

CONTROL PWM EN LA GESTIÓN DE GASES PARA UN BANCO DE ENSAYOS DE UNA PEMFC DE 100 W

Wilton Edixon Agila G.

IAI-CSIC Ctra. Campo Real, Km. 0,200 - LA POVEDA 28500 ARGANDA DEL REY (Madrid), e-mail:
w_agila@iai.csic.es

Eugenio Villanueva, Leandro González, Miguel A. Rubio, Salvador Ros, Domingo Guinea
IAI-CSIC Ctra. Campo Real, Km. 0,200 - LA POVEDA 28500 ARGANDA DEL REY (Madrid)
e-mail: {eugenio, leandrog, marubio, domingo}@iai.csic.es

Resumen

Una pila de combustible PEM (Membrana de Intercambio Protónico) es un generador eléctrico de alto rendimiento y limpio, alimentado por Hidrógeno y Oxígeno, o aire, sobre ambos lados de una membrana polimérica conductora de protones. Su buen comportamiento eléctrico depende de múltiples variables, muchas de ellas relacionadas con la alimentación de gases tales como: temperatura, humedad, caudal y presión.

Coste, complejidad, tamaño y robustez de los requerimientos de los equipos convencionales de laboratorio son razones para desarrollar un nuevo sistema descrito en este trabajo. Se integran componentes de alta fiabilidad industrial enfocados en el procesamiento de la información y la arquitectura del control. Un modelo global permite un fácil diseño y optimización para cada aplicación particular.

Palabras claves: Sensorización, control, PEMFC.

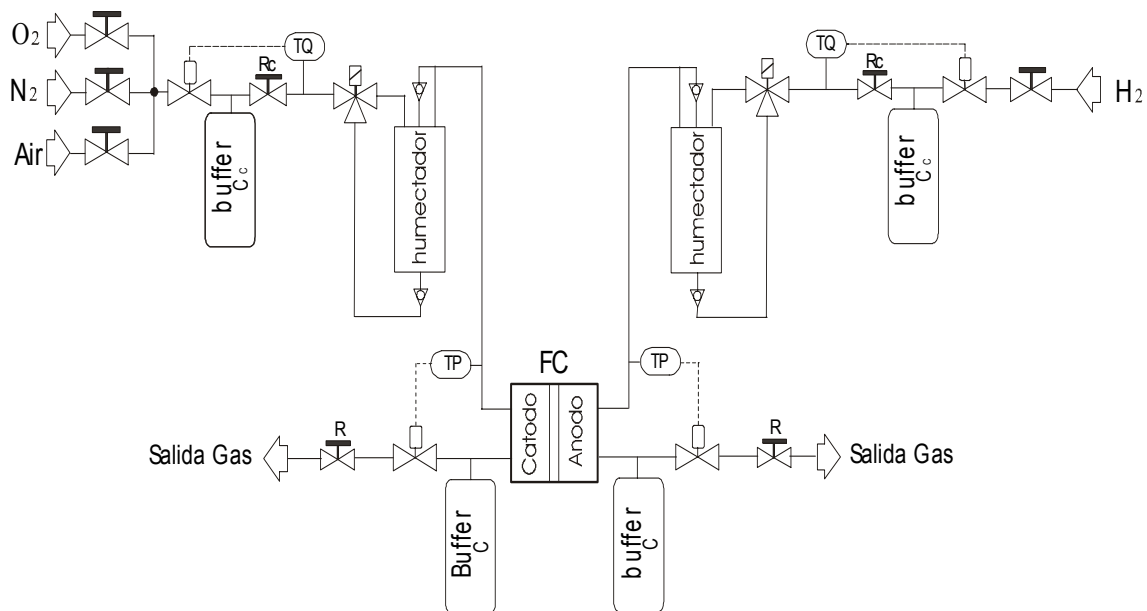


Fig. 1 Diagrama de flujo de la Gestión de Gases

1 INTRODUCCIÓN

La caracterización de las PEMFC (Pilas de Combustibles de Membrana de Intercambio

Protónico) requiere considerables tiempos de ensayo bajo las mismas condiciones y parámetros, esto se logra automatizando los métodos estándares.

Estos métodos usan los controladores de flujo másico ya que proveen un flujo programable. El control de la presión se realiza con un controlador de presión electrónico back-pressure, utilizando válvulas de aguja en el control de la sección de salida de los gases. Esto implica serios problemas de condensación de agua y requiere caros dispositivos de des-humidificación. El empleo de estos des-humidificadores se dificulta en sistemas de mayor potencia. Una solución a este problema es descrita a continuación.[1-3].

