

# Las celdas de combustible y el futuro energético en Latinoamérica y el Caribe

Por la Ing. María M. Reidpath, United States Department of Energy

Las celdas de combustible constituyen una tecnología revolucionaria que posee el potencial de modificar fundamentalmente la naturaleza de la generación de energía eléctrica.

Durante el 3º Congreso Latinoamericano y del Caribe de Gas y Electricidad realizado en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, fue presentado el trabajo técnico "Las celdas de combustible y el futuro energético en Latinoamérica y el Caribe" que resultó premiado como uno de los mejores que se expusieron. La que sigue es una síntesis y adaptación del mismo realizado por su autora.

Las celdas de combustible constituyen una tecnología revolucionaria que posee el potencial de modificar fundamentalmente la naturaleza de la generación de energía eléctrica. Lo que hace únicas a las celdas de combustible es que pueden producir energía de alta calidad a partir de combustibles de hidrocarburos sin combustión. Para el caso en que el combustible sea hidrógeno puro y el oxidante sea oxígeno puro, los únicos productos finales de una celda de combustible son energía eléctrica, calor residual y agua. En los últimos años se ha producido un tremendo aumento en el interés sobre las celdas de combustible. El Banco Mundial estima que actualmente se están invirtiendo US\$ 1000 millones por año en I&D para celdas de combustible.

Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico en el cual la energía química es convertida directa-

mente en energía eléctrica. En la celda de combustible conductora de protones, el hidrógeno es ionizado en el ánodo y migra a través del electrolito de la celda de combustible. Los electrones no pueden pasar por el electrolito y así, a medida que son generados, se desplazan energizados a través del circuito externo. La electro-neutralidad queda preservada. Todo esto sucede espontáneamente y la energía química se convierte en energía eléctrica. Debido a que no hay combustión involucradora, las emisiones de la celda de combustible son 100-1000 veces más bajas que lo requerido por las leyes de los Estados Unidos. Uno de los tres componentes principales de una celda de combustible, el procesador de combustible, convierte el combustible del gas de relleno sanitario, el gas de diges-

tores anaeróbicos, el gas natural, el combustible diesel, combustible para aviones a chorro, metanol, etanol, propano, etc. en el hidrógeno requerido por la celda de combustible. El módulo de energía contiene la chimenea de la celda de combustible. Finalmente, el inversor, que se requiere generalmente, convierte la energía de CC (Corriente continua) producida por la celda de combustible en energía eléctrica de CA (Corriente alternada).

Existen cuatro tipos de celdas de combustible, con un intenso y diseminado desarrollo global: la celda de combustible a ácido fosfórico (PAFC)<sup>1</sup>, la celda de combustible de carbonato fundido (MCFC)<sup>2</sup>, la celda de combustible a óxido sólido (SOFC)<sup>3</sup>, y la celda de combustible de membrana de polímero (PEMFC)<sup>4</sup>. Se diferencian entre ellas por

la temperatura de operación y por el tipo de electrolito. En los Estados Unidos, el Departamento de Energía (DOE)<sup>5</sup> ha desempeñado un gran rol financiero en el desarrollo de la tecnología de las celdas de combustible. El presupuesto para 2002 de la Oficina de Energía Fósil del DOE para el programa de la celda de combustible, administrado por el Laboratorio Nacional de Tecnología Energética (NETL)<sup>6</sup>, fue de US\$ 52,1 millones. La mayor parte del financiamiento apoya a los socios industriales con materiales, reformado de combustible y otras áreas de I&D.



María Reidpath



Las PAFC, son la “primera generación” comercial de celdas de combustible. La experiencia con más de 200 unidades PAFC instaladas y en operación en todo el mundo, específicamente la celda de combustible PC25, producida por UTC *Fuel Cells*, ha demostrado claramente la viabilidad técnica y la superioridad ambiental del concepto de la celda de combustible. Hasta hoy, ellas han acumulado más de 4 millones de horas de operación y 4 millones de clientes.

