

Física y Medio Ambiente

JUAN PEDRO BOLIVAR RAYA
(Ed.)



Universidad de Huelva
PUBLICACIONES

2001

©
Servicio de Publicaciones
Universidad de Huelva
©
Juan Pedro Bolívar Raya
(Ed.)

Tipografía

Textos realizados en tipo Garamond de cuerpo 10/12, notas en Garamond de cuerpo 8/10 y cabeceras en versalitas de cuerpo 8.

Papel

Offset industrial ahuesado de 120 g/m²

Encuadernación

Rústica, cosido en hilo vegetal.

Printed in Spain. Impreso en España.

I.S.B.N.

84-95699-10-9

Depósito Legal

H - 171 - 2001

Imprenta

Artes Gráficas Bonanza, S.L.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito del Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva.

C.E.P.

Biblioteca Universitaria

Física y medio ambiente / Juan Pedro Bolívar Raya (ed.).

-- Huelva : Universidad de Huelva, D.L. 2001.

104 p. : 21 cm. + 1 CD-ROM. -- (Collectanea (Universidad de Huelva) ; 49)

ISBN 84-95699-10-9

1. Aire - Contaminación 2. Residuos radiactivos -

Aspecto del medio ambiente I. Bolívar Raya, Juan Pedro

II. Título III. Universidad de Huelva. IV. Serie

504.3.054

621.039.504

ÍNDICE

PREFACIO	9
ARQUITECTURA, CIUDAD Y MEDIOAMBIENTE	
Dr. JAIME LÓPEZ DE ASLAÍN	13
ACÚSTICA AMBIENTAL	
FRANCISCO GARCÍA MARTÍN	29
PILAS DE COMBUSTIBLE	
M ^a ÁNGELES MARTÍN PRATS	39
DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA	
José LUIS MAS BAIBUENA	47
TÉCNICAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE CONTAMINANTES GASEOSOS	
Dr. JESÚS LUIS DÍAZ BLANCO	55
LOS RESIDUOS RADIATIVOS EN LAS CENTRALES NUCLEARES	
FERNANDO ÁLVAREZ MIR	67
ORIGEN, INVENTARIOS Y COMPORTAMIENTO DE LA RADIATIVIDAD ARTIFICIAL EN EL MEDIOAMBIENTE	
Dr. RAFAEL GARCÍA-LENORIO GARCÍA-BALMADEA	79
RADIATIVIDAD AMBIENTAL: EFECTOS Y APLICACIONES	
Dr. JUAN PEDRO BOLÍVAR RAYA	89

- GARCÍA RODRÍGUEZ A. La contaminación sonora en la Comunidad Valenciana, Ed. Consell València de Cultura, 1995.
- HARRIS C.M. Manual de medidas acústicas y control de ruido, Ed. McGraw-Hill Iberoamericana, 1995.
- Informe de Científicos Expertos de la OCDE. Reducción de ruidos en el entorno de las carreteras, Ed. Centro de Publicaciones del MOPMA, 1995.
- JIMÉNEZ CUESTA E. Contaminación ambiental de tipo físico: ruido y ondas electromagnéticas de baja frecuencia, Ed. Universidad de la Coruña, 1993.
- KURTZE G. Física y técnica de la lucha contra el ruido, Ed. Urmo, 1969.
- LANAS P.M. Conocimiento, evaluación y control del ruido. Asociación para la prevención de accidentes, 1991.
- LAWRENCE, A. Acoustics and the built environment. Ed. Elsevier Applied Science. Londres, 1989.
- MOPMA. Norma básica de edificación CA-88, Madrid, 1994.
- MUÑOZ SANCHE M. Anteproyecto de ordenanza sobre protección de medio ambiente urbano contra la emisión de ruidos, Ed. Instituto de Estudios de la Administración Local, 1984.
- OCHOA J.M. y BOLAÑOS F. Medida y control del ruido, Ed. Marcombo, 1990.
- RECUERO PÉREZ M. Ingeniería Acústica, Ed. Paraninfo, 1995.

PILAS DE COMBUSTIBLE

M^a Ángeles Martín Prats
Universidad de Huelva

1. INTRODUCCIÓN

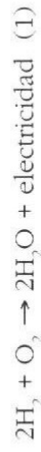
La situación energética actual se caracteriza por el uso inadecuado y la escasez de reservas de combustibles fósiles. El crecimiento futuro de la población, combinado con el incremento previsto de consumo energético per cápita a nivel mundial, supondrá un incremento alarmante del consumo. Será necesario por tanto, emprender acciones para lograr un ahorro energético generalizado, reducir la contaminación de los procesos convencionales y aumentar el uso de las energías renovables. La evolución socioeconómica obliga a pasar por sistemas de transformación energética que permitan ir abandonando paulatinamente los combustibles fósiles, mientras que otras formas energéticas lleguen a niveles competitivos, como es el caso de las energías renovables.

