

Producción de energía en el tratamiento de aguas residuales. Celdas microbiológicas.

S. Mateo, Y. Asensio, H. Zamora, C.M. Fernández-Marchante, F.J Fernández, J. Lobato, P. Cañizares, M.A. Rodrigo*

¹ Dpto de Ingeniería Química. Universidad de Castilla- La Mancha. Avda. Camilo José Cela, s/n. ITQUIMA (13071), Ciudad Real..

Justo.Lobato@uclm.es; manuel.rodrigo@uclm.es

Resumen

En este trabajo se muestran los resultados más recientes y más relevantes del laboratorio de investigación de Ingeniería Electroquímica y Ambiental del grupo TEQUIMA de la Universidad de Castilla-La Mancha relativos a la producción de energía eléctrica y el tratamiento de aguas residuales mediante el empleo de celdas de combustible microbiológicas. Así, se muestran resultados de diferentes configuraciones de celdas de combustible como son las de dos compartimentos y otras donde el aire es suministrado de forma pasiva (es decir, sin impulsión mecánica) al cátodo, conocidas por las palabras en inglés “air-breathing”. Por otro lado, en el marco de un proyecto EXPLORA se está evaluado el funcionamiento de las celdas de combustible microbiológicas alimentadas mediante biomasa procedente de algas. Finalmente, con el objetivo de analizar el potencial real de esta tecnología se está escalando el sistema apilando diferentes celdas de combustible microbiológicas, formando lo que se conoce como stack.

Palabras Clave: Algas, Celda de combustible, DQO, Electricidad, Stack,

Introducción

En los últimos años, las celdas de combustible microbiológicas (CCM) han sido estudiadas como una tecnología capaz de sustituir a los reactores biológicos convencionales presentes en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) (Logan, Hamelers et al. 2006). Los resultados obtenidos han demostrado que estos dispositivos son capaces mediante la oxidación de la materia orgánica contenida en un agua residual por parte de un cultivo de microorganismos de reducir la materia orgánica contenida en las aguas residuales y generar electricidad de forma simultánea (Logan 2008). Otra aplicación de las CCM que en la actualidad se está evaluando es su uso como suministro energético de bajo consumo en sistemas específicos, como por ejemplo el desarrollo de paneles solares fotomicrobiológicos (Rosenbaum and Schröder 2010). El diseño y aplicabilidad de estos dispositivos podría suponer un importante hito tecnológico. Este es el objetivo principal del proyecto EXPLORA titulado “Emulando a la vida en la generación de energía: Celdas Fotomicrobiológicas autosuficientes para la producción de electricidad a partir de energía solar”. En este sentido, estudios recientes han demostrado que la utilización de algas en CCMs es viable para el desarrollo de CCMs autosostenibles que permita producir energía eléctrica a partir exclusivamente del Sol y de carbono inorgánico, debido a que el oxígeno en el cátodo es suministrado por las algas alojadas en el cátodo a través de la fotosíntesis, mientras que la biomasa generada por las algas en el compartimento catódico puede ser recirculado al ánodo y ser utilizado como combustible para las CCMs (Pan and Zhou 2015).

En este trabajo se han estudiado distintas configuraciones de celdas. Las celdas de combustible microbiológicas de doble compartimento se caracterizan por el uso de membranas de intercambio iónico para la separación de los microorganismos alojados en el compartimento anódico y la disolución ácida contenida en el compartimento catódico. Se ha demostrado que son dispositivos sencillos y fáciles de construir, sin embargo la energía obtenida es limitada. Por otra parte, las

celdas de combustible “air-breathing” surgieron para aumentar la energía producida por las CCM tradicionales de doble compartimento, sin embargo el uso de Pt como catalizador en la superficie del electrodo catódico limita la aplicabilidad de éste tipo de celdas a escala industrial debido al alto precio del catalizador (Mateo, Rodrigo et al. 2015).

Por tanto, atendiendo a las limitaciones de las CCMs descritas anteriormente se hace necesario la búsqueda de nuevas configuraciones capaces por una parte, de incrementar la energía generada y por otra parte el desarrollo de CCMs autosostenibles que sean capaces de generar energía sin necesidad de incorporar combustibles de forma externa al sistema. El uso de stacks en CCMs ha mejorado de forma notable la generación de energía, a la vez que ha aumentado la capacidad depurativa de las celdas de combustible tradicionales (Yazdi, Alzate-Gaviria et al. 2015). En este trabajo se presentan resultados relevantes del funcionamiento de este tipo de celdas. De igual manera, la optimización de estos dispositivos es necesaria como paso previo a la aplicación industrial de ésta tecnología.

