

Influencia de la orientación en el campo gravitatorio y placas bipolares en la fenomenología oscilatoria bajo condiciones de deshidratación en el cátodo en PEFC

Daniel G. Sanchez¹, Alfredo Ortiz², K. Andreas Friedrich¹

¹Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR), Institut für Technische Thermodynamik, Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart, Germany.

²Dpto. Ingeniería Química y QI. ETSII y T, Universidad de Cantabria, Av. de los Castros s/n, 39005, Santander, Spain.

RESUMEN

Las oscilaciones de la respuesta de la monocelda en pila de combustible PEM, aparecen bajo condiciones de trabajo de deshidratación severa en el cátodo y alta humidificación en el ánodo. Dichas oscilaciones están constituidas por transiciones periódicas entre dos estados, uno de alta respuesta y otro de baja respuesta [1], siendo la amplitud de las oscilaciones el parámetro que caracteriza el cambio en el contenido de agua de membrana. Las oscilaciones son causadas por cambios periódicos de fase del agua en el canal del ánodo de gas a gas-líquido. Ha sido observado como la orientación de la celda en el campo gravitatorio influye en la distribución de agua líquida en el canal del ánodo, influyendo de esta forma en la fenomenología oscilatoria, comparado la respuesta de la celda con uno o cinco serpentines, puede verse como la velocidad de los gases en el canal influye en fenomenología de las oscilaciones.

ABSTRACT

Oscillatory fluctuations of a single proton exchange membrane fuel cell appear upon operation with a dry cathode air supply and a fully humidified anode stream. Periodic transitions between a low and a high current operation point of the oscillating state were observed [1] where the oscillation amplitude is the principal parameter which characterizes the change of membrane water content. The oscillations are caused by periodic flow type changes from one to two phase flow in the anodic channels of the flow field. It has been observed that cell orientation with respect to earth's gravity field influences the liquid water distribution in the anodic flow channels and thus it is also affecting the oscillatory behavior of the cell performance. Comparing cell performance oscillations with a five channel serpentine flow field to a cell with one channel serpentine it is found that the oscillating performance behavior is also influenced by the gas velocity within an anodic flow channel.

Palabras clave: Electrolito Polimérico, Pila de combustible, Gestión del agua, Oscilaciones.

Keywords: Polymer electrolyte, Fuel cell, Water management, Oscillations.

1. INTRODUCCIÓN

La gestión del agua es uno de los principales parámetros a controlar en las pilas de combustible de electrolito polimérico (PEMFC), un exceso de agua induce a la pila en un estado de encharcamiento, estado que genera una drástica caída de la respuesta de la celda, mientras una deficiente humidificación genera la deshidratación de la membrana, disminuyendo la conductividad protónica y produciendo el descenso de la respuesta. Por estas razones el estudio de la gestión de agua ha sido foco principal de estudio de numerosos grupos, es reseñable el temprano trabajo de Büchi [2] en 1997, trabajo que estudiaba estados de funcionamiento estables con bajos niveles de humidificación.

El presente trabajo estudia las oscilaciones de la respuesta de la pila de combustible PEM, bajo condiciones de trabajo de deshidratación severa en el cátodo. Dichas oscilaciones constan de dos estados en la respuesta, uno de alta respuesta que lleva asociado una distribución uniforme de la densidad de corriente, con valores bajos de la resistencia de la membrana y un nivel de baja corriente, que lleva asociado una distribución heterogénea de la densidad de corriente, con valores mayores de la resistencia de la membrana.

El estudio de la fenomenología oscilatoria bajo condiciones de deshidratación del cátodo proporciona una información importante de los procesos relacionados con la gestión del H₂O en pila de combustible PEFC, permitiendo al mismo tiempo estudiar dos procesos, uno de hidratación en la

transición del nivel de baja-alta respuesta y otro de deshidratación en la transición del nivel de alta-baja respuesta, siendo la estabilidad de este último nivel, adecuada para el uso de técnicas in situ como la impedancia con espectroscopia eléctrica o la celda segmentada [1].