Las pilas de combustible son tecnologías de transformación que pueden utilizar combustibles fósiles y resultarán útiles en el futuro en un uso combinado con las energías renovables, utilizando el hidrógeno del agua. Además, sus actuales tendencias permiten su utilización en transporte, uso doméstico e industria. La limitación actual a la generalización de estos sistemas está en que al ser su desarrollo muy reciente aún no se han reducido los costes hasta niveles competitivos. Las pilas de combustible presentan un

amplio espectro de aplicaciones en campos de gran actividad económica, que explican el interés y la implicación de los sectores industriales, eléctricos y gasistas en investigación, desarrollo y financiación de proyectos basados en esta tecnología.

2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE PILAS DE COMBUSTIBLE

Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico que transforma directamente la energía química resultante de una reacción de oxidación de un combustible en energía eléctrica, sin tener que convertirla antes en energía térmica. El combustible utilizado en la reacción electroquímica es hidrógeno y el comburente oxígeno o aire. Los reactivos (combustible y agente oxidante) se conducen a los electrodos de forma continua. Los únicos productos de reacción son agua, energía eléctrica y calor. La reacción electroquímica que tiene lugar en la célula de combustible es la reacción contraria a la electrolisis.



En condiciones normales esta reacción es explosiva. Sin embargo, se regula por medio de catalizadores para que se desarrolle de forma lenta y controlada, evitando así la excesiva cesión de calor.

Físicamente, una celda de combustible consiste en dos electrodos separados por un electrolito. El electrolito debe ser altamente permeable a un ión que es un intermediario de carga en la reacción de oxidación del combustible. El hidrógeno es oxidado en el ánodo (polo negativo) y el oxígeno o aire en el cátodo (polo positivo) de una celda de combustible simple. Se dispersan catalizadores en el ánodo para acelerar la oxidación de las moléculas de hidrógeno en iones de hidrógeno H^+ y electrones. Los iones de hidrógeno se dirigen al cátodo a través de una membrana y allí el catalizador del cátodo permitirá combinar los iones de hidrógeno, electrones y oxígeno para producir agua. Las pilas de combustible están compuestas por celdas de combustible ele-

mentales conectadas en serie o en paralelo. Existen unas placas bipolares para interconectar las celdas y tienen dos funciones: transmitir los electrones a través de las celdas elementales y disipar el calor al medio externo.

El flujo de electrones a través de un circuito externo produce corriente eléctrica continua (DC) que puede ser utilizada directamente para aplicaciones de DC o bien transformada mediante un inversor para aplicaciones en las cuales se precise corriente alterna (AC).

3. CLASIFICACIÓN DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

Los sistemas de pilas de combustible se pueden clasificar de acuerdo a la temperatura de operación: alta, media y baja (ambiente) o según la presión de operación: alta, media o baja (ambiente). También se pueden clasificar atendiendo al tipo de combustibles y/o oxidantes que utilizan: reactivos gaseosos, combustibles líquidos o combustibles sólidos. Sin embargo, por razones prácticas los sistemas de pilas de combustibles se suelen clasificar según el tipo de electrolito utilizado. Así, en las publicaciones es usual encontrar los siguientes nombres y abreviaciones referentes a las distintas celdas de combustible que existen actualmente: celdas de combustible alcalinas ("alkaline fuel cells", AFC), celdas de combustible de ácido fosfórico ("phosphoric acid fuel cells", PAFC), celdas de combustible de carbonatos fundidos ("molten carbonate fuel cells", MCFC), celdas de combustible de óxidos sólidos (solid oxide fuel cells", SOFC) y celdas de combustible de membrana de intercambio protónico ("proton exchange membrane fuel cells", PEMFC).

La siguiente tabla muestra la clasificación de pilas de combustible atendiendo a la temperatura de operación y al tipo de electrolito utilizado.

Tipo	Temperatura	Electrolito	Rendimiento	Aplicaciones
Alcalina (AFC)	Inferior a 120°C	KOH (35%)	60%	Espacial, militar, generación portátil, automoción
Polímero (PEMFC)	Inferior a 100°C	SPE	60%	Espacial, militar, generación portátil, automoción
Ácido Fosfórico (PAFC)	200°C	Ácido Ortofosfórico	50, 80%	Producción de electricidad distribuida, Cogeneración
Carbonatos Fundidos (MCFC)	650°C	$\text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{K}_2\text{CO}_3$	60, 90%	Producción electricidad base y distribuida
Oxidos Sólidos (SOFC)	1000°C	Zr estabilizado	60, 90%	Producción electricidad base

Tabla I. Clasificación de las pilas de combustible

En la tabla II se muestran las reacciones electroquímicas típicas en los distintos tipos de pilas de combustible.