2 UNA PROPUESTA PARA LA GESTION DE GASES.

El diseñar este nuevo sistema para la gestión de gases en una PEMFC ayuda a simplificar el control de gases, utilizando válvulas de alta fiabilidad y robustez industrial, el control de flujo y presión en este sistema es realizado utilizando válvulas de membrana, actuadas neumáticamente con modulación PWM. Para cerrar los lazos de control son usados un sensor de flujo másico (arrastre de efecto térmico) y sensor de presión (semiconductor integrado). Las fluctuaciones debido a los actuadores PWM son rizadas con la integración de buffers (depósitos) en la línea.

Este nuevo sistema de medida y control de gases ha sido instalado en un banco de ensayos para PEMFC de hasta 100 W (celdas pequeñas).

La Fig.1 muestra el diagrama de flujo del sistema completa para la gestión de gases del banco de ensayos

Este sistema además de controlar el caudal, presión y temperatura de los gases, incluye un control de humectación por nivel de agua, un control de la temperatura de funcionamiento de la pila y un sistema de alarma.

Para la caracterización de la PEMFC, es necesario las medidas de Corriente – Voltaje que produce la pila, para lo cual se incorpora una carga electrónica cuya potencia máxima es 100W.

Todo el sistema de control y comunicación esta realizado por microcontroladores PIC, quedando el ordenador central para la captura y almacenamiento de datos para su posterior análisis.

2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA.

se especifican los rangos de variación de las diferentes variables

- Ánodo: H2 caudal de 0-300 ml/min (N2 para purgas) precisión ±1ml/min.

- Cátodo: N2, O2 caudal de 0-500 ml/min (N2 para purgas) precisión ±1ml/min, Aire comprimido caudal de 0-500 ml/min precisión ±1ml/min.
- Control de temperatura de gases de ánodo y cátodo individualizado (30-85 ° C)
- Control de presión de trabajo de la pila en ánodo y cátodo 0-4 bar.
- Humectación de gases: seco a saturación.
- Control de temperatura de la FC (30-90°C)
- Sistema de alarma para la detección de hidrógeno
- Carga electrónica de hasta 100 W (4 V – 25 A) para la caracterización de la FC.

3 MODELADO ELECTRICO DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO DE GAS EN EL CATODO.

Un simple modelo eléctrico del comportamiento del flujo de gas en el cátodo de una FC ha sido desarrollado con el objetivo de que permita un fácil diseño y optimización para cada aplicación particular. Para facilitar los cálculos se ha considerado los sistemas de control de caudal y presión por separado.

3.1 MODELADO ELECTRICO DEL CONTROL DE PRESION.

Consideremos el sistema a presión de la Fig. 2, el flujo de gas a través de la restricción R es una función de la diferencia de presión del gas.

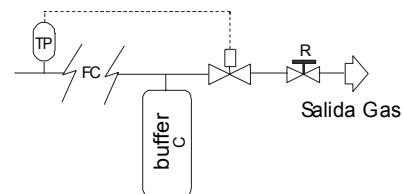


Fig. 2. Sistema de control de presión en el cátodo

Aplicando los conceptos de capacitancia y resistencia en sistemas de gases a presión podemos encontrar las ecuaciones de este sistema [4].

La resistencia del flujo del gas R se define de modo siguiente:

$$R = \frac{\text{Cambio en la diferencia de presión del gas}}{\text{Cambio en el flujo de gas}}$$

o bien:

$$R = \frac{d(\Delta P)}{d(\Delta Q)} \quad (3-1)$$

La Capacitancia del recipiente a presión se define mediante:

$$C = \frac{\text{Cambio en el gas almacenado}}{\text{Cambio en la presión del gas}}$$

o bien:

$$C = \frac{dm}{d(\Delta P)} \quad (3-2)$$

Si suponemos desviaciones pequeñas de las variables a partir de sus valores en estado estable respectivos este sistema se considera lineal[4].

Para valores pequeños de p_i , p_o , q_i y q_o , la resistencia R obtenida mediante la ecuación (3-1) se vuelve constante.

$$R = \frac{p_i - p_o}{q_i - q_o} \quad (3-3)$$

De la ecuación (3-2) podemos decir que el cambio de presión $d(p_o)$ multiplicado por la capacitancia C del recipiente es igual al gas añadido durante dt segundo, obtenemos:

$$C dp_o = (q_i - q_o) dt \quad (3-4)$$

reemplazando la ecuación (3-3) en la ecuación (3-4) y agrupando términos semejantes tenemos la ecuación diferencial del comportamiento del gas en el sistema del control de presión, tal como se muestra en la ecuación (3-5).

$$RC \frac{dp_o}{dt} + p_o = p_i \quad (3-5)$$

Aplicando la transformada de La Place a la ecuación (3-5) podemos obtener la función de transferencia de dicho sistema.

$$\frac{P_o(s)}{P_i(s)} = \frac{1}{RCs + 1} \quad (3-6)$$

Donde RC tiene la dimensión del tiempo y es la constante del tiempo del sistema de primer orden.