2. PARTE EXPERIMENTAL

Para el estudio de la respuesta dinámica de la pila de combustible PEM, han sido utilizados los protocolos experimentales del DLR (Centro Aeroespacial Alemán), Siendo las estaciones de ensayos utilizadas en la experimentación mostrada en el presente trabajo, de fabricación propia del DLR con tecnología de control PLC. La celda segmentada utilizada en la experimentación, ha sido desarrollada también en el DLR y esta fundamentada en la tecnología de circuitos integrados (PCB) [3].

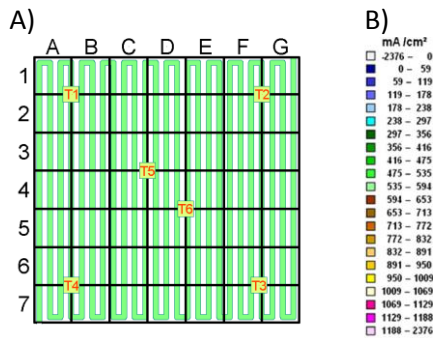


Figura 1 A) Distribución de los segmentos en la celda segmentada B) Leyenda de colores de las distribuciones de densidades de corriente.

Las placas bipolares son también de manufactura del DLR, siendo el material utilizado para su fabricación acero galvanizado con oro.

Para la experimentación de la influencia del campo gravitatorio en la fenomenología oscilatoria, han sido utilizadas dos disposiciones de la celda perpendicular al campo gravitatorio, configuraciones que pueden ser vistas en la figura 2. Todos los experimentos han sido realizados bajo las condiciones experimentales mostradas en la tabla 1. Siendo la MEA utilizada un producto comercial manufacturado por la empresa Ion Power:

- Membrana: Nafion®-111-IP.
- Capa Catalítica: Pt carga, 0.3 mg/cm²
- Capa difusora (GDL): 35 BC Sigracet.

Tabla 1 Condiciones experimentales
Modo Potenciostatico: 600mV
Flujos: <ul style="list-style-type: none"> • Ánodo: 209ml/min • Cátodo: 664ml/min
Temperatura del humectador del ánodo: 80°C
Temperatura de la celda : 80°C
Presión: 1.5 bar
Humedad relativa en el cátodo: 0%
Humedad relativa en el ánodo: 100%

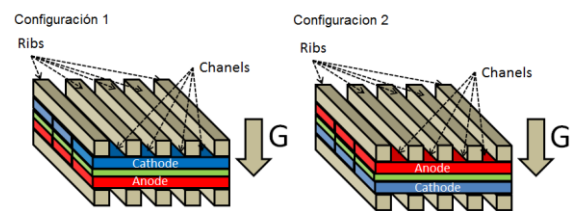


Figura 2 Configuraciones utilizadas para el estudio de la influencia del campo gravitatorio en la fenomenología oscilatoria.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fenomenología oscilatoria de la respuesta, asociada a las condiciones de trabajo con fuerte deshidratación en el cátodo, se caracteriza por una transición periódica entre dos niveles de respuesta uno de baja respuesta, asociado a un estado de deshidratación de la membrana, con un tiempo característico asociado mayor y otro de alta respuesta con un tiempo característico asociado menor [1].

El proceso que desencadena la transición del nivel de baja al nivel de alta respuesta, conocido como “ignición”, está fuertemente relacionado con la acumulación de H₂O líquida en el canal del ánodo. En este trabajo se presenta el efecto que sobre esta fenomenología, tiene tanto la orientación de la celda en el campo gravitatorio, como el uso de distintas placas bipolares, con diferente número de canales y grosores de costilla.

3.1 Orientación de la celda en el campo gravitatorio.

Conocida la relación existente, entre la acumulación de agua en fase líquida en el canal del ánodo y la aparición de la ignición, el efecto del campo gravitatorio, podría tener cierta influencia en esta fenomenología. A continuación, se mostrará la comparación de la respuesta oscilatoria de la celda utilizando las configuraciones mostradas en la figura 2.

