_i \leq 1 \\ 14 + 1,4 \cdot (\alpha_i - 1) & , 1 < \alpha_i \leq 3 \end{cases}$$

$$\lambda_{\text{membr}} = \frac{\lambda_{\text{cátodo}} + \lambda_{\text{ánodo}}}{2}$$

El coeficiente  $n_d$  es:

$$n_d = 0,0029 \cdot \lambda_{\text{membr}}^2 + 0,05 \cdot \lambda_{\text{membr}} - 3,4 \cdot 10^{-19}$$

El coeficiente  $D_{H_2O}$  es:

$$D_{H_2O} = D_\lambda \cdot \exp\left(2416 \cdot \left(\frac{1}{303} - \frac{1}{T}\right)\right)$$

donde:

$$D_\lambda = \begin{cases} 10^{-6} & , \lambda_{\text{membr}} < 2 \\ 10^{-6} \cdot (1 + 2 \cdot (\lambda_{\text{membr}} - 2)) & , 2 \leq \lambda_{\text{membr}} < 3 \\ 10^{-6} \cdot (3 - 1,67 \cdot (\lambda_{\text{membr}} - 3)) & , 3 \leq \lambda_{\text{membr}} < 4,5 \\ 1,25 \cdot 10^{-6} & , \lambda_{\text{membr}} \geq 4,5 \end{cases}$$

Finalmente, los valores de las concentraciones son:

$$[H_2O]_i = \lambda_i \cdot \frac{\rho_{\text{membr.seca}}}{M_{\text{membr.seca}}}$$

Siendo:

$\rho_{\text{membr.seca}}$  es la densidad de la membrana en seco [kg/cm<sup>3</sup>]

$M_{\text{membr.seca}}$  es el peso equivalente de la membrana en seco [kg/mol].

Si se combinan los dos mecanismos de transporte de agua, el flujo desde el ánodo hasta el cátodo es:

$$W_{H_2O, membr} = M_{H_2O} \cdot A \cdot N \cdot \left( \frac{n_d \cdot I}{F} - D_{H_2O} \cdot \frac{[H_2O]_{cat} - [H_2O]_{an}}{e} \right)$$

Las variables utilizadas son para una membrana construida de Nafion® 117.

*Cátodo*

En el cátodo el oxígeno es suministrado en forma de aire. La temperatura del cátodo es igual a la temperatura global de la pila.

*Propiedades entrada cátodo y propiedades salida cátodo*

A partir de una corriente entrante o saliente se determina cuales son las fracciones de oxígeno, nitrógeno y de agua. Los términos conocidos de las corrientes son: flujo másico W, temperatura T, presión P, humedad relativa  $\varphi$  y fracción molar de oxígeno  $X_{O_2}$ .

El cálculo de las presiones parciales se realiza a partir de la humedad relativa de la siguiente forma:

$$\varphi = \frac{P_v}{P_{sat}(T)} \Rightarrow P_v = \varphi \cdot P_{sat}(T)$$

$$P = P_v + P_{aire} \Rightarrow P_{aire} = P - P_v$$

La presión de saturación a una temperatura dada se obtiene con la siguiente fórmula empírica:

$$P_{sat}(T) = \exp\left(\frac{18,3036 - 381,44}{T - 46,13}\right) \cdot \left(\frac{101325}{760}\right)$$

Con estas presiones y la fracción de oxígeno se puede calcular la humedad  $\omega$ , definida como la relación entre la masa de vapor y la de aire.

$$\omega = \frac{P_v \cdot M_{H_2O}}{P_{aire} \cdot (M_{O_2} \cdot X_{O_2} + (1 - X_{O_2}) \cdot M_{N_2})}$$

El cálculo de los flujos de hidrógeno y agua, utilizando el valor de la humedad es:

$$W_{aire} = \frac{1}{1 + \omega} \cdot W_{total}$$

$$W_{H_2O} = W_{total} - W_{aire}$$

Pasando de fracción molar a fracción másica de oxígeno:

$$Y_{O_2} = \frac{X_{O_2} \cdot M_{O_2}}{X_{O_2} \cdot M_{O_2} + (1 - X_{O_2}) \cdot M_{N_2}}$$

Los flujos de oxígeno y nitrógeno son:

$$W_{O_2} = Y_{O_2} \cdot W_{aire}$$

$$W_{N_2} = (1 - Y_{O_2}) \cdot W_{aire}$$

Balance de  $O_2$  en el cátodo

La masa de oxígeno que hay en todo momento en el cátodo depende del flujo entrante de oxígeno, del flujo de salida de oxígeno y de la cantidad de oxígeno que reacciona.

$$\frac{dm_{O_2}}{dt} = W_{O_2,e} - W_{O_2,s} - W_{O_2,react}$$

Siendo:

$$W_{O_2,react} = \frac{I \cdot M_{O_2} \cdot N}{4F}$$

A partir de la masa se determina la presión parcial del oxígeno en el cátodo, utilizando la ecuación de los gases ideales.

$$P_{O_2} = \frac{m_{O_2} \cdot R_{O_2} \cdot T}{V_{cat}}$$

Balance de  $N_2$  en el cátodo

La masa de nitrógeno en el cátodo depende de sus flujos de entrada y de salida. Una vez conocida esta masa, se puede obtener la presión parcial de nitrógeno en el cátodo.

$$\frac{dm_{N_2}}{dt} = W_{N_2,e} - W_{N_2,s}$$

$$P_{N_2} = \frac{m_{N_2} \cdot R_{N_2} \cdot T}{V_{cat}}$$

Balance de  $H_2O$  en el cátodo

La masa de agua en el cátodo depende del flujo de agua que entra, del que sale, del agua de la membrana y del agua generada.

$$\frac{dm_{H_2O}}{dt} = W_{H_2O,e} - W_{H_2O,s} + W_{H_2O,membr} - W_{H_2O,generada}$$

La presión de saturación se obtiene a partir de la temperatura con la siguiente fórmula empírica:

$$P_{sat}(T) = \exp\left(\frac{18,3036 - 381,44}{T - 46,13}\right) \cdot \left(\frac{101325}{760}\right)$$

Con la temperatura y la presión de saturación, aplicando la ecuación de los gases ideales se calcula la masa de agua saturada. Con el valor de la masa se puede obtener la presión parcial del vapor de agua en el cátodo, que va a coincidir con la presión de saturación:

$$p_v = \frac{m_{H_2O} \cdot R_{H_2O} \cdot T}{V_{cat}}$$

Este último parámetro permite calcular la humedad relativa en el cátodo, en este caso de valor la unidad, por ser iguales ambas presiones:

$$\varphi_{cat} = \frac{p_v}{p_{sat}(T)}$$

### Voltaje de la pila

Como se ha comentado en apartados anteriores existen una serie de pérdidas en la pila que hacen disminuir el valor teórico de la tensión. Si se asume que todas las celdas son idénticas, entonces

$V_{stack} = N \cdot V_{celda}$ , siendo N el número de celdas de la pila. La expresión general del potencial de la celda, considerando las distintas pérdidas es:

$$V_{celda} = E - V_{act} - V_{conc} - V_{ohm}$$

### Potencial de NERST (E)

El potencial reversible o de Nerst es el potencial de la celda obtenido en un balance termodinámico en circuito abierto, es decir, sin carga. Su cálculo se efectúa a partir de la ecuación de Nerst modificada, con un término extra que tiene en cuenta las desviaciones de la temperatura respecto del punto de referencia de 25°C.

$$E = \frac{\Delta G}{2F} + \frac{\Delta S}{2F} \cdot (T - T_{ref}) + \frac{R \cdot T}{2F} \cdot \left( \ln p_{H_2} + \frac{1}{2} \ln p_{O_2} \right)$$

Utilizando valores estándar de presión [atm] y temperatura [K], y tomando la constante universal de los gases igual a 8,314 [J/(mol·K)], dicha ecuación resulta:

$$E = 1.229 - 0.00085 \cdot (T - 298.15) - 0.00043085 \cdot T \cdot \left( \ln p_{H_2} + \frac{1}{2} \ln p_{O_2} \right)$$

### Caída de tensión óhmica ( $V_{ohm}$ )

La caída de tensión óhmica es debida a la resistencia al flujo de electrones en las placas bipolares y en los electrodos, y a la resistencia al flujo de protones en la membrana. Esta caída de tensión es proporcional a la corriente:

$$V_{ohm} = i \cdot R_{ohm}$$

Esta resistencia es dependiente de la humedad de la membrana y de la temperatura de la celda. La resistencia óhmica es proporcional al espesor de la membrana e inversamente proporcional a la conductividad,  $\sigma_{membr}$  [( $\Omega \cdot m$ )<sup>-1</sup>].

$$R_{ohm} = \frac{e}{\sigma_{membr}}$$

$$\sigma_{membr} = (b_{11} \cdot \lambda_{membr} - b_{12}) \cdot \exp \left( b_2 \cdot \left( \frac{1}{303} - \frac{1}{T} \right) \right)$$

Las constantes de esta ecuación, extraídas de la bibliografía para el Nafion® 117 son:  $b_{11} = 0,05139$ ,  $b_{12} = 0,00326$  y  $b_2 = 350$ .

5 *Pérdidas de activación y de concentración ( $V_{act}$ ,  $V_{conc}$ )*

Las pérdidas de activación,  $V_{act}$ , aparecen por la necesidad de un movimiento de electrones y para romper y formar enlaces químicos en el ánodo y en el cátodo. Vienen dadas por la ecuación de Tafel:

10 
$$V_{act} = V_0 + V_a \cdot (1 - \exp(-c_1 \cdot i))$$

15 El potencial de activación depende de la temperatura y de la presión parcial de oxígeno. Los parámetros de esta ecuación son los siguientes:

$$c_1 = 10$$

20 
$$V_0 = 0,279 - 8,5 \cdot 10^{-4} \cdot (T - 298,15) + 4,3085 \cdot 10^{-5} \cdot T \cdot$$

$$\left[ \ln \left( \frac{P_{cat} - P_{sat}}{1,01325} \right) + \frac{1}{2} \ln \left( \frac{0,1173 \cdot (P_{cat} - P_{sat})}{1,01325} \right) \right]$$

25 
$$V_a = (-1,618 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1,618 \cdot 10^{-2}) \cdot \left( \frac{P_{O_2}}{0,1173} + P_{sat} \right)^2 +$$

30 
$$-(1,8 \cdot 10^{-4} \cdot T - 0,166) \cdot \left( \frac{P_{O_2}}{0,1173} + P_{sat} \right) + (-5,8 \cdot 10^{-4} \cdot T + 0,5736)$$

35 Las pérdidas de concentración,  $V_{conc}$ , debidas a la disminución de la concentración de reactivos cuando se demandan altas densidades de corriente. Este término puede ser despreciado ya que no se opera en las regiones donde las pérdidas de concentración son altas, ya que disminuye la eficiencia.

