

# Aplicación de la tecnología de Pilas de Combustible Microbianas en depuración de aguas de origen urbano e industrial con producción simultánea de energía eléctrica

F. Mateo-Ramírez, F.J. Hernández-Fernández, A.P. de los Ríos, H. Addi, L.J. Lozano, C. Godínez  
 Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Politécnica de Cartagena  
 Dr. Fleming s/n 30202 Cartagena. Murcia  
 Teléfono: 968325548  
 e-mail: francisco.mateo@upct.es

**Resumen.** En el presente trabajo se ha estudiado la influencia de las pilas de combustible microbianas (MFCs), sobre la depuración de agua de distinta procedencia, con producción simultánea de energía. Se estudiaron valores para aguas procedentes de industrias como matadero, aceites industriales, de elaboración de zumo de limón y urbanas, con el objeto de comprobar si esta tecnología es una herramienta capaz de introducirse en los tratamientos convencionales de aguas residuales.

## 1. Introducción. Las Pilas de combustible microbianas

Las pilas de combustible microbianas (MFCs, Microbial Fuel Cells) son una biotecnología emergente que podría contribuir a afrontar dos de los problemas más acuciantes a los que se enfrenta la sociedad actual: la crisis energética y la disponibilidad de agua. Una pila de combustible microbiana es un dispositivo que utiliza microorganismos para convertir la energía química contenida en un medio hidrocarbonado en energía eléctrica. El dispositivo (Figura 1) es un reactor electroquímico en cuyo ánodo los microorganismos descomponen la materia orgánica produciendo electrones y protones.

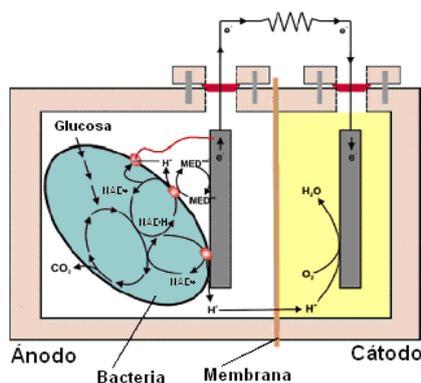


Fig. 1. Esquema del principio de funcionamiento de una pila de combustible microbiana.

La generación de corriente eléctrica se hace posible al mantener los microorganismos separados de oxígeno o cualquier otro extremo aceptor terminal de electrones que no sea el ánodo y esto requiere una cámara anódica anaeróbica. Los electrones generados se hacen circular por un circuito externo produciendo energía eléctrica. Los protones atraviesan la

membrana de la pila y se combinan con los electrones y oxígeno en el cátodo produciendo agua. El resultado es la descomposición de la materia orgánica con que se alimenta el ánodo y la producción simultánea de energía eléctrica. [1][2].

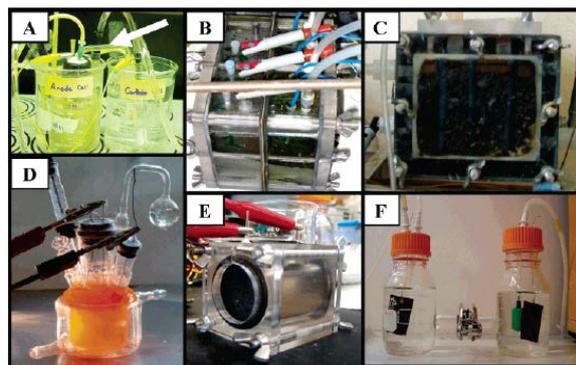


Fig. 2. Tipos de MFCs utilizadas en experimentos: A. Construcción de doble cámara conectada por puente salino. B. Compartimento de cuatro cámaras separadas por una PEM y unidas por pernos. C. Sistema igual que B pero con flujo de agua constante a través del ánodo (matriz granular de grafito). D. Tipo de MFC fotoheterotrófica. E. Sistema simple de una sola cámara con cátodo al aire. F. Sistema de MFC de doble cámara en "H", equipado con sistema de inertización y oxigenación en ánodo y cátodo respectivamente [3].