La celda de combustible PAFC consiste en electrodos hechos con papel carbónico recubierto de un catalizador de platino finamente dispersado. Este catalizador quita los electrones del combustible, enriquecido en hidrógeno, en el ánodo, los que son luego transportados por un electrolito líquido de ácido fosfórico soportado por una matriz de carburo de silicio hasta el cátodo. La celda PC25 que opera a una temperatura de 200°C resulta, en la generación de vapor, suficiente para aplicaciones en el espacio y en el calentamiento de agua. Cuando se la usa así, la eficiencia del sistema de combustible puede llegar al 80%. Con todo, la eficiencia del combustible de la PAFC es relativamente baja en diseños de ciclo único (sólo un 37-42%), se requiere de reformado externo del combustible y los costos de material son altos. Aún así, UTC *Fuel Cell* recibe el crédito de ser pionera en el despliegue de la celda de combustible.

Los sistemas de Carbonato Fundido

(MCFC) y de Óxido Sólido (SOFC) son conocidos como celdas de combustible de “segunda generación”. Ambas unidades sacan provecho de las más altas temperaturas operativas para lograr una significativa reducción de costos a través de mejoradas eficiencias de combustible y térmicas. Los electrodos de la MCFC utilizan catalizador de níquel en lugar del más costoso platino. Las altas temperaturas (650°C) permiten el reformado directo e interno del combustible (el combustible de hidrógeno se extrae del gas natural de adentro de la celda sin necesidad de un proceso externo separado). El electrolito de la MCFC es una sal de carbonato líquido que es potencialmente móvil y corrosiva y, por lo tanto, está controlada dentro de una matriz de cerámica. La ganancia de eficiencia realizada por la MCFC es significativa, oscilando desde 45% hasta un 60% en sistemas de celda única.

El rendimiento ambiental también se ve aumentado, a medida que las mayores eficiencias se traducen directamente en emisiones de CO<sub>2</sub> más bajas por unidad de energía producida. Finalmente, las mayores temperaturas operativas hacen también del MCFC un sistema superior para aplicaciones de ciclo combinado (uso del vapor de escape para el calentamiento de la producción incremental de energía). FuelCell Energy Inc. (FCE) es el socio industrial del DOE que trabaja en desarrollo de la tecnología de celdas de combustible de

carbonato fundido. La empresa construyó una planta industrial de 5-megawatts al año, en Torrington, Connecticut, y espera aumentar su capacidad diez veces, a 50 MW por año, dentro de los próximos 5 años.

Las SOFC usan un electrolito de óxido metálico (circonio revestido) sólido, no poroso, que contribuye a la alta confiabilidad esperada para la unidad y le permite alcanzar temperaturas operativas tan altas como los 1000°C. Estas temperaturas aumentan más el rendimiento en sistemas de ciclo combinado, permitiendo aún una mayor flexibilidad en la elección del combustible. A semejanza de las MCFC, las SOFC logran eficiencias en combustible del 60% en sistemas de celda única, y hasta un 85% cuando forman parte de una aplicación a ciclo combinado. La Siemens-Westinghouse Power Corporation (SWPC) ha demostrado exitosamente sistemas SOFC tubulares.

Un sistema de energía combinado de calor y energía de SOFC tubular operando en los Países Bajos muestra una eficiencia eléctrica del 45% y una eficiencia térmica del 74%. La unidad operó 16.000 horas con emisiones de NO<sub>x</sub> y otros contaminantes a los límites de detección. Las PAFC y las MCFC han logrado rendimientos ambientales similares.

El DOE mantiene un muy pequeño programa estacionario para celdas de combustión de Membrana de Intercambio Protónico (o Polímero) en los EE.UU., a diferencia del Japón, por ejemplo, donde el gobierno tiene un gran compromiso con la tecnología. Sin embargo, quienes desarrollan las PCFC, financiadas por la bolsa, están intentando atacar a la mayor parte de los mercados –comercial, construcción, residencial, unidad de energía auxiliar (APU)<sup>7</sup>, microrredes, propulsión para transporte y reemplazo de baterías–. En los EE.UU. existen, solamente, unos 44 desarrollos de PEMFC.

Las PEMFC operan a bajas temperaturas, de alrededor de 85°C y tienen una alta densidad energética. La membrana de intercambio protónico es una



delgada hoja de plástico que permite el paso de los iones de hidrógeno a través de ella. La membrana está revestida, en ambos lados, con partículas muy dispersadas de una aleación metálica (mayormente platino) que son un activo catalizador. El electrolito empleado es un polímero orgánico sólido de ácido poliperfluorsulfónico. Sin embargo, este tipo de celda de combustible es sensible a las impurezas del combustible, y así los desarrollos deben depender del uso de hidrógeno puro como combustible o enfrentar la formidable tarea de reformar y limpiar eficientemente, y en forma económica, los combustibles convencionales como el gas natural.