40 
$$V_{conc} = i \cdot \left( c_2 \cdot \frac{i}{i_{max}} \right)^{c_3}$$

Las constantes de la ecuación tienen los siguientes valores:

45 
$$c_3 = 2$$

$$i_{max} = 2,2$$

50 
$$c_2 = \left\{ \begin{array}{l} (7,16 \cdot 10^{-4} \cdot T - 0,622) \cdot \left( \frac{P_{O_2}}{0,1173} + P_{sat} \right) + \\ + (-1,45 \cdot 10^{-3} \cdot T - 1,68) \end{array} \right.$$

55 
$$\text{para } P_{sat} + \frac{P_{O_2}}{0,1173} < 2 \text{ atm}$$

60 
$$\left. \begin{array}{l} (8,66 \cdot 10^{-5} \cdot T - 0,068) \cdot \left( \frac{P_{O_2}}{0,1173} + P_{sat} \right) + \\ + (-1,6 \cdot 10^{-4} \cdot T + 0,54) \end{array} \right\}$$

65 
$$\text{para } P_{sat} + \frac{P_{O_2}}{0,1173} \geq 2 \text{ atm}$$

*Colector de salida del cátodo*

Para calcular la presión del colector de salida se utilizan los principios de conservación de la masa y la ley de los gases ideales, asumiendo condiciones isotermas, la ecuación es la siguiente:

$$\frac{dP_{CS}}{dt} = \frac{R_{aire} \cdot T_{CS}}{V_{CS}} \cdot (W_{s,ent} - W_{s,CS})$$

Orificio de salida El cálculo del flujo final del colector de salida del cátodo se realiza a través de las ecuaciones del flujo a través de un orificio. El flujo que atraviesa el orificio es función de las presiones aguas arriba y abajo, es decir, es función de la presión en el colector de salida y la presión exterior. La característica del flujo se divide en dos regiones, de acuerdo con la relación de presiones crítica:

$$P_{critica} = \left( \frac{P_{aguas\ abajo}}{P_{aguas\ arriba}} \right)_{critica} = \left( \frac{P_{ext}}{P_{CS}} \right)_{critica} = \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

El parámetro  $\gamma$  es la relación entre los calores específicos del gas, es decir:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

Para flujo normal, subcrítico, cuando la relación de presiones es menor que la crítica, el flujo se calcula de la siguiente forma:

$$W_{s,CS} = \frac{cd \cdot A_{orif} \cdot P_{CS}}{\sqrt{R \cdot T}} \left( \frac{P_{ext}}{P_{CS}} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{\left( \frac{2\gamma}{\gamma - 1} \right) \left[ 1 - \left( \frac{P_{ext}}{P_{CS}} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right]}$$

$$\text{Si } \frac{P_{ext}}{P_{CS}} < P_{critica}$$

Para flujo másico con onda de choque, crítico, cuando la relación de presiones es mayor o igual a la crítica, el flujo es:

$$W_{s,CS} = \frac{cd \cdot A_{orif} \cdot P_{CS}}{\sqrt{R \cdot T}} \sqrt{\gamma \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}}$$

$$\text{Si } \frac{P_{ext}}{P_{CS}} \geq P_{critica}$$

En el colector de salida no se ven modificadas ni la humedad relativa de la corriente ni el contenido en oxígeno.

*Acondicionamiento de entrada*

El sistema de acondicionamiento de los gases de entrada contempla los colectores de entrada al ánodo y al cátodo, el intercambiador de calor y el humidificador.

Colector de entrada al cátodo

Para calcular el flujo saliente del colector de entrada se emplea la ecuación simplificada de flujo a través de orificios:

$$W_{s,CE,cat} = k_{a,CE,cat} \cdot (P_{s,CE,cat} - P_{cat})$$

La presión del colector de entrada se define con las ecuaciones de continuidad y de conservación de la energía:

$$\frac{dm_{CE}}{dt} = W_{a,CE} - W_{s,CE}$$

$$\frac{dP_{s,CE}}{dt} = (W_{a,CE} \cdot T_{a,CE} - W_{s,CE} \cdot T_{s,CE}) \cdot \frac{\gamma \cdot R}{V_{CE}}$$

La temperatura se obtiene con la ecuación de los gases ideales:

$$T_{s,CE} = \frac{P_{s,CE} \cdot V_{CE}}{m_{CE} \cdot R}$$

La humedad relativa a la salida del colector se obtiene desarrollando la expresión de su definición de la siguiente forma:

$$\varphi_{s,CE} = \frac{P_{v,s}}{P_{sat}(T_s)} = \frac{P_{s,CE} \cdot P_{v,a}}{P_{a,CE} \cdot P_{sat}(T_s)} =$$

$$= \frac{P_{s,CE} \cdot \varphi_{a,CE} \cdot P_{sat}(T_a)}{P_{a,CE} \cdot P_{sat}(T_s)}$$

La presión de saturación a una temperatura determinada es:

$$P_{sat}(T) = \exp\left(\frac{18,3036 - 381,44}{T - 46,13}\right) \left(\frac{101325}{760}\right)$$

Se considera que la fracción molar de oxígeno no varía en todo el colector, es decir:

$$X_{O_2,e} = X_{O_2,s}$$

Intercambiador

La temperatura del aire se ve incrementada debido al aumento de presión a la salida del compresor. Para prevenir daños en la membrana, la corriente de aire debe enfriarse antes de llegar a ella. Se asume que la caída de presión en el intercambiador es despreciable, con lo que la presión del intercambiador es igual a la presión del colector de entrada. El intercambiador va a mantener una determinada temperatura del aire de entrada.

$$\varphi_{interc} = \frac{P_{v,interc}}{P_{sat}(T_{interc})} = \frac{P_{interc} \cdot P_{v,atm}}{P_{atm} \cdot P_{sat}(T_{interc})} = \frac{P_{interc} \cdot \varphi_{atm} \cdot P_{sat}(T_{atm})}{P_{atm} \cdot P_{sat}(T_{interc})}$$

se asume  $\varphi_{atm} = 0.5$

Las condiciones de entrada del intercambiador son las de salida del colector de entrada al cátodo. Las condiciones de salida del intercambiador son las de entrada al humidificador.

*Humidificador*

La corriente de entrada de aire debe ser humidificada antes de llegar a la pila, para alcanzar el grado de humedad relativa requerida. El modelo del humidificador permite calcular la cantidad de agua que debe ser añadida para conseguir dicha humedad, determinando además los cambios de presión y flujo provocados por esta adición. Se asume que el agua inyectada está en forma vapor.

Las condiciones de entrada al humidificador corresponden a las de salida del intercambiador.

Las presiones parciales de entrada al humidificador, equivalentes a las de salida del intercambiador, son las siguientes:

$$P_{e,v} = P_{sat}(T_{e,humidif}) \cdot \varphi_{e,humidif}$$

$$P_{e,aire} = P_{e,humidif} - P_{e,v}$$

La relación de humedad, definida como el cociente entre la masa de vapor y la masa de aire seco en la corriente, se expresa:

$$\omega = \frac{M_v \cdot P_{e,v}}{M_{aire} \cdot P_{e,aire}}$$

$$M_{aire} = X_{O_2} \cdot M_{O_2} + (1 - X_{O_2}) \cdot M_{N_2}$$

Los flujos de aire seco y vapor son:

$$W_{e,aire} = \frac{1}{1 + \omega} \cdot W_{e,humidif}$$

$$W_{e,v} = W_{e,humidif} - W_{e,aire}$$

El flujo de vapor inyectado es la diferencia entre el flujo de vapor contenido en la corriente a la salida del humidificador y el flujo de vapor a la entrada:

$$W_{v,inyect} = W_{s,v} - W_{e,v}$$

El flujo de vapor a la salida se calcula a partir de la relación de humedad:

$$W_{s,v} = \omega \cdot W_{e,aire} = \frac{M_v \cdot P_{e,v}}{M_{aire} \cdot P_{e,aire}} \cdot W_{e,aire} = \frac{M_v \cdot \varphi_{requerida} \cdot P_{sat}(T_{e,humidif})}{M_{aire} \cdot P_{e,aire}} \cdot W_{e,aire} =$$

$$= \frac{M_v \cdot \varphi_{requerida} \cdot P_{sat}(T_{e,humidif})}{(X_{O_2} \cdot M_{O_2} + (1 - X_{O_2}) \cdot M_{N_2}) \cdot P_{e,aire}} \cdot W_{e,aire}$$

Con los dos términos conocidos se determina la cantidad de agua que se debe inyectar a la corriente para alcanzar la humedad requerida:

$$W_{v,inyect} = W_{s,v} - W_{e,v}$$

Las condiciones de salida del humidificador corresponden a la entrada al cátodo.

$$W_{e,cat} = W_{e,humidif} + W_{v,inyect}$$

$$P_{e,cat} = P_{e,aire} + \Phi_{requerida} \cdot P_{sat}(T_{e,humidif})$$

5

10

*Colector de entrada al ánodo*

Para calcular el flujo a través del colector de entrada se emplea la ecuación simplificada de flujo a través de orificios:

15

$$W_{s,CE,an} = k_{e,CE,an} \cdot (P_{s,CE,an} - P_{atm})$$

El valor de la humedad relativa se mantiene constante en todo el colector de entrada al ánodo.

20

*Sistema de compresión*

Es habitual suministrar el aire al cátodo mediante un compresor, con lo que se consigue un aumento en la densidad energética. Es muy importante llegar a un compromiso entre el consumo del compresor y dicho aumento en la densidad de energía.