Pila de Combustible	Reacción en Ánodo	Reacción en Cátodo
AFC	$\text{H}_2 + 2(\text{OH})^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	$1/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2(\text{OH})^-$
PEFC	$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
PAFC	$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	$1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
MCFC	$\text{H}_2 + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$	$1/2\text{O}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-}$
SOFC	$\text{H}_2 + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	$1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}^{2-}$

Tabla II. Reacciones electroquímicas en pilas de combustible

La potencia requerida en la tecnología de celdas de combustible se alcanza aumentando el área de la celda y combinando un número de celdas de combustible elementales tanto en serie como en paralelo formando lo que se conoce como pila de combustible (o stack). De esta manera es posible obtener un módulo de celdas de combustible con las características eléctricas deseadas. Si se conectan las células

en serie se obtiene mayor tensión de salida, mientras que, si la conexión se realiza en paralelo se obtendrá una mayor intensidad. Las pilas de combustible se conectan para dar lugar a una planta de potencia de pilas de combustible.

En sistemas con pilas de combustible es posible seleccionar un voltaje de operación de forma que se minimice el peso total del sistema, alcanzando una potencia máxima por unidad de peso.

La tensión medida en bornas de una celda o de una pila de combustible es función de la intensidad de carga requerida. El voltaje en circuito cerrado será menor que en circuito abierto debido a las pérdidas irreversibles en los procesos que tienen lugar en la reacción electroquímica.

4. EFICIENCIA DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

Actualmente, la producción de electricidad a partir de cualquier combustible se realiza según un ciclo térmico que supone transformar la energía química en energía mecánica que finalmente se transforma en energía eléctrica. Aunque el rendimiento global de los ciclos térmicos convencionales puede optimizarse mediante diversos procedimientos (cogeneración, ciclos combinados, etc.), su rendimiento máximo viene limitado por el ciclo de Carnot.

En contraste, las pilas de combustible permiten generar electricidad directamente a partir de la energía química de un combustible. Por tanto, no se encuentran sujetas a la limitación de Carnot. El rendimiento se encuentra únicamente limitado por el estado actual de la tecnología. En teoría es posible construir pilas con un 80-90% de eficiencia. En la práctica se han conseguido rendimientos superiores al 60% en la conversión de electricidad. Además, los niveles de temperatura empleados permiten coger energía con una ventajosa relación de energía eléctrica/térmica de 1/1 y superior. Los sistemas de pilas de combustible son utilizados a menudo como sistemas de cogeneración y normalmente la eficiencia total incluye la eficiencia térmica y eléctrica.

La eficiencia total de un sistema de pila de combustible incluye el bombeo del combustible, el material de oxida-

ción y también la energía necesaria para calentar, enfriar, comprimir, tubos de electrolito e instalaciones auxiliares. Los datos exactos dependen del diseño del sistema y sóla mente se pueden obtener experimentalmente.

5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE FRENTE A OTRAS TECNOLOGÍAS

Entre las ventajas más notables podrían destacarse las siguientes:

Alta eficiencia. El rendimiento térmico de las mejores turbinas de vapor o gas es menor al 40% operando a una potencia mayor de 100 Mw, mientras que este rendimiento es superado por las pilas de combustible y mantenido incluso operando a 25 Kw.

Modularidad. Su construcción modular reduce los costes de montaje garantizando un adecuado control de calidad. Sin hacer grandes inversiones se puede incrementar la potencia conforme aumenta la demanda.

Muy bajo nivel de contaminación. La reacción electroquímica no es contaminante. Los bajos niveles de NOx detectados provienen del quemador interno necesario para la reacción del reformado (<3 ppm).

Por la alta eficiencia que presenta, también la cantidad de CO₂ por Kwh producido es menor.

Bajo nivel de ruido. Al carecer de componentes móviles se reduce considerablemente la contaminación acústica, así como los fallos de operación y el mantenimiento. Según los estudios realizados éstos no superan los 60 dB a 10 m de la instalación.

Facilidad de instalación. No requieren grandes obras de infraestructura en su instalación. Los sistemas con pilas de combustible presentan la posibilidad de poder ser instalados en el mismo lugar de uso, disminuyendo así las pérdidas por transmisión y distribución.