La razón primaria por la cual las celdas de combustibles no se instalan en aquellos lugares donde existe una necesidad de más energía, es el costo. Durante las últimas tres décadas, se han hecho grandes esfuerzos para desarrollar diseños más prácticos y alcanzables. Pero el progreso ha sido lento. En contraste con las celdas de combustible (~US\$4000/kW), un generador diesel cuesta de 800 a 1500 US\$/kW y una turbina de gas natural puede resultar aún menos.

El DOE ha lanzado una iniciativa mayor para lograr reducciones importantes en los costos de las celdas de combustible. La meta es bajar los costos hasta 400 US\$/kW hacia el final de esta década. Esta iniciativa es denominada la "Alianza de Conversión de Energía al Estado Sólido" (SECA)<sup>8</sup>; el objetivo es desarrollar una celda de combustible modular, enteramente en estado sólido, que pueda ser producida en masa para usos diferentes, como se ha hecho hoy con la fabricación y venta de los componentes electrónicos. Si un módulo común puede producirse para estos vastos mercados, se pueden lograr los grandes volúmenes necesarios para reducir los costos.

Las celdas de combustible resultan una elección óptima para las matrices

energéticas en Latinoamérica y el Caribe. Desde la perspectiva de la diversificación de los conjuntos de energía, las celdas ofrecen un gran potencial como alternativa a la extensivamente usada hidroelectricidad y otras opciones de generación de energía limpia, tales como la solar o la eólica, en la medida en que exista disponibilidad de combustible. Sin embargo, la flexibilidad de las celdas de combustible permite potencialmente el empleo de combustibles disponibles regionalmente como el etanol en Brasil y el gas de la biomasa de rellenos sanitarios, digestores, bagazo y otras fuentes que están disponibles en otras partes. Por supuesto, hay temas tales como el reformado de combustible que todavía están siendo considerados y que son base de investigación en los Estados Unidos, Japón, Europa, lo mismo que en Latinoamérica.

Brasil ha adquirido cuatro celdas de combustible de UTC *Fuel Cells* a través de su representante para Latinoamérica, Sieco S.A. (Argentina). COPTEL, empresa de servicios eléctricos del estado de Paraná, en cooperación con LACTEC, un laboratorio de I&D, compró tres PAFC, las primeras celdas de combustible a ser instaladas en Lati-

noamérica. En forma similar, Petrobras también ha adquirido una PAFC, haciendo de Brasil un mercado emergente principal en la comercialización de celdas de combustible. Muchas instituciones en la Argentina, México, Chile, Colombia y Bolivia han expresado también su interés en la tecnología y desarrollo de celdas de combustible.

Los esfuerzos para la electrificación rural en países en desarrollo es una cuestión de desarrollo social y económico. Mucho se ha dedicado a tratar de electrificar áreas aisladas sin factibilidad económica o sin acceso posible a una red. Aquí, las opciones se han reducido a generadores diesel con sus consiguientes problemas ambientales o a alternativas solares o eólicas, no siempre viables económicamente o con grandes requisitos de mantenimiento. En localidades donde se disponga de gas natural, donde pueda estar disponible, o sobre la ruta de algún gasoducto, las celdas de energía ofrecen otra opción para acceder a la energía eléctrica. Obtener pequeñas cantidades de gas natural de gasoductos de alta presión no resulta muy difícil ni costoso. Es técnicamente posible sacar el gas a lo largo del camino de un gasoducto troncal y



usarlo a los fines de la electrificación rural para beneficio de las poblaciones aisladas sobre la traza del gasoducto.

En forma semejante, otra aplicación de las celdas de combustible se encuentra en el área de la protección catódica. Las celdas de combustible en el rango de 1 a 5 kW pueden sustituir a los pequeños equipos generadores que suministran electricidad para la protección catódica de gasoductos en lugares donde no haya conexión disponible a una red. Aun en aquellos casos en que haya disponibilidad de electricidad, debido a que las celdas de combustible producen electricidad de CC a un voltaje que puede fijarse según la forma en que se las conecte, es ésta una aplicación muy atractiva.