25

*Resultados de la simulación*

Se puede simular el funcionamiento real de la pila realizando una aplicación numérica de su modelo. La demanda de la carga para este ejemplo se define como una corriente creciente que coincide con una recta de pendiente la unidad. A partir de esta señal de entrada, el modelo muestra los valores de varios parámetros significativos en el funcionamiento de la pila. Se considera que el funcionamiento alcanza un nivel isotérmico de 80°C, que coincide con la máxima temperatura de operación del modelo NEXA. Además de la mencionada señal de entrada, en esta simulación se consideran los siguientes parámetros fijos:

30

35

40

(Tabla pasa a página siguiente)

45

50

55

60

65

PARÁMETROS DE SIMULACIÓN PARA LA PEMFC			
Símbolo	Parámetro	Valor	Unidades
A	Área activa	250	cm <sup>2</sup>
C <sub>p,aire</sub>	Calor específico a presión constante del aire	1004	J/(kg·K)
C <sub>v,aire</sub>	Calor específico a volumen constante	718	J/(kg·K)
d <sub>comp</sub>	Diámetro de entrada del compresor	22,86	cm
e	Espesor de la membrana	0,01275	cm
F	Constante de Faraday	96485	C
i <sub>max</sub>	Densidad de corriente	2,2	A/cm <sup>2</sup>
K <sub>v</sub>	Constante del motor eléctrico del compresor	0,01530	V/(rad/s)
M <sub>H2</sub>	Masa molar del hidrógeno	0,00201	kg/mol
M <sub>H2O</sub>	Masa molar del agua	0,01802	kg/mol
M <sub>N2</sub>	Masa molar del nitrógeno	0,02800	kg/mol
M <sub>O2</sub>	Masa molar del oxígeno	0,03200	kg/mol
M <sub>membr.seca</sub>	Peso equivalente de la membrana en seco	1,1	kg/mol
N	Número de celdas	47	-
P <sub>ambext</sub>	Presión ambiente o exterior	1,0133·10 <sup>5</sup>	Pa
R	Constante de los gases ideales	8,3145	J/(mol·K)
R <sub>H2</sub>	Constante de los gases ideales para el hidrógeno	4124,3	J/(kg·K)
R <sub>H2O</sub>	Constante de los gases ideales para el agua	461,5	J/(kg·K)
R <sub>N2</sub>	Constante de los gases ideales para el nitrógeno	296,2	J/(kg·K)
R <sub>O2</sub>	Constante de los gases ideales para el oxígeno	259,8	J/(kg·K)
R <sub>aire</sub>	Constante de los gases ideales para el aire	286,9	J/(kg·K)
T <sub>amb</sub>	Temperatura ambiente	298,15	K
V <sub>an</sub>	Volumen del ánodo	0,005	cm <sup>3</sup>
V <sub>cat</sub>	Volumen del cátodo	0,01	cm <sup>3</sup>
γ	Relación de calores específicos	1,4	-
η <sub>comp</sub>	Rendimiento del compresor	0,75	-
η <sub>meo</sub>	Rendimiento mecánico del sistema de compresión	0,98	-
ρ <sub>membr.seca</sub>	Densidad de la membrana en seco	0,002	kg/cm <sup>3</sup>
φ <sub>s,an</sub>	Humedad relativa a la entrada del ánodo	0,4	-
φ <sub>requerida</sub>	Humedad relativa requerida	0,2	-
φ <sub>amb</sub>	Humedad relativa ambiente	0,5	-

Los resultados obtenidos para los parámetros analizados se presentan en forma de gráficas, permitiendo visualizar su comportamiento según sea la corriente demandada a la pila. Algunos de estos parámetros se ofrecen a continuación:

La corriente elegida como señal de entrada para el intervalo de simulación considerado se muestra en la figura 2 y los resultados del modelo en la figura 3.

Para validar el modelo se somete ahora a una demanda de potencia variable, representada en la figura. Con el software NexaMon OEM se analiza en la pila real la misma señal y se obtienen los parámetros de funcionamiento, para ser comparados con el modelo.

Para contrastar el modelo con esta pila real es necesario variar algunos de los valores generales. Los nuevos valores, introducidos como constantes del modelo son:

- Número de celdas: 47
- Área activa: 100 cm<sup>2</sup>
- Temperatura de operación: 310 K.

En la figura 4 se muestra la potencia demandada a la pila.

La señal de potencia es tratada para ser introducida en Simulink como entrada del modelo, y poder de esta manera comparar la simulación con el comportamiento real. Esta comparación se muestra en las figuras 5 y 6.

De los resultados obtenidos se concluye que el modelo es perfectamente válido en rangos de potencia desde 0 a 15 kW, ya que su comportamiento es similar al sistema real. En el ejemplo anterior se ha elegido una demanda de corriente concreta. Corresponde a un tipo de carga utilizada como consumo de la pila. Utilizando el modelo descrito, se puede variar la señal de intensidad de entrada y obtener las distintas respuestas (consumos, variación de presiones, tensión, pérdidas ...) para cada situación.

#### Operación individual de los elementos de la instalación

La fase actual contempla la operación individual de los distintos elementos que componen la instalación. El primer elemento analizado es una pila de combustible individual, la cual es sometida a distintas demandas de carga y a diferentes tipos de alimentación de hidrógeno.

Se han registrado en un informe los parámetros de operación del sistema con pila de combustible de membrana de intercambio protónico del fabricante Ballard tipo Nexa. Los datos se obtienen con el software NexaMon OEM.

Se establece una demanda de potencia a partir de distintas combinaciones de los siguientes valores de cargas: 40 W, 100 W y 600 W.

Se analiza el comportamiento de la pila con dos alimentaciones de hidrógeno distintas:

- Gas comprimido.
- Hidruro metálico.

#### Operación con alimentación de hidrógeno gas comprimido

El estudio comienza con una demanda de potencia escalonada desde 40 W hasta 1340 W, para posteriormente descender de nuevo escalonadamente hasta 40 W. Desde 40 W se aumenta súbitamente la carga hasta 600 W, y a continuación hasta 1340 W. Por último se disminuye la carga hasta 40 W y se procede al periodo de desconexión del sistema.

El tiempo de duración de la prueba es de 30 minutos con un consumo total de hidrógeno de 219 litros.

En las gráficas que resumen este período de operación se observan una serie de particularidades en la operación de la pila con este sistema de alimentación.

En la gráfica de la figura 8 se observa cómo la presión de hidrógeno es independiente de su tasa de consumo. La presión permanece prácticamente constante debido a la regulación interna de la propia pila.

En la gráfica de la figura 9 se observa cómo se produce un pico en la liberación de hidrógeno sobrante en la reacción. Este máximo corresponde a la fase de desconexión del sistema y libera de hidrógeno todos los canales de las placas bipolares de la pila. La salida de hidrógeno es de orden pequeño en comparación con el caudal de alimentación y se produce a través de una válvula de ventilación.

En la gráfica de la figura 10 se observa la estrecha relación existente entre el consumo de hidrógeno y la potencia proporcionada por el sistema.

#### Operación con alimentación desde hidruro metálico

En este caso la carga no debe superar los 200 W, ya que a potencias mayores, la demanda de la pila haría caer la presión de salida del hidruro por debajo de los límites de operación en la regulación interna de la NEXA. Además se produciría un descenso muy brusco en la temperatura del hidruro, observándose formación de escarcha en su superficie exterior. El hidruro ha sido cargado mediante un electrolizador con una tasa de carga de medio litro por minuto a una presión de operación de 10,7 bares. La carga total del hidruro con 900 litros de hidrógeno se produce en 45 horas de operación continuada del electrolizador. El tiempo de duración de la prueba es de 37 minutos con un consumo total de hidrógeno de 103 litros.

En la gráfica de la figura 11 se observa como la presión de hidrógeno es independiente de su tasa de consumo, y disminuye a la vez que el hidruro se enfría. La presión disminuye hasta llegar a un valor insuficiente para alimentar a la pila, en este momento el sistema de control interno de la pila procede a la desconexión del conjunto. En el caso de la alimentación desde hidruro en las zonas de demanda de potencia constante se observan una serie de picos característicos de este sistema de alimentación.

Las pérdidas siguen pautas periódicas de manera similar a lo que ocurre cuando el sistema se alimenta con hidrógeno comprimido tal y como se observa en la gráfica de la figura 12.

5 En la gráfica de la figura 13 se observa de nuevo la estrecha relación existente entre el consumo de hidrógeno y la potencia proporcionada por el sistema.

#### *Operación del sistema*

10 En la etapa final se procederá a instalar y operar el sistema completo, realizando diferentes pruebas para analizar el funcionamiento. Se analizará la puesta en marcha de un sistema basado en pilas de combustible que permita conseguir la independencia energética de una vivienda aislada o de una pequeña urbanización, utilizando el hidrógeno para producir dicha energía.

15 Para ello se dispone de 3 pilas de combustible tipo Nexa en paralelo, la bomba de calor Carrier mencionada anteriormente, un inversor Xantrex SW3024E, y sistemas reguladores de tensión.

El diagrama de bloques de la instalación se muestra en la figura 14.

20 A partir de los datos obtenidos con el software NexaMon OEM, se pueden conocer las respuestas de las pilas 1 (P1), 2 (P2) y 3 (P3). El sistema funciona correctamente alimentando la bomba de calor. Las señales más representativas de las pilas se muestran en las siguientes gráficas.

25 En la figura 15 se muestran las señales de potencia obtenidas para cada una de las tres pilas de combustible.

En la figura 16 se muestran las señales de corriente eléctrica obtenidas para cada una de las tres pilas de combustible.

30 En la figura 17 se muestran las señales de temperatura obtenidas para cada una de las tres pilas de combustible.

En la figura 18 se muestran los consumos de hidrógeno de forma acumulada para las tres pilas de combustible.

35 Finalmente, en la figura 19 se muestra la señal de potencia eléctrica total entregada por el sistema compuesto de pilas de combustible.

#### *Conclusiones*

40 Una vez realizadas todas las simulaciones, investigaciones, desarrollos y pruebas necesarias, se concluye que la instalación es autónoma y capaz de suministrar energía eléctrica y térmica a un hogar utilizando como fuente el hidrógeno.

45 El hidrógeno y las pilas de combustible se presentan como una solución limpia y eficiente para producir calor y electricidad. Esta solución permite acercarse a un modelo energético sostenible, inviable actualmente con el sistema dependiente de los combustibles fósiles.

Las ventajas que aporta el sistema desarrollado son:

- 50 - Eliminación de la contaminación atmosférica (según se haya obtenido el hidrógeno).
- Mitigar los efectos de un posible cambio climático.
- Independencia de los combustibles fósiles, consiguiendo seguridad en el suministro y siendo una útil herramienta estratégica.
- 55 - Desarrollo físico de una instalación de Generación Distribuida escalable.
- Análisis y solución de los problemas técnicos de la instalación.

#### *Exposición de un ejemplo de instalación*

Para la realización de esta invención se utiliza el siguiente material:

- 65 - 3 pilas PEM tipo Nexa de la marca Ballard de 1.2 kW.
- 3 reguladores de tensión Isle.

- 6 Baterías de plomo-ácido de 12 V y 18 A-h de la marca Long.
- 1 inversor Xantrex, modelo SW3024E.
- 5 - Carga del sistema equivalente al consumo de una vivienda unifamiliar media: bomba de calor Carrier 38VYX050 (unidad interior) y 42PQV050 (unidad exterior).
- Hardware y software de control y medida.
- 10 - Línea de hidrógeno comprimido en botellas estándar de 200 bar de presión.

Se efectúa una conexión en paralelo de las tres pilas Ballard acopladas a sus respectivos sistemas de control y regulación de la tensión.

Este sistema se conecta al inversor SW3024E que invierte la señal continua y la transforma en una señal de corriente alterna regulada a una tensión determinada (230 V).