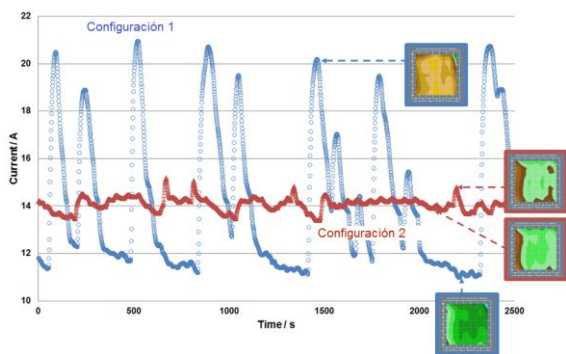


Figura 3 Comparación de la fenomenología oscilatoria de las configuraciones 1 y 2 bajo condiciones experimentales mostradas en la tabla 1.

En la figura 3 puede verse como la configuración 1 tiene una menor corriente asociada al nivel de baja respuesta que la configuración 2, asimismo puede observarse también, como la utilización de la configuración 2, no produce la aparición de la fenomenología oscilatoria.

A continuación se pasara a discutir las diferencias observadas en las respuestas con ambas configuraciones (figura 3). En la figura 4 puede verse como la configuración 1, sitúa el ánodo bien hidratado en la parte inferior, con lo que se favorece la acumulación de H₂O en estado líquido en el canal, esto beneficiará la aparición de las igniciones.

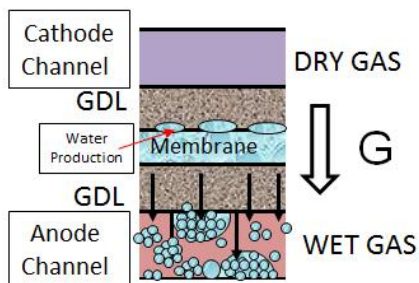


Figura 4 Esquema de la configuración 1

Por otro lado, el efecto de la gravedad contribuye también en la configuración 1, a mantener el H₂O del ánodo lejos de la membrana, reduciendo la capacidad de hidratación de esta, haciendo a la configuración 1 más propensa a la deshidratación.

En la figura 5, puede apreciarse como en la configuración 2, la gravedad favorece el flujo de agua del canal del ánodo hacia la MEA, disminuyendo de esta forma la posibilidad de acumulación de agua líquida en el canal, reduciendo de esta forma la aparición de las igniciones. En esta configuración, el efecto de la gravedad contribuirá a mantener el H₂O de la cara del ánodo cerca de la membrana, haciendo a esta configuración menos

susceptible a la deshidratación que con el uso de la configuración 1.

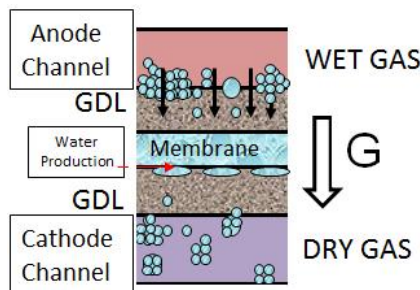


Figura 5 Esquema de la configuración 2

Las diferencias en las distribuciones de densidades de corriente, de los niveles de baja respuesta de las configuraciones 1 y 2, son mostradas en la figura 6, estas revelan unas diferencias uniformes de las densidades de corriente, lo que sugiere que la fenomenología afecta de forma uniforme a toda la superficie de la celda.

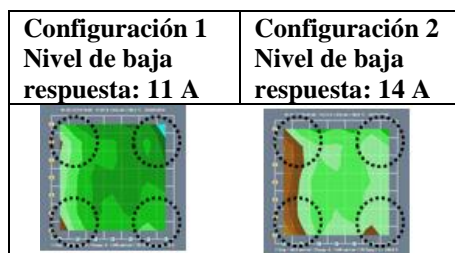


Figura 6 Comparación de las densidades de corriente del nivel de baja respuesta configuraciones 1 y 2.

3.2 Efecto de la placas bipolares: Comparación entre un serpentin y cinco serpentes

A continuación se pasara a mostrar la diferencia en la respuesta oscilatoria, del uso de un número diferente de canales en las placas bipolares, en uno de los casos se utilizara un solo canal (one serpentine), mientras en el otro se utilizaran cinco canales (five serpentes).