Materiales y Métodos

La instalación experimental consta de dos tipos de celdas. La primera de ellas es una celda de combustible microbiana con membrana de intercambio protónico que permite separar el compartimento ánodo del cátodo. La membrana empleada es de tipo PEM Sterion® y presenta alta conductividad iónica ($0,9 - 0,02 \text{ meq g}^{-1}$), baja conductividad de electrones ($8 \cdot 10^{-2} \text{ Scm}^{-1}$) y un espesor de $180 \mu\text{m}$. Como material electródico se ha empleado fieltro de carbono (KFA10, SGL Carbon Group®), cuya área superficial es de $7,06 \text{ cm}^2$. Además, la distancia interelectródica se ha minimizado para reducir la resistencia eléctrica interna del dispositivo. Con respecto al compartimento catódico, éste se encuentra conectado a un depósito de agua de 100 mL a pH 3 en el que un compresor de aire suministra oxígeno a través de un difusor. Finalmente, cabe destacar que durante el estudio de este tipo de celdas se ha empleado biomasa algal como combustible con el fin de evaluar la viabilidad técnica de una celda de combustible microbiana fotosintética. Además, se ha llevado a cabo un cambio de escala de la celda descrita. Concretamente, se han diseñado diferentes stacks con 2, 5, 10 y 20 celdas (Figura 1).



Figura 1. Stacks con 20 CCMs de doble compartimento

El segundo tipo de celda es una celda llamada "air breathing", en la que el cátodo se encuentra abierto a la atmósfera y el oxígeno necesario en la reacción catódica proviene del aire. En este caso se ha empleado papel de carbón con un 10% de Teflón y 0,5 mg Pt cm⁻² como material catódico. Asimismo, el papel de carbón ha sido empleado como materia anódica además del fieltro de carbono de iguales características al empleado en la celda de doble compartimento. En estas celdas el área activa del electrodo es de 0.865 cm². También se ha llevado a cabo el cambio de escala en este tipo de celdas, diseñando stacks con 16 celdas.

El voltaje generado en cada uno de los experimentos fue medido con un multímetro Keithley 2000, y en todos los casos las distintas CCMs y stacks fueron conectados a una resistencia externa de 120 Ω. Durante todos los experimentos se mantuvieron constantes la temperatura de operación, el tiempo de retención hidráulico y la resistencia externa conectada a los electrodos. De igual manera, el fango activo de partida fue el mismo para todos los experimentos para asegurar la reproducibilidad del análisis.

Resultados y Discusión

Para todas las configuraciones estudiadas se analizó el porcentaje de eliminación de materia orgánica en el ánodo para estudiar el metabolismo global de la población de microorganismos. Se observó que la configuración de las CCMs influyó notablemente en la eliminación de DQO. Por una parte, las celdas de combustible "air-breathing" tuvieron una menor capacidad de depuración de la materia orgánica contenida en el agua residual respecto a las celdas convencionales de doble compartimento. Por otro lado, se observó que la eliminación de materia orgánica del agua residual estaba fuertemente influida por la porosidad del material anódico. Por consiguiente, el fieltro de carbono usado como ánodo en las CCMs en las celdas de doble compartimento aumentó la capacidad de eliminación de materia orgánica en las celdas respecto al uso del papel de carbono en las celdas "air-breathing".

En los ensayos de escalado de las CCMs se observó que cuanto mayor era el número de celdas que conformaban el stack, mayor era la capacidad de depuración del agua residual. Éste fenómeno puede explicarse atendiendo al biofilm formado en la superficie de los electrodos anódicos, formado por poblaciones de microorganismos capaces de oxidar la materia orgánica. De esta manera, se observó que el stack formado por 20 CCMs presentó el mayor porcentaje de eliminación de DQO respecto al resto de configuraciones anteriormente estudiadas (Asensio, Mansilla et al. 2017; Asensio, Fernandez-Marchante et al. 2017).

Por otra parte, se observaron bajos valores de eliminación de materia orgánica cuando las CCM de doble compartimento fueron alimentadas con biomasa procedente de las algas (Asensio, Fernandez-Marchante et al. 2017). Esta disminución en la capacidad de depuración respecto a los anteriores experimentos se debe a la complejidad de las moléculas que conforman la materia orgánica usada como combustible en este caso. De igual manera, la oxidación de las moléculas de biomasa algal produce un gran número de intermedios orgánicos que pueden afectar a la actividad metabólica de los microorganismos contenidos en el compartimento anódico.