Una vez que el sistema de generación está completo, se le acopla una carga que simula el consumo de una vivienda, utilizando para ello una bomba de calor Carrier.

### Aplicación industrial de la invención

La invención es un sistema modular de generación energética para el suministro de energía a pequeños y medianos consumidores pudiendo adaptarse a las necesidades de los usuarios gracias a la gran modularidad del sistema. Pudiendo ampliarse tanto el sistema unitario para adaptar la potencia generada en pequeñas aplicaciones (variante A) como también ampliarse por múltiples sistemas iguales formando un sistema general mayor de las mismas características (variante B).

A. Adaptación del modelo a las necesidades adecuando el número de pilas utilizadas y sus características a las demandas energéticas del usuario. En la figura 20 se muestra el diagrama de bloques del sistema modular unitario de generación energética para pequeñas aplicaciones.

B. Utilización del mismo sistema de modo múltiple para la generación de una red de mayor tamaño, se podría utilizar en el caso de edificios, barrios, pequeñas poblaciones, etc. En la figura 21 se muestra el diagrama de bloques del sistema modular general de generación energética para mayores consumos.

### Breve descripción de los dibujos

Para la mejor comprensión de cuanto queda descrito en la presente memoria, se acompañan unos dibujos con los que se pretenden completar la información para una mejor comprensión de la invención.

En dichos dibujos la figura 1 describe el modelo realizado para la pila de combustible de membrana de intercambio protónico, modelo Nexa<sup>TM</sup>, del fabricante canadiense Ballard mostrando el diagrama de la instalación.

Las figuras 2 y 3 muestran gráficos del proceso de simulación del funcionamiento real de la pila de combustible. En las figuras 4, 5 y 6 se muestran gráficos de comparación de la simulación con el comportamiento real de la pila de combustible.

La figura 7 representa de manera esquemática un sistema individual de pila de combustible en las que aparecen los distintos elementos que componen el sistema (pilas, baterías, ordenador ...).

De la figura 8 a la 13 se analiza la operativa de los distintos elementos que componen la instalación, representando las evoluciones de distintos parámetros respecto al tiempo.

La figura 14 representa el diagrama de bloques de la instalación completa que se usó para la programación en los programas de simulación.

De la figura 15 a la 19 se muestran los resultados de varias señales obtenidas para cada una de las pilas de combustible conectadas en paralelo durante los periodos de operación del sistema completo.

La figura 20 representa de manera esquemática como se adapta el modelo adecuando el número de pilas utilizadas y sus características a las demandas energéticas del usuario. La figura 21 es un esquema de como se puede utilizar el mismo sistema de modo múltiple para la generación de una red de mayor tamaño, como sería en el caso de edificios, barrios, pequeñas poblaciones, etc.

**REIVINDICACIONES**

5 1. Sistema modular de generación eléctrica basado en pilas de combustible, que produce energía eléctrica conectando módulos básicos entre sí según demanda, **caracterizado** por los siguientes componentes: pilas de combustible, regulador de tensión, baterías, sistema de control e inversor.

10 2. Sistema modular de generación eléctrica basado en pilas de combustible, según la reivindicación 1, que se complementa con una serie de subsistemas complementarios destinados a la producción o el almacenamiento de hidrógeno: el subsistema de alimentación mediante hidruros metálicos, depósitos de hidrógeno y nanotubos de carbono u otros sistemas de almacenamiento equivalentes, un subsistema de reformado de gas natural para la conversión previa de un combustible en hidrógeno, un subsistema electrolítico para el aprovechamiento de energías renovables (eólica, solar fotovoltaica...) para la generación de hidrógeno mediante un electrolizador.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Figura 1. Esquema general del modelo.

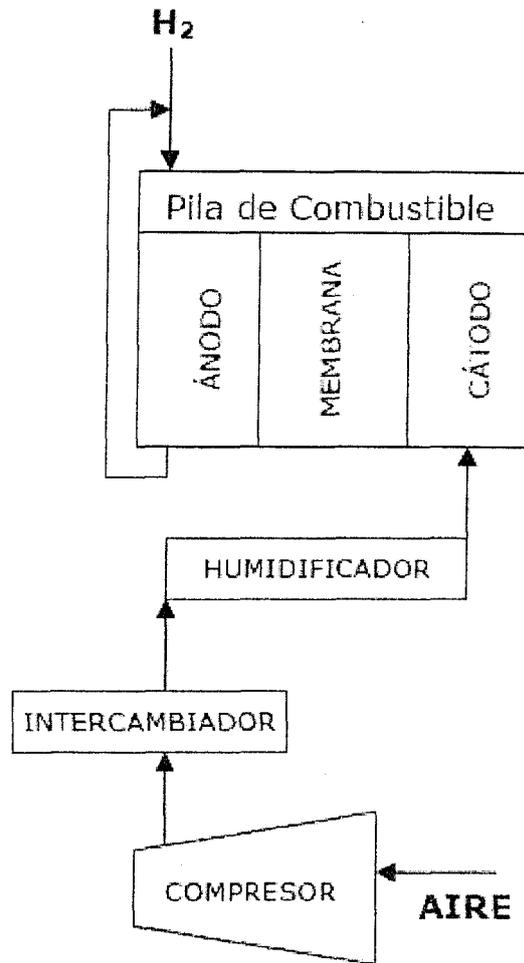


Figura 2. Gráfico de la corriente elegida como señal de entrada.

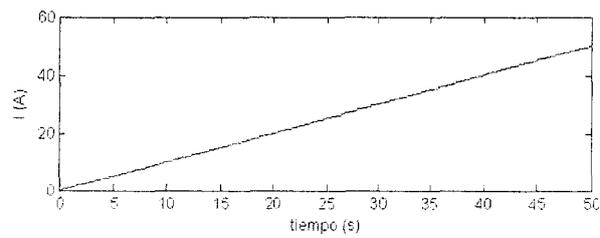


Figura 3. Gráficos de resultados del modelo.

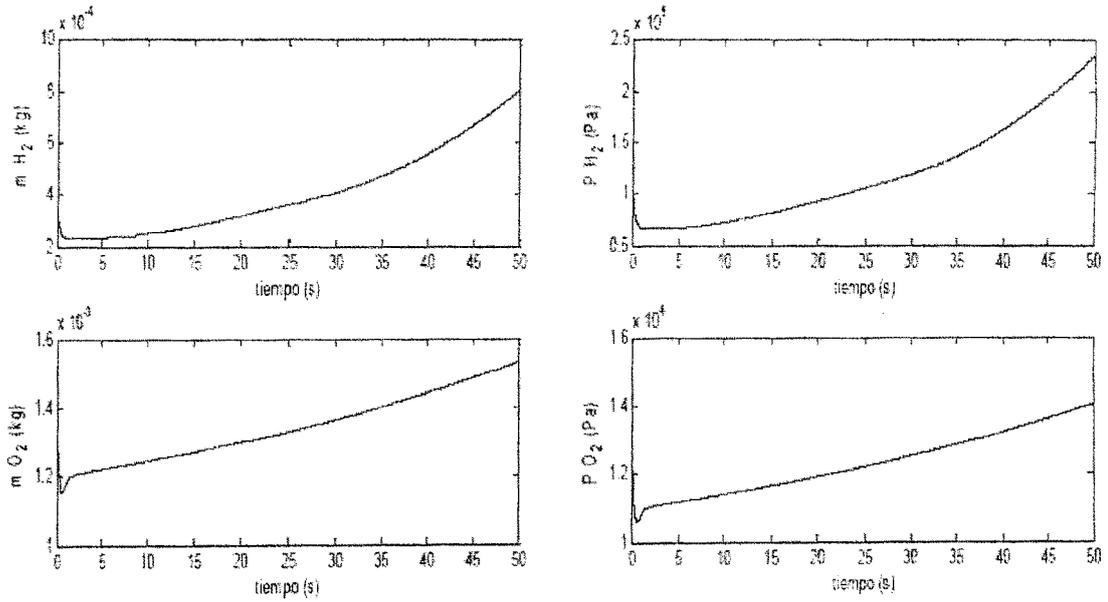


Figura 4. Potencia demandada a la pila.

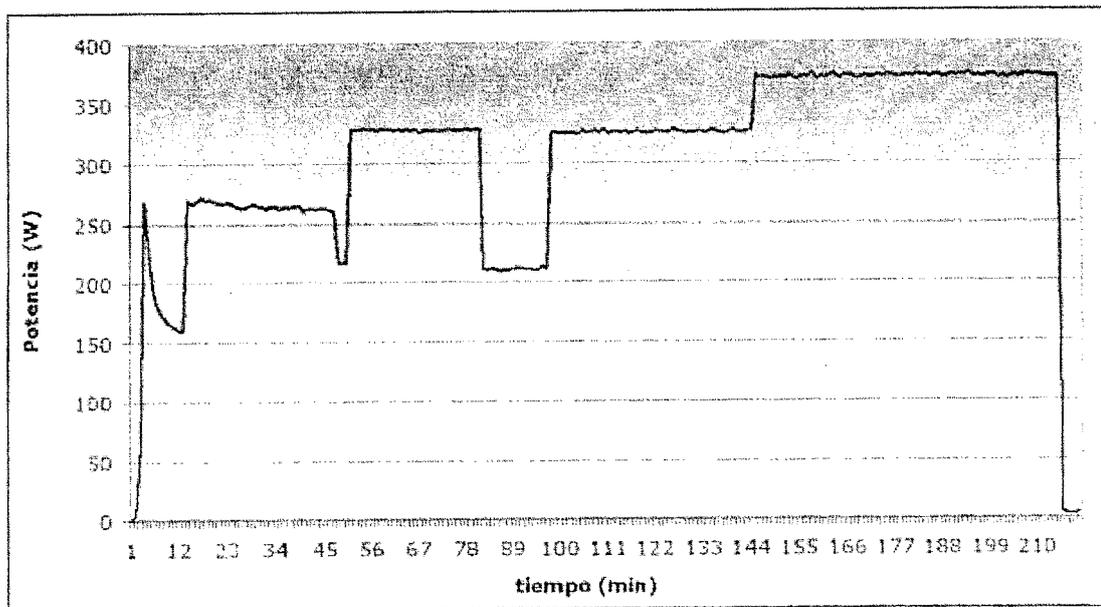


Figura 5. Comparación de la señal de corriente.