Diversidad de aplicaciones. Producción masiva de electricidad, generación de electricidad de modo disperso, uso en automoción, uso portátil, etc.

Admisión de diversos combustibles. Cualquier combustible que contenga H₂ en su composición es válido para el reformado.

Bajo mantenimiento.

A continuación se enumeran las principales desventajas o inconvenientes que presentan las pilas de combustibles frente a otras tecnologías ya establecidas:

Alto coste. Precios pocos competitivos con las tecnologías convencionales (turbinas o motores), pues se trata de una tecnología en desarrollo y además aun hay pocas unidades demandadas.

Sensibilidad a contaminantes. Para favorecer la reacción, los electrodos llevan Pt como catalizador, que se envenena con compuestos de azufre. Actualmente se está tratando de eliminar estos catalizadores por otros más resistentes que alarguen la vida útil de la pila, disminuyendo así el coste.

Tecnología en desarrollo. Todavía quedan muchos problemas por resolver: fiabilidad de la pila, vida útil,...

6. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

La generación de electricidad empleando pilas de combustible consigue una importante reducción de contaminación respecto a la generación de electricidad de forma convencional. Esto es debido fundamentalmente a dos factores:

- El mayor rendimiento conlleva que para producir la misma cantidad de electricidad se consume menos cantidad de combustible. Por tanto, la emisión de diversos contaminantes traza, hidrocarburos, CO₂ y contaminación térmica serán siempre menores.
- En vez de una combustión se emplea un reformado para producir hidrógeno y una reacción electroquímica a menor temperatura, con menor producción de NO_x y otros contaminantes traza.

En definitiva, las propias exigencias tecnológicas pueden redundar en una absoluta reducción de la contaminación, que unido a su mayor eficiencia de transformación conducirá también a una menor producción de dióxido de

carbono y un menor consumo de combustibles fósiles. Esta tecnología permite su instalación en lugares próximos a la población, eliminándose con ello las pérdidas en el transporte energético y las posibles alteraciones introducidas por los sistemas de transporte. Además, al no contar con partes móviles la contaminación acústica es casi nula.

7. CONCLUSIONES

Dadas las ventajas que presentan estas tecnologías y los retos que deben resolver los países desarrollados, las pilas de combustible serán a medio plazo unos equipos tan comunes como lo son hoy en día la cogeneración con turbinas o con motores.

Todos los pronósticos apuntan al año 2020 como objetivo temporal en el que las pilas de combustible llegarán a su plenitud tecnológica y comercial.

8. BIBLIOGRAFÍA

- G.J.Young, Alfred University, Alfred, New York. "Fuel Cells". Reinhold publishing corporation New York, 1960.
- Karl Kordesh, Günter Simader. "Fuel Cells and their applications". Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo: VCH, 1996.
- Will Mitchel, JR., "Fuel Cells". Academic Press INC., 1963
- F.Barbir and T.Gómez, "Efficiency and economics of proton exchange membrane (PEM) FUEL CELLS". *Int. J. Hydrogen Energy* vol.21. NO. 10, pp 891-901, 1996.
- J.M.Carrasco, E.Galván, F.P.Ridao, F.Barrero, L.G. Franquelo. "Microcomputer Control of a Fuel Cell Power System". *20th International Conference on Industrial Electronics control and Instrumentation (IECON'94)*, pp.473-478. Bolonia, 1994.

DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA

José Luis Mas Balbuena
Universidad de Huelva

El creciente interés en los temas ambientales lleva a considerar el fenómeno de la dispersión de los contaminantes en la atmósfera. Su interés es evidente pues ésta es una de las formas más espectaculares y abundantes de contaminación de origen industrial.

El intento de describir desde el punto de vista físico el comportamiento, aunque sea de forma simplificada, de la contaminación atmosférica, llevó al establecimiento de una serie de modelos. En las condiciones en que tales modelos puedan suponerse válidos, permiten predecir el comportamiento del contaminante en la atmósfera, con las ventajas que ello conlleva desde el punto de vista ecológico, social y económico.

Dichos modelos establecen, matemáticamente (y, por lo tanto, a través de un conjunto de ecuaciones), las variaciones con el tiempo y la posición de la masa de contaminante. Para encontrar la dependencia explícita de dicha concentración con la posición y el tiempo, es necesario resolver estas ecuaciones, y esto no siempre es posible, por lo que se establecen aproximaciones que permiten al menos tener una idea de ésta.

La descripción del comportamiento en la atmósfera de esta contaminación, pasa necesariamente por una revisión