Para evaluar la actividad de los microorganismos electrogénicos presentes en el compartimento anódico se monitorizó la generación de energía para cada una de las configuraciones estudiadas. Se observó que las CCMs "air-breathing" generaron una mayor cantidad de energía respecto a las CCMs convencionales de doble compartimento. Esta diferencia notable de electricidad generada es debida a la presencia de una capa de Pt en la superficie del cátodo que cataliza la reacción de reducción del oxígeno a agua en el compartimento catódico. Sin embargo, el alto coste asociado al catalizador dificulta el escalado de CCMs con esta configuración respecto a las celdas convencionales de doble compartimento (Mateo, Fernandez-Morales et al. 2017).

En el escalado de las ambos tipos de celdas CCMs convencionales de doble compartimento y air breathing se estudió la energía de salida, obteniéndose mayores valores de voltaje respecto a los dispositivos anteriormente descritos. Se realizó un estudio en la generación de energía mediante la conexión tanto en serie como en paralelo de los electrodos que conformaban cada uno de los stacks. Se observó, que con el escalado de las CCMs se obtuvo la energía suficiente para alimentar pequeños dispositivos que requieren una baja potencia. Se realizó una prueba de concepto con las celdas tipo “air-breathing” conectando 7 stacks conformados por 16 CCMs a una tira de 220 LED conectados en paralelo (voltaje de operación 2,6 V), siendo suficiente la energía proporcionada por los stacks para su iluminación durante 1 mes (Figura 2).



Figura 2: 220 LEDs iluminados

Conclusiones

De este trabajo se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Hay un claro efecto del tipo de configuración en una CCM y del material de electrodo en la producción de energía y en la depuración de aguas.
- El escalado de las CCMs “air-breathing” produce energía suficiente para el funcionamiento de dispositivos electrónicos.
- La biomasa procedente de las algas puede ser utilizada como combustible para la producción de energía de forma autosostenible.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) a través del proyecto SUNLIVINGENERGY (CTQ2013-49748-EXP).

Referencias

1. Asensio, Y., E. Mansilla, C.M. Fernandez-Marchante, J.Lobato, P. Cañizares, M.A. Rodrigo (2017). “Towards the scale-up of bioelectrogenic technology: stacking microbial fuel cells to produce larger amounts of electricity” *J. Appl electrochem* **47**:1115-1125.
2. Asensio, Y., C.M. Fernandez-Marchante, J. Villaseñor, J.Lobato, P. Cañizares, M.A. Rodrigo (2017). “Algal biomass as fuel for stacked-MFCs for profitable, sustainable and carbon neutral bioenergy generation” *J. Chem Technol Biotechnol*. In press
3. Logan, B. E. (2008). *Microbial Fuel Cells*, Wiley.
4. Logan, B. E., B. Hamelers, R. Rozendal, U. Schröder, J. Keller, S. Freguia, P. Aelterman, W. Verstraete and K. Rabaey (2006). “Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology”. *Environmental Science & Technology* **40**(17): 5181-5192.

5. Mateo, S., M. Rodrigo, L. P. Fonseca, P. Cañizares and F. J. Fernandez-Morales (2015). "Oxygen availability effect on the performance of air-breathing cathode microbial fuel cell." *Biotechnology Progress* **31**(4): 900-907.
6. Mateo, S., F.J. Fernandez-Morales, P. Cañizares, M.A. Rodrigo (2017) "Influence of the Cathode Platinum Loading and of the Implementation of Membranes on the Performance of Air-Breathing Microbial Fuel Cells", *Electrocatalysis*, (2017) 1-8.
7. Pan, K. and P. Zhou (2015). "A hermetic self-sustained microbial solar cell based on *Chlorella vulgaris* and a versatile charge transfer chain." *Journal of Power Sources* **293**: 467-474.
8. Rosenbaum, M. and U. Schröder (2010). "Photomicrobial solar and fuel cells." *Electroanalysis* **22**(7-8): 844-855.
9. Yazdi, H., L. Alzate-Gaviria and Z. J. Ren (2015). "Pluggable microbial fuel cell stacks for septic wastewater treatment and electricity production." *Bioresource Technology* **180**: 258-263.