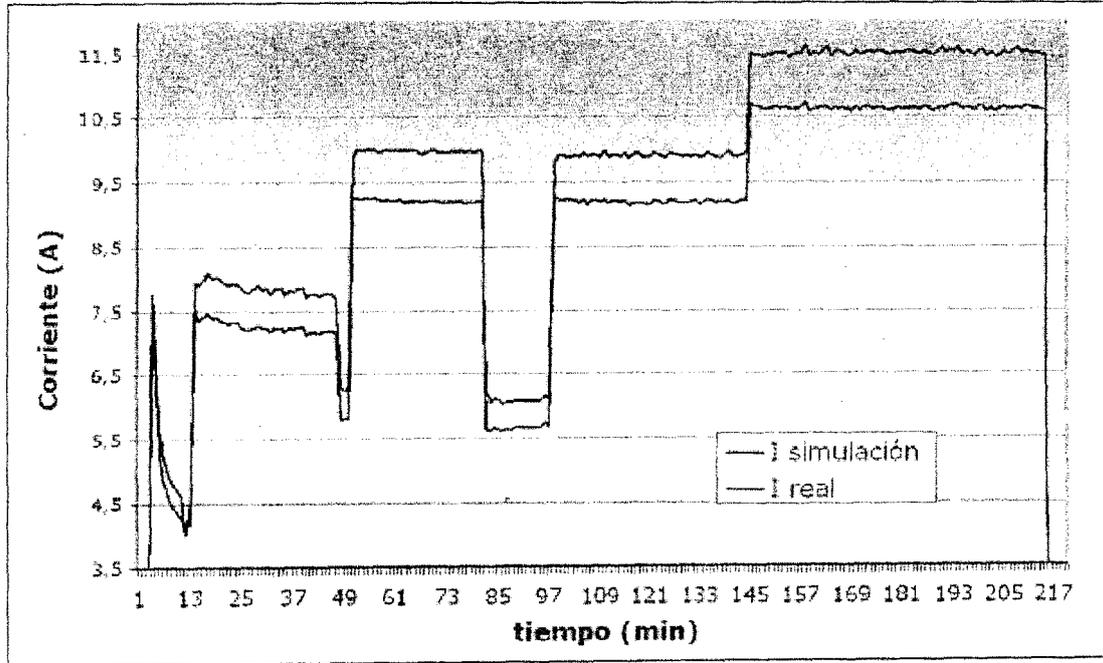


Figura 6. Comparación de la señal de tensión.

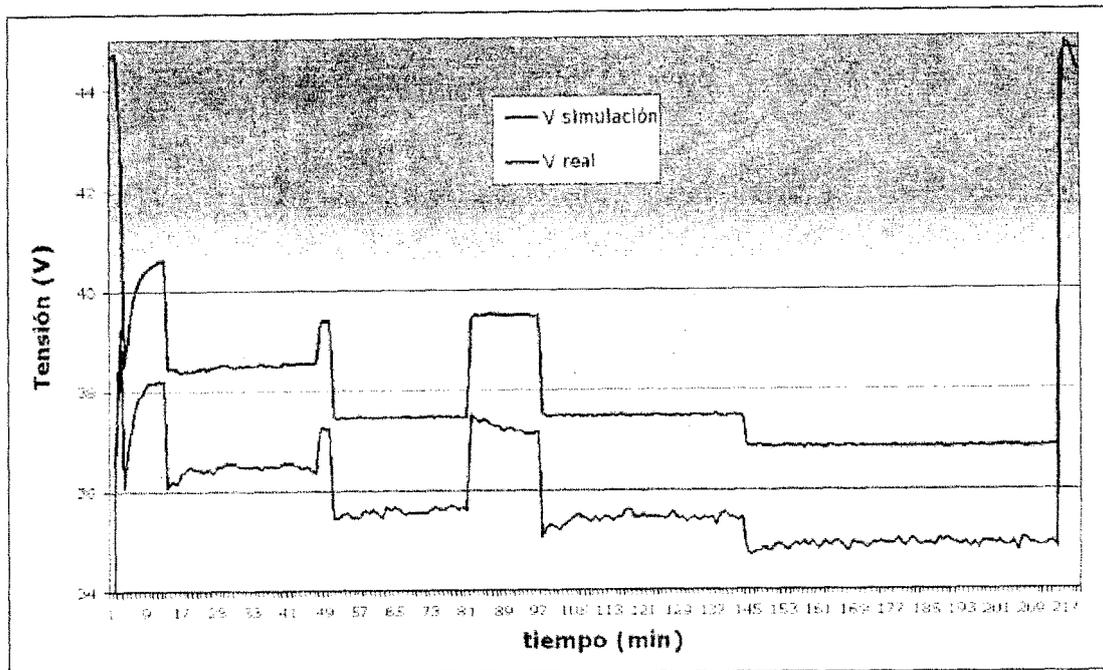


Figura 7. Esquema de un sistema individual de pila de combustible.