El acceso al combustible puede resultar un desafío mayor para las celdas de combustible mientras que su inherente flexibilidad de combustible es una gran propiedad. Esta flexibilidad ofrece una gran oportunidad para Latinoamérica y el Caribe (LAC) donde existe una infraestructura para combustibles líquidos, con base de hidrocarburos. El gas natural licuado (GNL), el etanol, el propano, son todos combustibles que pueden alimentar una celda de combustible. Compete a las partes interesadas en ser usuarios de la tecnología motivar este desarrollo. Un escenario tendría a las islas del Caribe con su importante industria turística, donde resulta necesaria una electricidad ambientalmente benigna, para poner celdas de combustible en operación para sus necesidades energéticas. Emplear combustibles líquidos transportables sería la solución a los desafíos del acceso a los combustibles a las islas. Similarmente, la producción de etanol está bien desarrollada, con una infraestructura local en Brasil, donde las celdas alimentadas con etanol podrían ser puestas en servicio.



El desarrollo de la tecnología de las celdas de combustible en Latinoamérica sigue un camino con dos senderos: uno es investigación y desarrollo y el otro es la comercialización directa (p.ej., ventas) y la introducción de celdas de combustible como una opción de generación de energía eléctrica. Hay esfuerzos de investigación al presente, principalmente en la Argentina, Brasil, México, donde los recursos técnicos son vastos y donde existe una sólida base de conocimiento. Los científicos e ingenieros de estos países han estado trabajando sobre varios aspectos o investigaciones, como investigación básica y aplicada en electroquímica, síntesis de materiales catódicos, ensayos de celdas únicas, purificación y almacenaje de hidrógeno, etc.

En el otro sendero, la expansión de celdas de combustible comercializadas se está transformando en un esfuerzo crecientemente importante y las empresas de la región son las que producen esta aceleración. No resulta claro si es que los desarrollos internacionales están dependiendo del *know-how* de las empresas latinoamericanas, específicas

de los mercados en desarrollo de la región, o si ellos sienten que necesitan concentrarse en regiones diferentes de Latinoamérica. Sin embargo, lo que se observa es que los principales esfuerzos en la comercialización de celdas de combustible en Latinoamérica están siendo llevados adelante por empresas latinoamericanas.

Durante una reciente reunión organizada por NETL, los delegados latinoamericanos decidieron buscar el establecimiento de un Consejo Latinoamericano de Celdas de Combustible. En principio, el consejo serviría como punto focal para unificar los esfuerzos de todos los participantes, conseguir recursos, evitar duplicación de esfuerzos, ubicar fuentes de financiamiento, y servir de núcleo de información y apoyo para el desarrollo y despliegue en Latinoamérica. Con los esfuerzos para reducir costos que se están haciendo en los Estados Unidos y el interés en la investigación y el maduro mercado latinoamericano, las celdas de combustible están sólo a unos pocos pasos de ser una perspectiva común en todo el mundo. ●

## Referencias

- NETL website: [www.netl.doe.gov](http://www.netl.doe.gov)
- Trabajo presentado al 3<sup>er</sup> Congreso Latinoamericano y del Caribe de Gas y Electricidad, Santa Cruz, Bolivia. 22-24 de abril, 2002. Coautores: María Reidpath y Mark Williams.

El trabajo completo "Fuel Cells and the Energy Future in Latin America and the Caribbean" presentado en el 3<sup>o</sup> Congreso Latinoamericano y del Caribe de Gas y Electricidad, puede ser consultado en la Biblioteca o a través del portal del IAPG: [www.iapg.org.ar](http://www.iapg.org.ar) entrando a Biblioteca y luego a "Consulta de la Base de Datos".

<sup>1</sup> PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cell.

<sup>2</sup> MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell.

<sup>3</sup> SOFC: Solid Oxide Fuel Cell.

<sup>4</sup> PEMFC: Polimer E Membrane Fuel Cell.

<sup>5</sup> DOE: Department of Energy.

<sup>6</sup> NETL: National Energy Technology Laboratory.

<sup>7</sup> APU: Auxiliary Power Unit.

<sup>8</sup> SECA: Solid State Energy Conversion Alliance.