Existen muchas y diversas configuraciones posibles para la construcción de MFCs (Figura 2). Un diseño ampliamente utilizado y barato es una MFC con dos compartimentos construidos en una forma tradicional de "H", consistiendo generalmente en dos botellas conectadas por un tubo que contiene un separador que es generalmente una membrana de intercambio catiónico (CEM) por ejemplo Nafion® o Ultrex® o simplemente un puente salino (la Figura 2. F y 2. A, respectivamente). La clave de este diseño está en elegir una membrana que permita que los protones pasen de un compartimento a otro (la CEM también se llama membrana de intercambio protónico, PEM), pero lo ideal sería elegir una PEM que no permita el paso del sustrato ni de los electrones a la cámara

catódica (normalmente disolución tampón o al aire). Los sistemas con forma en “H” son aceptables para la investigación de parámetros básicos, como producción de energía por uso de nuevos materiales, temperatura óptima de funcionamiento, o estudio de tipos de comunidades microbianas que se presentan durante la degradación de compuestos específicos; pero se obtienen bajas densidades de potencia del producto.

Otra configuración utilizada son las pilas de una cámara Fig. 2. C y E). No es necesario poner el cátodo en agua, ni tampoco separar los compartimientos anódico y catódico cuando se emplea oxígeno como aceptor de electrones, ya compartimiento que el cátodo se puede poner en contacto directo con el aire. Estas, por su carácter más económico y de mayor rendimiento energético, son las que se utilizarán en el presente trabajo.

De igual manera, estas configuraciones han sido utilizadas en estudios de temperatura [4]. Se hace, por tanto, necesaria la necesidad de establecer un estudio sobre el efecto de efluentes de distinto origen en la tecnología de las pilas de combustible microbianas.

## 2. Materiales y métodos

Para cada experimento se utilizaron dos réplicas [5] de pilas de combustible compuestas por un ánodo y cátodo unidos entre sí mediante una resistencia de  $1\text{ K}\Omega$  y una membrana líquida basada en líquidos iónicos. Así mismo se realizaron medidas de DQO antes, durante y después de cada experimento para evaluar la eliminación de materia orgánica presente en el agua residual.

### 2.1. Ánodo

La cámara anódica estará compuesta por un reactor encamisado para mantener constante la temperatura del sistema, el agua residual y gránulos de grafito (donde se depositará la biopelícula).

Como sustrato, se utilizaron aguas residuales de distinta procedencia: industrial (matadero, de zumo de limón, Aceites Industriales) y urbana (de una EDAR). Las condiciones iniciales de Demanda Química de Oxígeno soluble (DQO<sub>sol</sub> (mg/l)), quedan reflejadas en la Tabla 1.

### 2.2. Cátodo

Para el cátodo se utilizó platino depositado sobre tela de carbón ( $0.3\text{ mg Pt cm}^{-2}$ ).

### 2.3. Membrana

Se utilizaron membranas líquidas soportadas sobre líquidos iónicos [6]. En este caso, el líquido iónico utilizado fue Metiltriocetilamonio Cloruro (MTOACl) en un porcentaje del 70% de líquido iónico frente al 30% de PVC.

Tabla 1. Medidas iniciales de DQO.

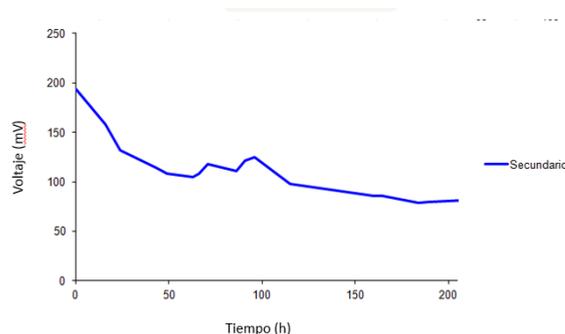
Origen	DQO (mg/l)
Matadero	5520
Zumo de limón	2440
Aceites Industriales	1760
Urbana	352

## 3. Resultados

### 3.1. Voltaje

El voltaje se midió cada 4 horas. Los resultados pueden observarse en la figura 3.

a)



b)

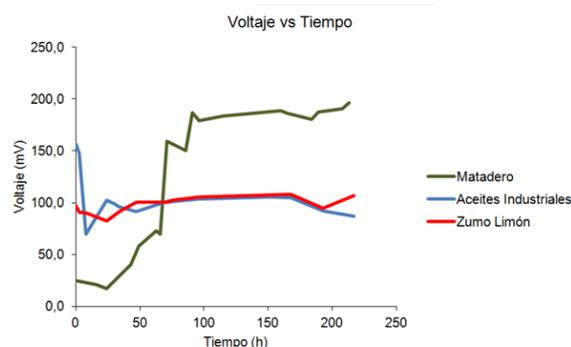


Fig. 3. a) Voltaje vs tiempo en pilas de combustible microbianas con aguas residuales urbanas. b) Idem para aguas procedentes de fuentes industriales.