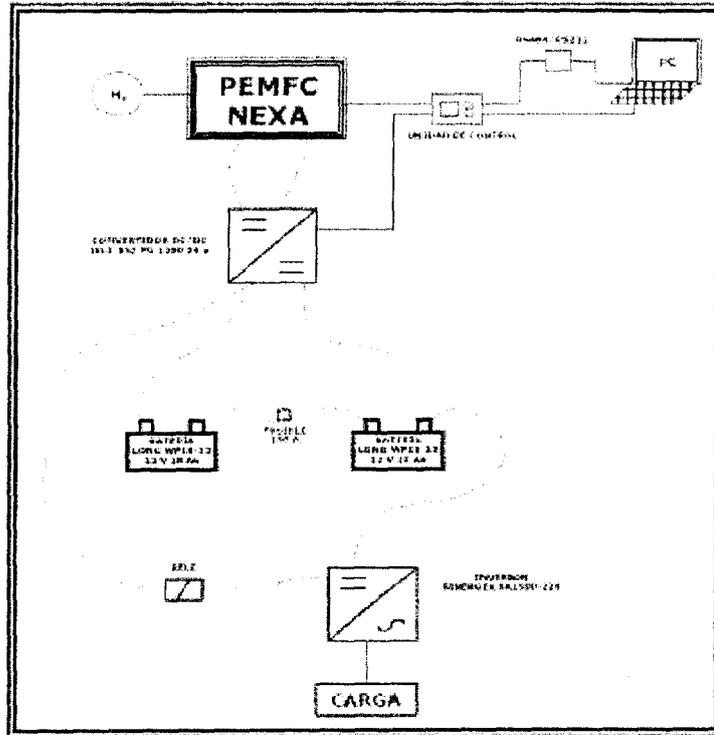


Figura 8. Gráfica tiempo-Presión  $H_2$  - Consumo  $H_2$

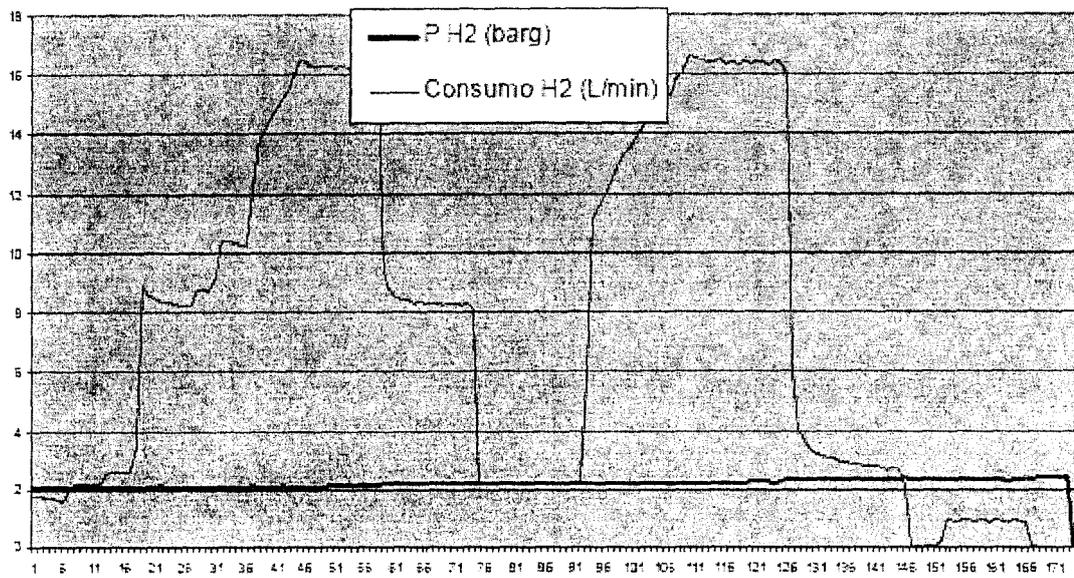


Figura 9. Gráfica tiempo-Pérdida H<sub>2</sub> - Consumo H<sub>2</sub>

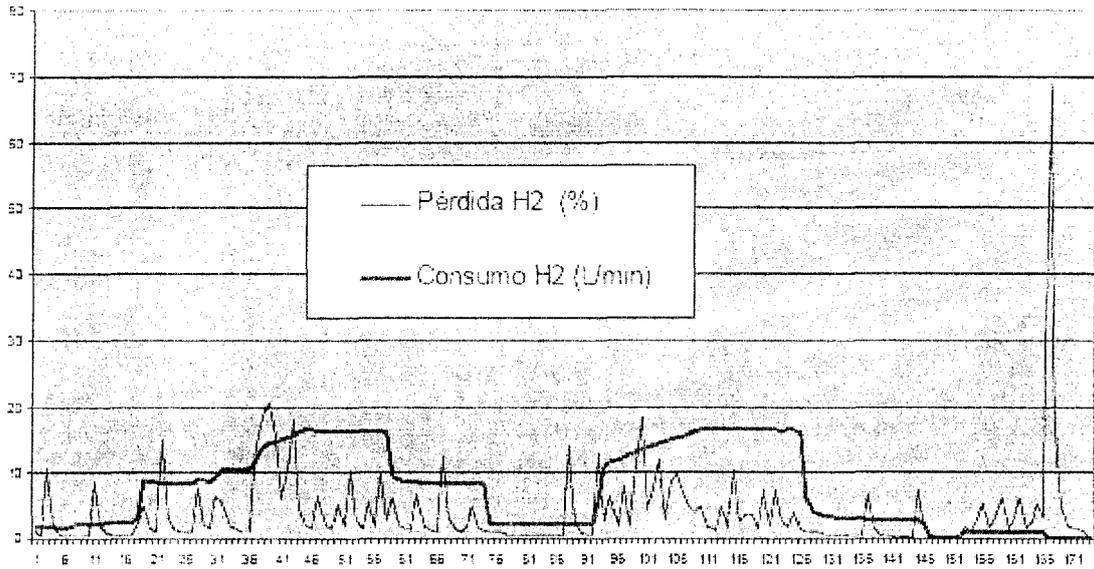


Figura 10. Gráfica tiempo-Potencia-Consumo H<sub>2</sub>

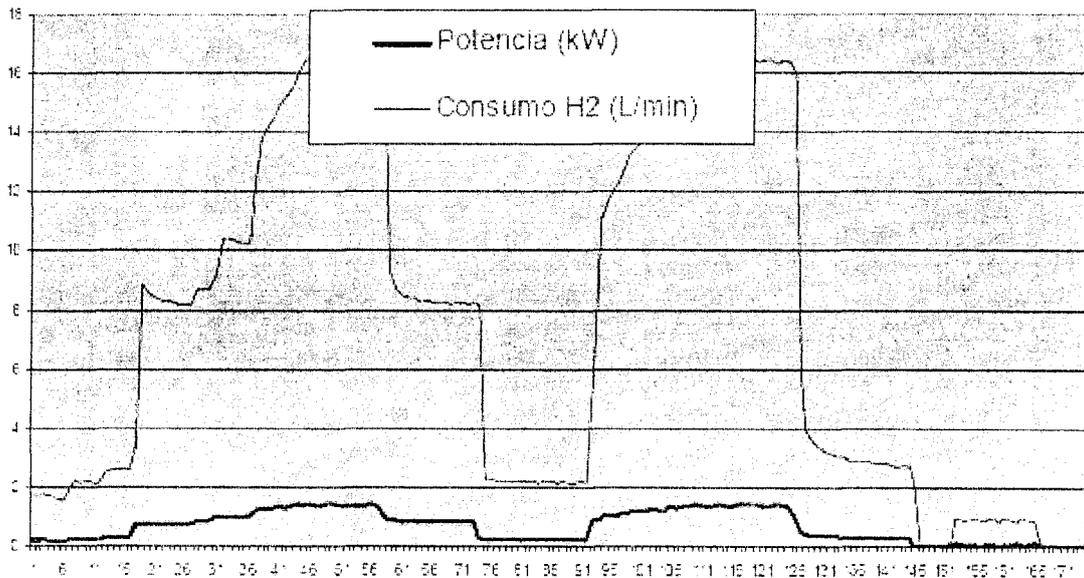


Figura 11. Gráfica tiempo-Presión H<sub>2</sub> -Consumo H<sub>2</sub>

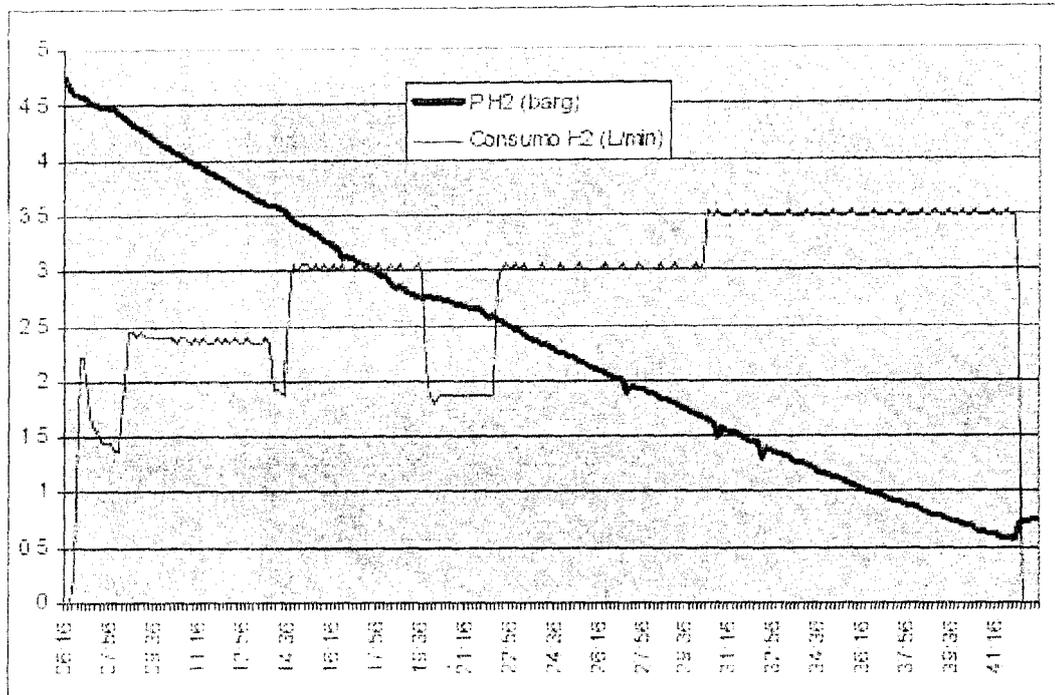


Figura 12. Gráfica tiempo-Pérdida H<sub>2</sub> - Consumo H<sub>2</sub>

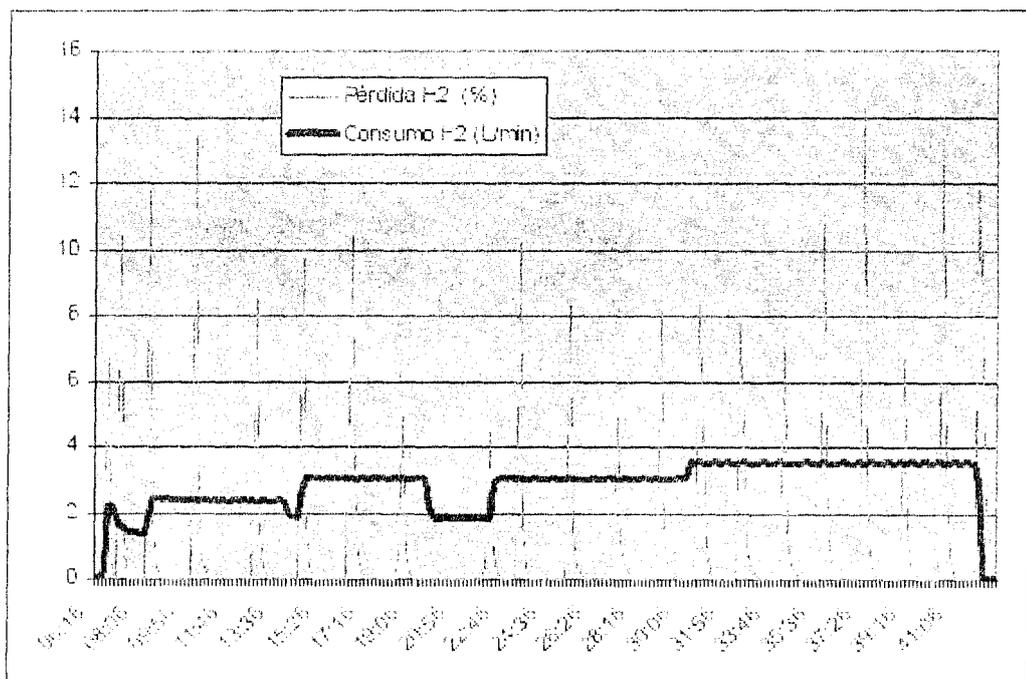


Figura 13. Gráfica tiempo-Potencia - Consumo H<sub>2</sub>