Podemos observar de las ecuaciones que la ley que controla el flujo de gas es análoga a la Ley de

Coulomb, que plantea que la corriente es directamente proporcional a la diferencia de potencial. Por lo que podemos decir que el sistema de control de presión puede ser representado de una manera fácil y sencilla mediante la analogía a un circuito eléctrico equivalente a través de un filtro paso bajo, tal como se muestra en la Fig. 3

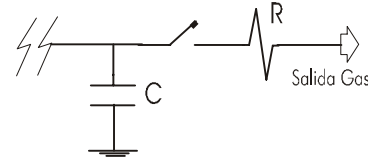


Fig. 3. Modelo eléctrico del control de presión

3.2 MODELADO ELECTRICICO DEL CONTROL DE CAUDAL.

Consideremos ahora el sistema de la Fig. 4

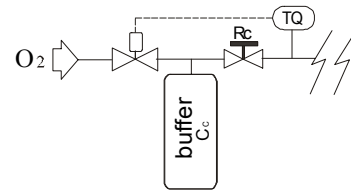


Fig. 4. sistema de control de caudal en el cátodo

Aplicando los mismos conceptos de Resistencia, Capacitancia y desviaciones pequeñas en las variables a partir de sus valores en estado estable respectivos (sistema lineal) [4].

Trataremos de encontrar la función de transferencia de este sistema, si consideramos ahora q_i y q_o como la entrada y la salida del sistema de control de caudal. Sabemos que, para valores pequeños de p_o y q_o en la salida, la resistencia al flujo Rc se obtenida mediante la ecuación (3-1), se vuelve constante:

$$Rc = \frac{p_o}{q_o} \quad (3-7)$$

Aplicando el mismo criterio que en el Análisis de las presiones, es decir, dado que el cambio de presión $d(p_o)$ multiplicado por la capacitancia Cc del recipiente es igual al gas añadido durante dt segundo, obtenemos:

$$Cc dp_o = (q_i - q_o) dt \quad (3-8)$$

reordenando y derivando ambos términos de la ecuación (3-7) con respecto al tiempo, y

reemplazando en la ecuación (3-8) nos queda la ecuación diferencial del sistema de control de caudal, tal como se muestra en la ecuación (3-9)

$$R_c C_c \frac{dq_o}{dt} + q_o = q_i \quad (3-9)$$

Aplicando la transformada de Laplace a la ecuación (3-9), obtenemos la función de transferencia de dicho sistema, ecuación (3-10)

$$\frac{Q_o(s)}{Q_i(s)} = \frac{1}{R_c C_c s + 1} \quad (3-10)$$

Donde $(R_c C_c)$ tiene la dimensión del tiempo y es la constante del tiempo del sistema de primer orden, es decir, el tiempo que demora en estabilizarse el caudal a la salida ante un pequeño cambio en la entrada.

Al igual que el control de presión, otra manera fácil y sencilla de representar a nuestro sistema de control de caudal, es mediante la analogía a un circuito eléctrico equivalente a través de un filtro paso bajo RC, tal como se muestra en la Fig. 5

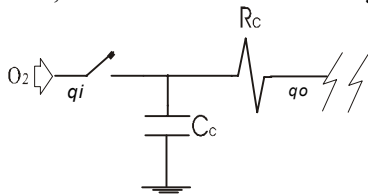


Fig. 5. Modelo eléctrico del control de caudal

Tabla 1. nomenclatura de las ecuaciones

Nombre	Descripción
R	Resistencia al flujo de gas (control de presión)
$d(\Delta P)$	Pequeño cambio en la diferencia de presión del gas
$d(\Delta Q)$	Pequeño cambio en la diferencia de caudal del gas
C	Capacitancia del recipiente a presión
dm	Pequeña variación de la masa del gas en el recipiente
p_i	Cambio pequeño en la presión del gas de entrada
p_o	Cambio pequeño en la presión del gas que sale
q_i	Pequeña desviación en el caudal de entrada

q_o	Pequeña desviación en el caudal de salida
R_c	Resistencia al flujo de gas (caudal)
C_c	Capacitancia del recipiente a presión (control de caudal)
R_{FC}	Resistencia al flujo de gas (en la pila)
C_{FC}	Capacitancia en la pila
Q_i	Caudal de entrada del flujo en estado estable, antes de que ocurra un cambio
Q_o	Caudal de salida del flujo en estado estable,
P_i	Presión del gas que entra en el recipiente en estado estable
P_o	Presión del gas que sale en el recipiente en estado estable