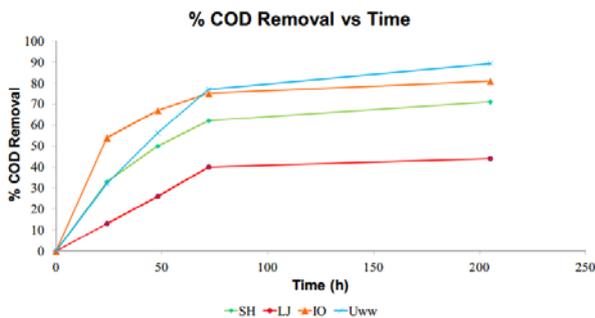
Como característica principal se observa un crecimiento en el voltaje en el agua procedente de un matadero a partir de las 72 horas. Este comportamiento puede explicarse debido al hecho de que es a partir de este momento cuando se produce una degradación de la materia orgánica presente en esta agua lo que sirve de sustrato para el crecimiento bacteriano. En el caso del resto de aguas residuales el comportamiento es prácticamente el mismo que en aguas urbanas.

### 3.1. Eliminación de DQO<sub>sol</sub>

En la figura 4 puede observarse el porcentaje de eliminación de DQO soluble presente en el agua residual durante todo el experimento.

En este caso, aunque la eliminación es más rápida con el agua residual procedente de Industrias

fabricantes de aceites industriales, es finalmente la urbana la que mejores rendimientos presenta de eliminación de DQO soluble. Es probable que el sustrato presente en este tipo de agua sea susceptible de ser aprovechado en mayor medida por la actividad bacteriana.



**Fig 4.** Porcentaje de DQOsol eliminado en función del tiempo. SH (Matadero), LJ (Zumo de Limón), IO (Aceites industriales) Uww (Agua residual de EDAR).

## 4. Conclusiones

Se comprobó que las membranas poliméricas de inclusión pueden utilizarse con aguas de distinta procedencia industrial en pilas de combustible microbianas obteniendo, en algunos casos, resultados mayores que en el caso de aguas residuales de origen urbano.

Así mismo, en el caso del agua residual procedente de un matadero se comprobó que existe una relación entre el tiempo de residencia y el crecimiento bacteriano en el reactor, de tal manera que se produce un incremento en la generación de energía eléctrica.

En el caso de la depuración de agua, en el tiempo que duró el experimento el mayor porcentaje de eliminación se produjo en el caso de aguas residuales de origen urbano, aunque el dato obtenido en el rendimiento eléctrico de las pilas con efluentes de matadero, hace suponer que con mayor tiempo de

experimento se hubieran conseguido mayores porcentajes de depuración.

Aunque la tecnología de las Pilas de Combustible Microbianas es una tecnología que aún se encuentra en una fase emergente, este estudio demuestra que pueden suponer una herramienta a tener en cuenta para su inserción en los tratamientos de agua convencionales tanto en depuradoras urbanas como industriales.

## Referencias

- [1] Na Lu, S. et al. *Biochemical Engineering Journal* 43 (2009) 246–251.
- [2] Manaswini Behera, P. S. et al. *Bioelectrochemistry* 79 (2010) 228–233.
- [3] Logan, B.E.; Hamelers, B.; Rozendal, R.; Schrorder, U.; Keller, J.; Freguia, S.; Aelterman, P.; Vestraete, W.; Rabaey, K. *Microbial fuel cells: Methodology and technology*. 2006. *Environmental Science & Technology*. Vol 40 (17), pág. 5181-5192.
- [4] A. Larrosa-Guerrero, K. Scott, I.M. Head, F. Mateo, A. Ginesta, C. Godínez Effect of temperature on the performance of microbial fuel cells, *Fuel* 89 (2010) 3985–3994,
- [5] A. Larrosa, K. Scott, I.M. Head, K. Katuri, L.J. Lozano, C. Godínez, On the repeatability and reproducibility of two-chambered microbial fuel cells, *Fuel* 88 (2009) 1852-1857
- [6] L.J. Lozano, C. Godínez, A.P. de los Ríos, F.J. Hernández-Fernández, S. Sánchez-Segado, F.J. Alguacil, Recent advances in supported ionic liquid membrane technology, *Journal of Membrane Science* 376 (2011) 1-14.