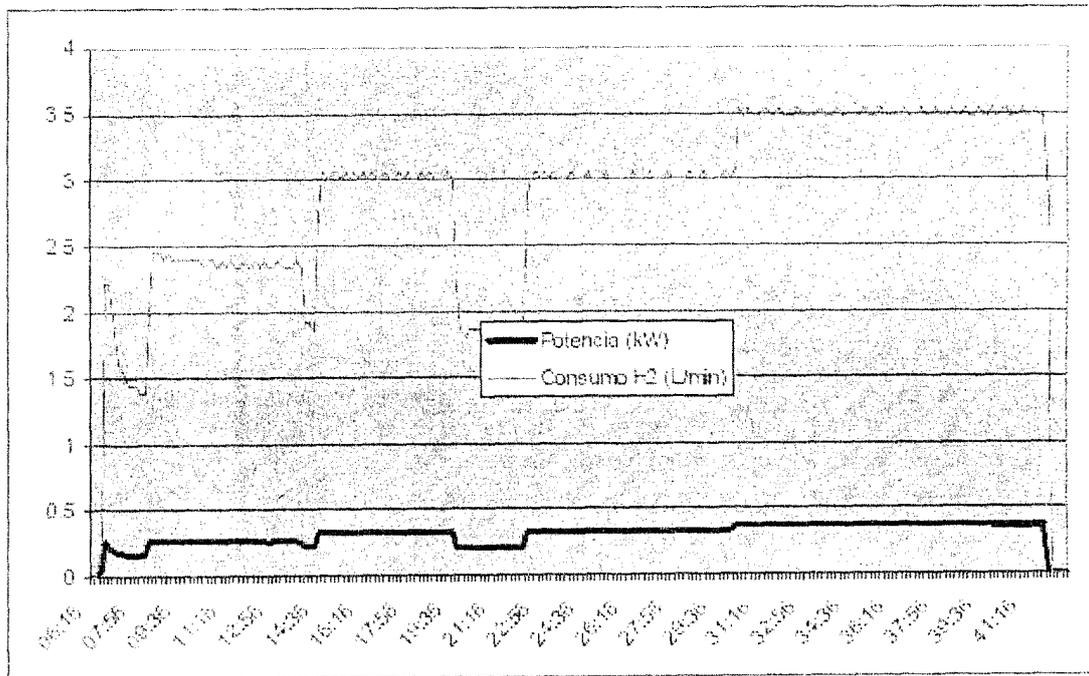


Figura 14. Diagrama de bloques de la instalación

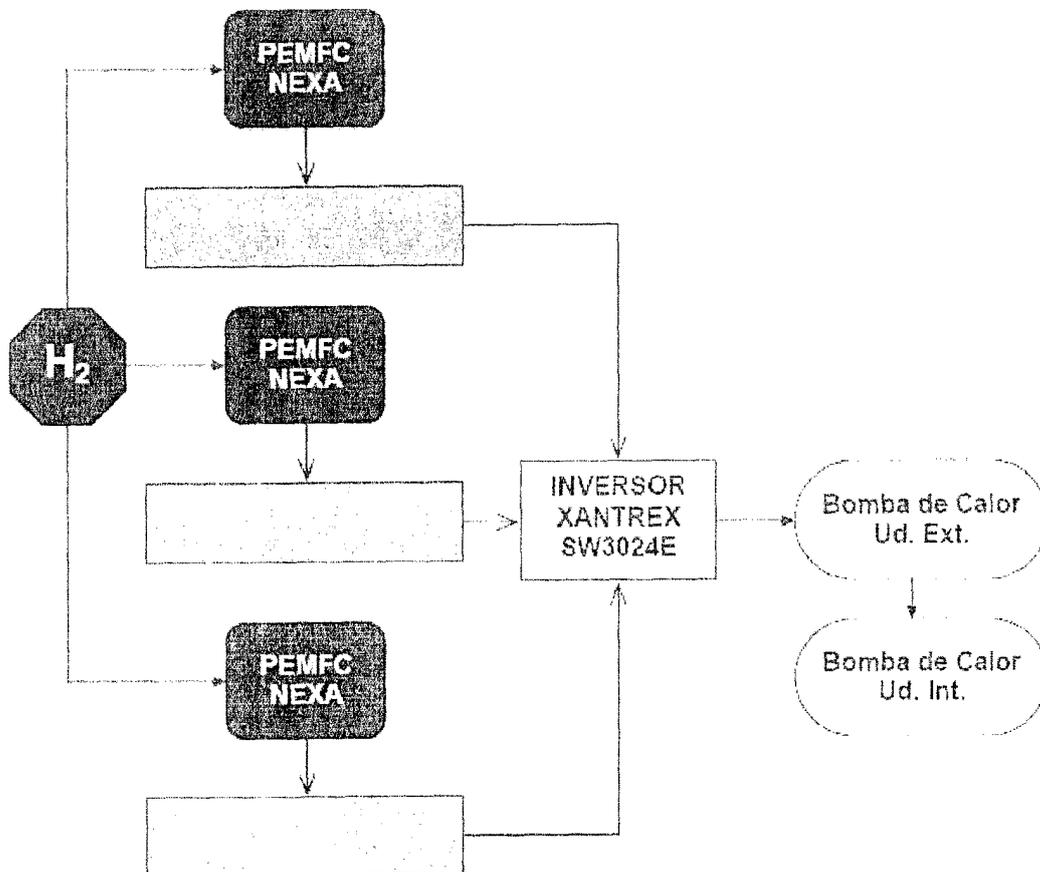


Figura 15. Señales de Potencia de las pilas de combustible.

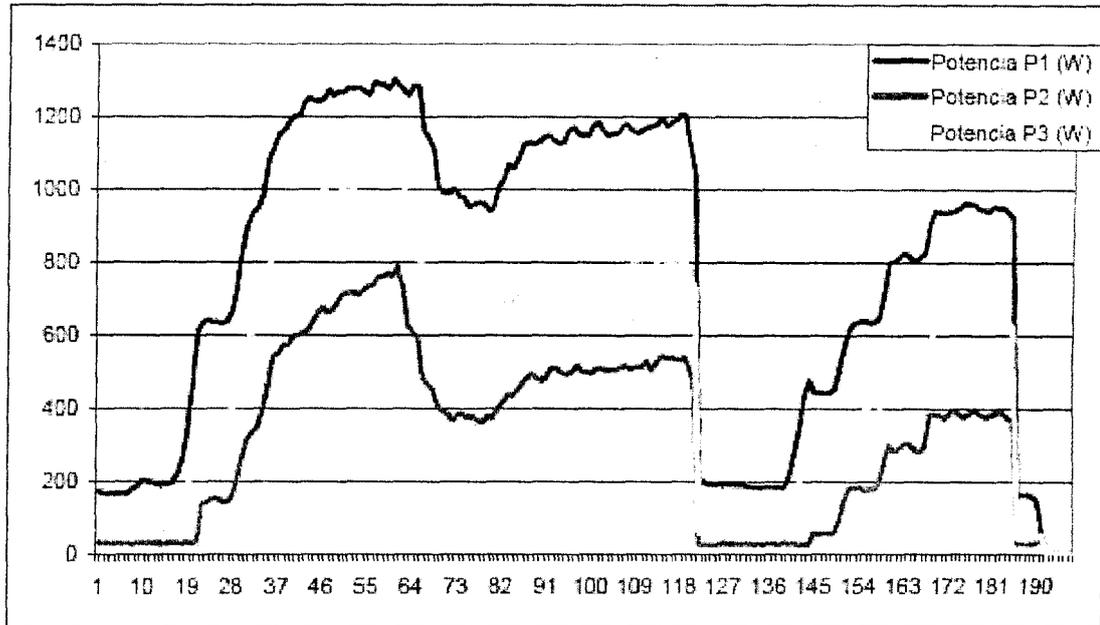


Figura 16. Señales de Corriente Eléctrica de las pilas de combustibl..

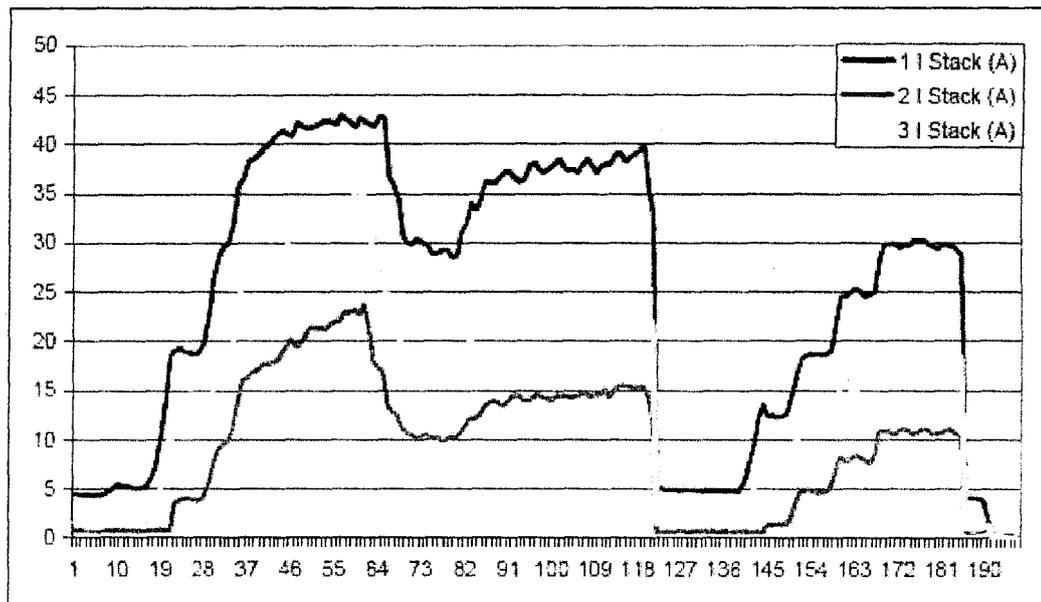


Figura 17. Señales de Temperatura de las pilas de combustible.

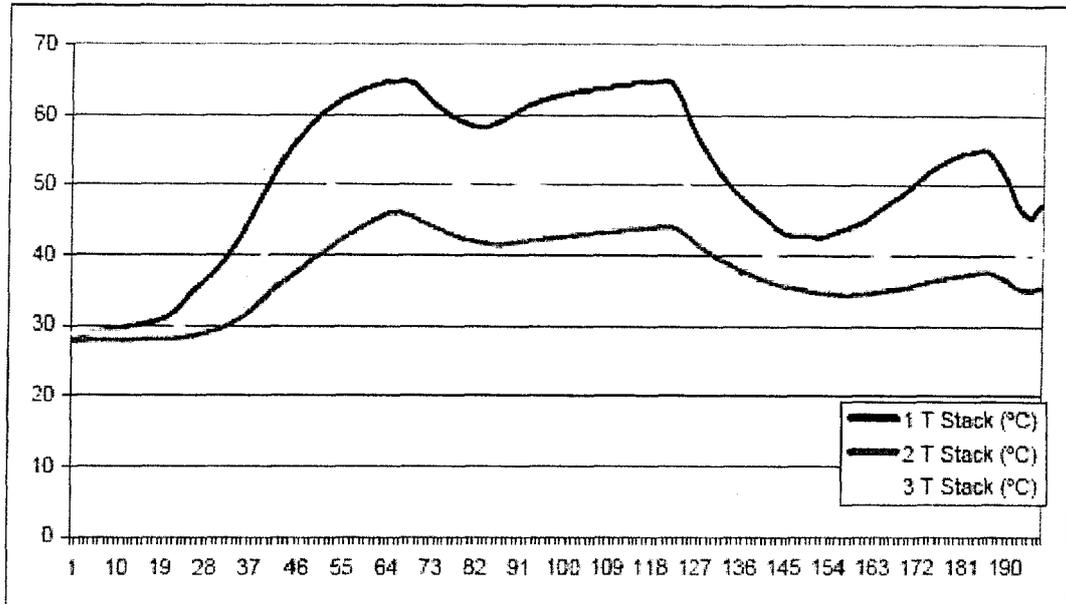


Figura 18. Consumos de Hidrógeno acumulados de las pilas de combustible.

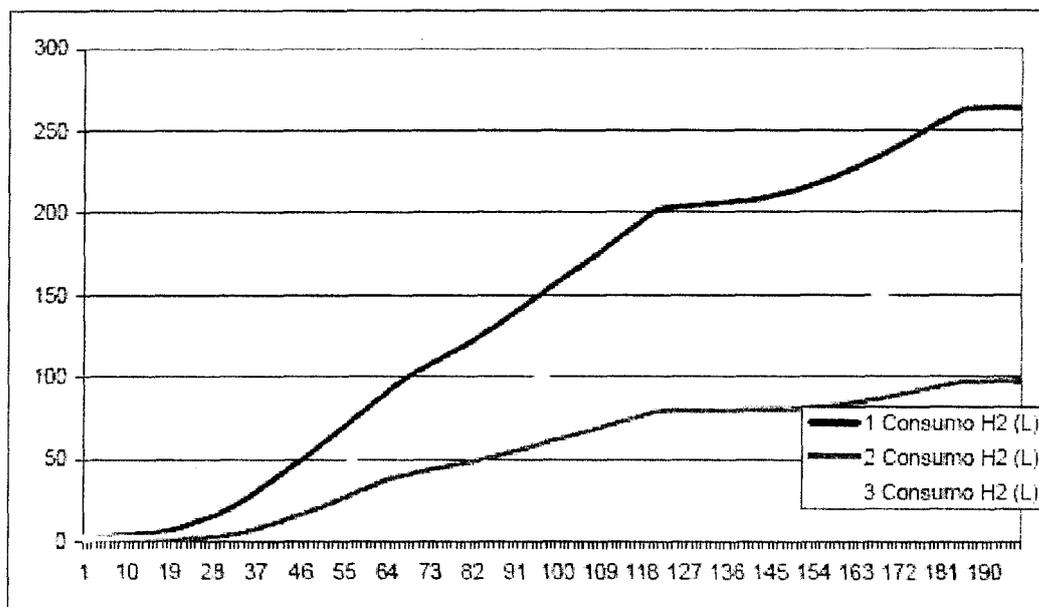


Figura 19. Señal de Potencia Eléctrica total entregada por el sistema de pilas.