En la figura 7 se observa como la utilización de cinco canales produce una menor amplitud en la respuesta oscilatoria, siendo la corriente menor en el nivel de alta respuesta que con un solo canal, Siendo con cinco canales mayor la corriente asociada al nivel de baja respuesta.

Las diferencias en la amplitud y en el nivel de baja respuesta vistas con cinco canales, pueden ser asociadas, a la diferencia de velocidades de los gases el canal, que en el caso de cinco canales reducirán la capacidad de deshidratación del aire en el canal del cátodo.

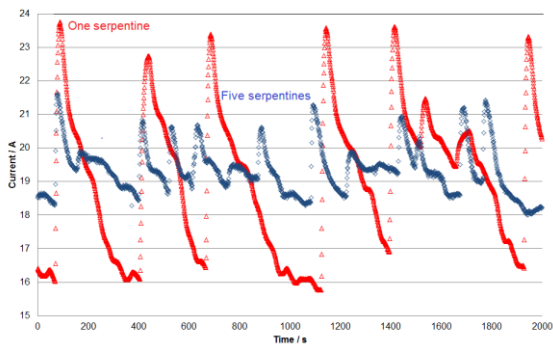


Figura 7 Comparación en la fenomenología oscilatoria de la utilización un serpentín (triángulos rojos) o cinco serpentines (rombos azules), bajo las condiciones experimentales de la Tabla 1

3.3 Efecto de las placas bipolares: Comparación de tamaño de costilla 0.5 mm vs 1 mm

En este apartado pasaremos a mostrar el efecto que tiene en la fenomenología oscilatoria la utilización de los dos tamaños diferentes en las costillas de las placas bipolares. En la Figura 8 pueden verse el resultado de utilizar un grosor de costilla de 0,5 mm y 1 mm.

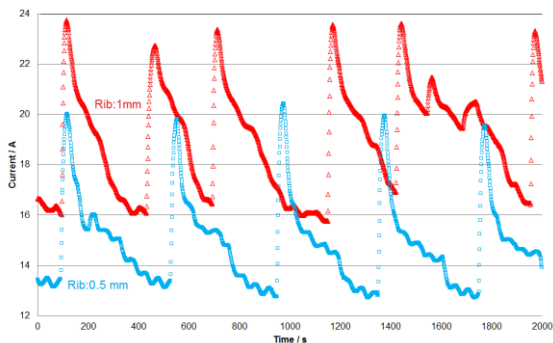


Figura 8 Comparación en la fenomenología oscilatoria de la utilización de un ancho de la costilla 0.5 mm (cuadrados azules) o 1mm (triángulos rojos). Condiciones experimentales de la Tabla 1

De acuerdo con el trabajo de Reum et al [4] fue observada una respuesta menor con una costilla más fina. Por otro lado no se observan grandes diferencias ni en las amplitudes de las oscilaciones ni en los tiempos asociados a las transiciones alta-baja y baja-alta. Por lo que puede concluirse que el grosor de la costilla no repercute en la fenomenología de la oscilación, el cambio reside en el nivel de la respuesta, mayor con un tamaño de costilla más ancho.

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se han llegado en el presente trabajo son:

- El efecto de la gravedad no influye de forma considerable en los procesos de hidratación deshidratación internos de la MEA, pero influye en la gestión externa del H₂O, más concretamente en la acumulación de agua líquida en el canal.
- La utilización de cinco canales resulta más estable ante los procesos asociados a la deshidratación que la utilización de un solo canal.
- La utilización de una costilla más ancha mejora la respuesta de la celda, pero no repercute de una forma apreciable en la fenomenología oscilatoria.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la organización Deutsche Akademische Austausch Dienst (DAAD), scholarship codenumber A/11/94356 por su apoyo. Los autores quieren agradecer la colaboración de H. Sander del DLR en la realización del presente trabajo.

Bibliografía

- [1] Daniel G. Sanchez, et al *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 649 219–231 (2010).
- [2] F. N. Büchi and S. Srinivasan, *J. Electrochem. Soc.* 144, 2767 (1997).
- [3] M. Schulze, et al. *J. Power Sources* 173, 19. (2007).
- [4] M. Reum, et al *J. Hydrogen Energ.*, 156(10)B1225-B1231.(2009).