3.3 MODELO ELECTRICO DE LA GESTION DEL FLUJO DE GAS EN EL CATODO.

Superponiendo los dos modelos eléctricos de control, caudal y presión a un modelo eléctrico sencillo de una PEMFC, podemos obtener un modelo simple del comportamiento del flujo de gas en el Cátodo de una PEMFC tal como se muestra en la Fig.6

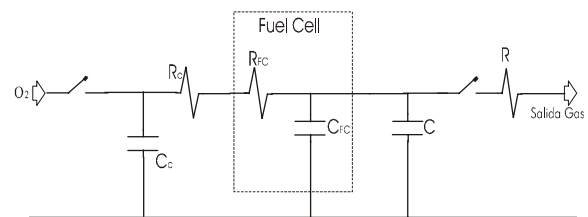


Fig. 6. Modelo eléctrico del cátodo

4 RESULTADOS DEL CONTROL EN LOS ENSAYOS DE UNA PEMFC

Uno de los resultados obtenidos en las pruebas de control de caudal es mostrado en la Fig. 7, para un caudal de 400 ml/min con un error de $\pm 2,5$ ml/min (resolución del sensor de caudal de ± 1 ml/min).

La Fig. 8 muestra la curva de caudal y presión en uno de los experimentos realizados en el funcionamiento de una PEMFC durante 50 H, para un caudal de 200 ml/min, presión de 1 bares y una frecuencia de actuación de la válvula aproximada a 4Hz.

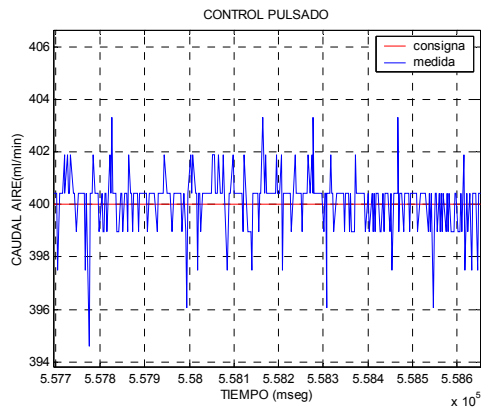


Fig. 7. Grafica de control de caudal

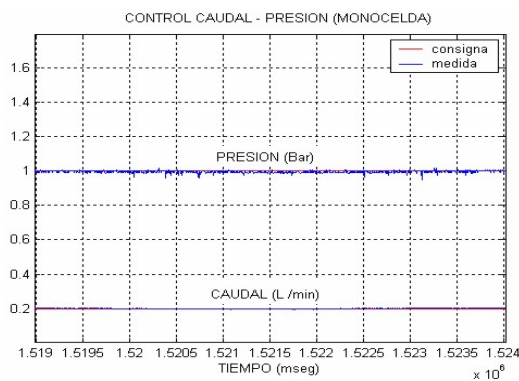


Fig. 8. Grafica de control de caudal y presión

5 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.

Con el desarrollo de este nuevo sistema se logra un control fiable, robusto y de fácil implementación industrial en la gestión de gases de una PEMFC. El control de presión es garantizado por un procedimiento simple y a bajo coste. Para FC de mayor potencia que 100W, el volumen de el buffer de gas (Capacitancia) o la frecuencia del PWM puede ser incrementado.

El siguiente es realizar un control continuo en la gestión de gases realizando el control en el circuito auxiliar de la válvula neumática.

Agradecimientos

Agradezco al grupo de pilas del Instituto de Automática Industrial del CSIC por todo el apoyo brindado.

Referencias

- [1] E. Gulzow, S. Weibhaar , R. Reissner, W. Schroder, Journal of Power Sources 118 (2003), pp 405 – 410.
- [2] Pyle Walt, Spivak Alan, Cortez Reynaldo, Healy Jim, Home Power, (35), (1993).
- [3] J. Y. Verde G., A. Keer R., Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C., Memorias SOMI XV Mat-17.
- [4] Control Moderno de Procesos, Ogata. 3ra Edición.