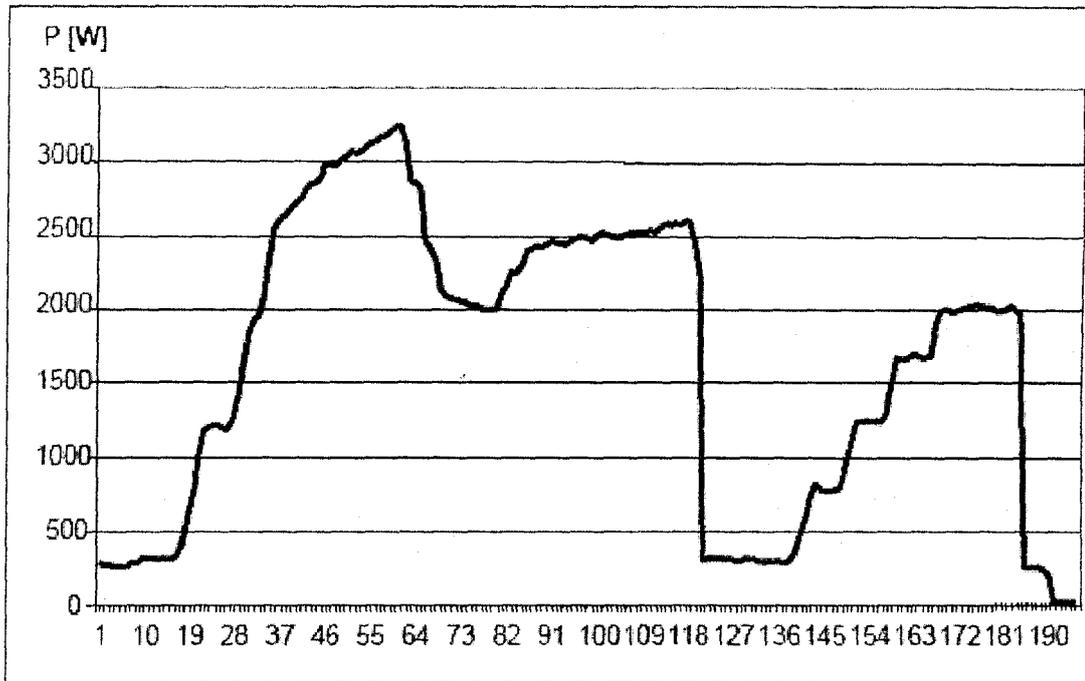


Figura 20. Sistema modular unitario de generación energética.

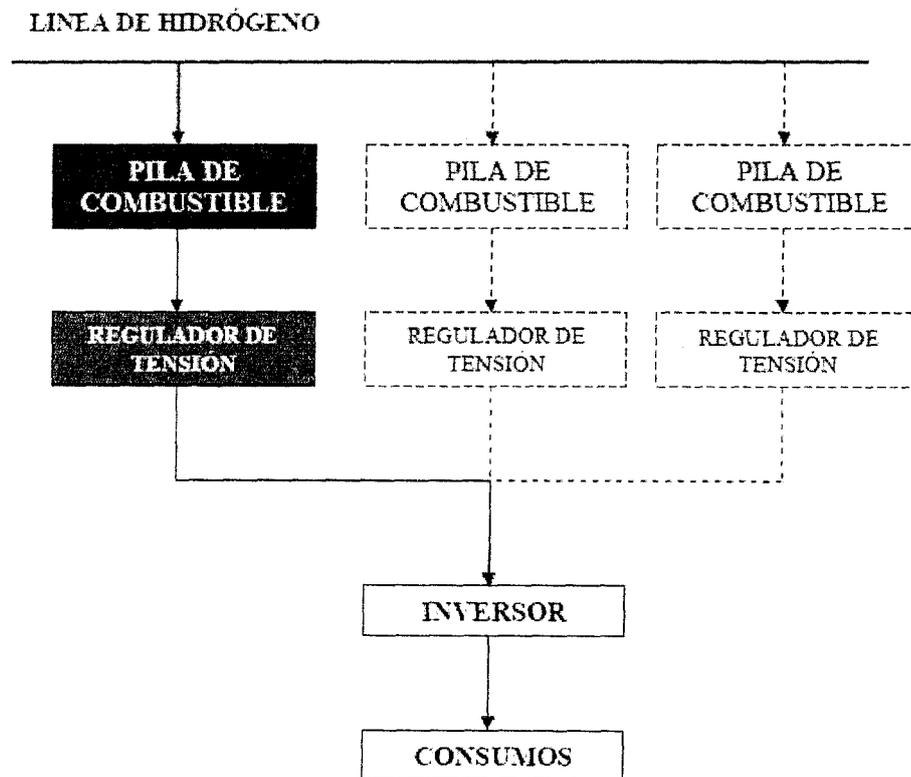
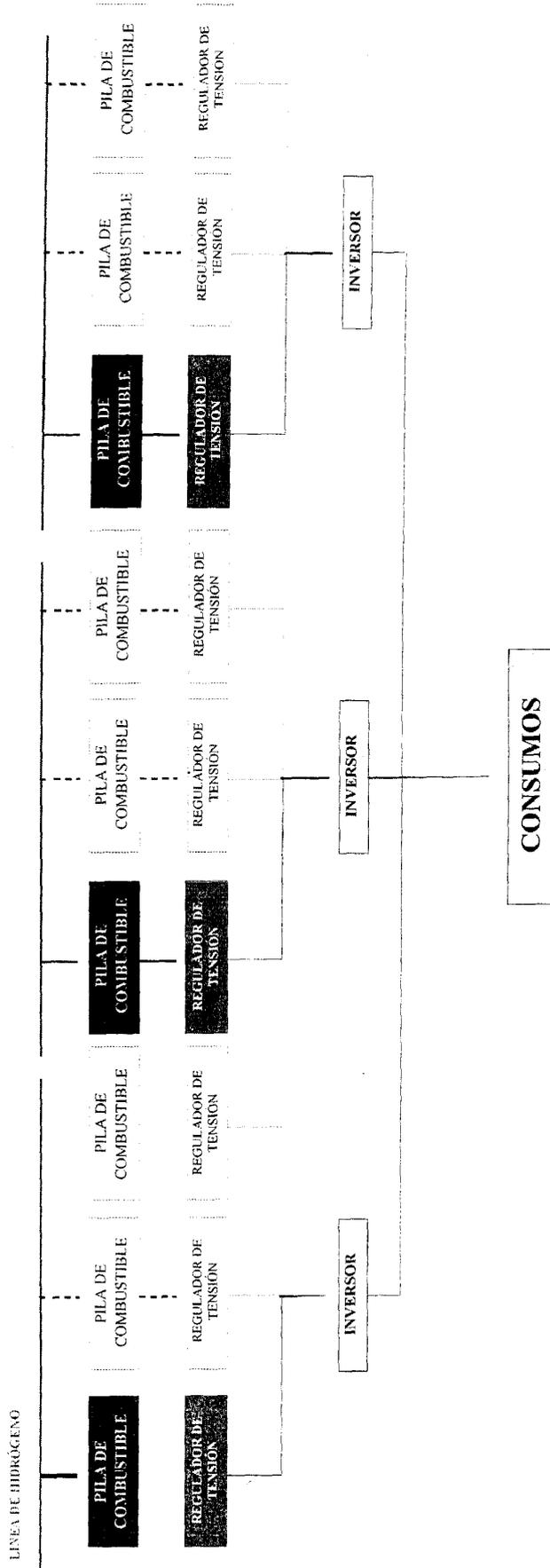


Figura 21. Sistema modular general de generación energética.





OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud:200701133

②② Fecha de presentación de la solicitud: 26.04.2007

③② Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **H01M8/04** (01.01.2006)  
**G05F1/10** (01.01.2006)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 7410711 B2 (SUGIURA et al.) 12.08.2008, columna 6, líneas 40-59; figura 1.	1,2
X	US 2004048119 A1 (IWASE) 11.03.2004, página 4, párrafos [43-45],[50-53]; figura 1.	1,2
X	US 5929594 A (NONOBE et al.) 27.07.1999, resumen; figura 1.	1,2
X	US 2005040786 A1 (ICHINOSE et al.) 24.02.2005, página 4, párrafo [54] – página 5, párrafo [57]; figura 1.	1,2
X	US 5714874 A (BONNEFOY) 03.02.1998, resumen; figuras 1-2.	1

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
15.12.2010

Examinador  
Rafael San Vicente Domingo

Página  
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H01M, G05F

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 15.12.2010

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1,2	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1,2	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 7410711 B2 (SUGIURA et al.)	12.08.2008
D02	US 2004048119 A1 (IWASE)	11.03.2004
D03	US 5929594 A (NONOBE et al.)	27.07.1999
D04	US 2005040786 A1 (ICHINOSE et al.)	24.02.2005
D05	US 5714874 A (BONNEFOY)	03.02.1998

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

El documento D01 constituye el estado de la técnica más próximo a nuestra solicitud. En dicho documento, nos encontramos con un sistema de generación de energía basado en pilas de combustible, que se aplicaría a un motor montado en un vehículo, y que consta de las propias pilas de combustible, de un regulador de tensión, de una batería de almacenamiento de energía, de una unidad de control electrónico de todo el sistema, y de un inversor conectado en la línea de energía y previo a la alimentación del motor con dicha energía. Por lo tanto no existe diferencia alguna entre el documento D01 y la 1ª reivindicación de la solicitud objeto de estudio, quedando la novedad de dicha primera reivindicación totalmente cuestionada con el documento D01.

De la misma manera, quedaría cuestionada con dicho documento la novedad de las reivindicación 2ª, ya que encontramos en dicho documento un depósito de almacenamiento de hidrógeno para la alimentación de la pila de combustible, quedando el objeto de dicha reivindicación 1ª divulgado idénticamente con el documento D01.

Análogamente al documento D01, podríamos decir que el contenido de los documentos D02 y D03 antecedería por sí solo la novedad de las reivindicaciones 1ª y 2ª, tal como se ha explicado con anterioridad.

El resto de documentos D04 y D05, ambos aparatos de suministro energético a una determinada carga y a base de pilas de combustible, también dispondrían de unidades de control para la regulación del aparato, de baterías de almacenamiento y suministro de energía, y de un convertidor de tensión continua. Ambos diferirían con el objeto de la reivindicación 1ª en la inexistencia de un inversor, pero al ser éste un elemento común del estado de la técnica en líneas de suministro energético, se cuestionaría asimismo la actividad inventiva de dicha 1ª reivindicación con dichos documentos.

Por lo tanto y a modo de resumen, podríamos concluir que en el sistema modular de generación eléctrica basado en pilas de combustible descrito en las reivindicaciones 1ª y 2ª de la presente solicitud no se aprecia novedad ni actividad inventiva, y por lo tanto la patentabilidad de la invención se vería cuestionada conforme a los artículos 6 y 8 de la ley 11/86 de patentes.