

Programa de celdas de combustible

de la Oficina de Energía Fósil del DOE de Estados Unidos.
Situación en el año 2008 y primeros mercados

Por **Wayne A. Surdoval**

Tecnología de Celdas de Combustible,
Departamento de Energía de EE.UU.



El Laboratorio Nacional de Tecnología Energética (NETL), dependiente de la Oficina de Energía Fósil (FE) del Departamento de Energía (DOE) de EE.UU., en asociación con el sector industrial privado, las instituciones educativas y los laboratorios nacionales, dirige las actividades de investigación, desarrollo y demostración de los sistemas de celdas de combustible de óxido sólido (SOFC), flexibles en términos de combustibles y de alta eficiencia, y los sistemas de generación de energía SOFC basados en el carbón, para las grandes centrales de energía del mercado estacionario. El Programa de Celdas de Combustible FE se divide en tres partes, según la alianza de Conversión de Energía al Estado Sólido (SECA): reducción de costos, sistemas basados en carbón, e investigación y desarrollo. El objetivo de reducción de costos de la alianza SECA es tener sistemas SOFC que puedan ser fabricados a US\$ 400 por kilovatio (kW) para el año 2010. Simultáneamente, el escalamiento, agregado e integración de la tecnología avanzarán en forma paralela, conduciendo a la validación de prototipos de productos flexibles en términos de combustibles, clase megavatio (MW), para el año 2012.

El objetivo de los sistemas a base de carbón de la alianza SECA es el desarrollo de sistemas de potencia de gasificación integrada (IGFC) grandes (de más de 100 MW) que posibilitarán la generación de energía eléctrica accesible, confiable, eficiente y amigable desde el punto de vista del medio ambiente, a partir del carbón. La condición clave de los sistemas, que habrá de alcanzarse para el año 2015, es un nivel de eficiencia general del 50% o superior, en lo que respecta a la conversión de la energía contenida en el carbón en energía eléctrica de red. El Programa Core Technology de la alianza SECA contempla actividades vitales de investigación y desarrollo. Los resultados son alentadores. La primera ronda de prototipos de sistemas SOFC múltiples de la alianza SECA, desarrollados por diversos equipos industriales competidores y fabricados con técnicas escalables de producción en masa, ha superado la primera serie de metas de intensificación de la alianza SECA en cuanto a eficiencia, confiabilidad y costo de producción. Durante el desarrollo de los sistemas SOFC, se están produciendo resultados tecnológicos indirectos de estos sistemas que se traducen en muchas otras aplicaciones y mercados. Uno de los equipos industriales de la alianza SECA, Delphi, y la Marina de los Estados Unidos, han logrado avances notables en materia de desarrollo, en los primeros mercados de las unidades de potencia auxiliar (APU) para camiones y en las pruebas de concepto para vehículos submarinos no tripulados (UUV), respectivamente.

Visión de la alianza SECA

Lanzada en el año 2000 y dirigida por el laboratorio NETL y la Oficina de Energía Fósil, la alianza SECA constituye un esfuerzo de colaboración entre el gobierno, el sector privado y la comunidad científica, que procura ofrecer una visión de la tecnología de celdas de combustible, efectiva en función de sus costos y con un nivel de emisiones casi nulo, para aplicaciones comerciales. Esta visión se está convirtiendo rápidamente en realidad, si bien aún existen desafíos por superar que están siendo resueltos a pasos acelerados gracias al intenso enfoque de la alianza. La alianza SECA provee una gestión coordinada de los recursos científicos, técnicos y manufactureros de todo el país, centrada en la provisión de una respuesta que permita que las celdas de combustible se vuelvan realidad.

El programa de celdas de combustible de la alianza SECA es un elemento crucial de la cartera de tecnologías de la Oficina de Energía Fósil del DOE. Desde la perspectiva de la seguridad energética, el carbón es un recurso primario para reducir la dependencia con respecto a la importación de petróleo y gas natural. Más de la mitad del suministro eléctrico de la nación se genera a partir del carbón y el desarrollo de tecnología para garantizar su uso limpio desde el punto de vista ambiental y amigable desde el punto de vista climático, es de importancia crítica a nivel nacional. La tecnología SECA ofrece un grado de captura de carbono de más del 90%, menos de 0,5 ppm de emisiones de NOx, y menor demanda de agua, todo con una eficiencia carbón-electricidad superior al 50%, sobre la base de un poder calorífico superior (HHV). La meta de la alianza SECA de US\$ 400/kW asegurará que el costo de la electricidad para el usuario no exceda el valor que rige en nuestros días. Al mis-

mo tiempo, los sistemas de la alianza SECA basados en el carbón serán escalados y formarán parte de la tecnología de sistemas de celdas de combustible de óxido sólido (SOFC) para ser utilizados en los sistemas de celdas de combustible de gasificación integrada (IGFC) grandes con fines de generación de energía eléctrica. El programa Core Technology de la alianza SECA ofrece actividades de investigación y desarrollo (I&D) y soporte en lo que respecta a pruebas.

Los éxitos de la alianza SECA

Los resultados son alentadores. La primera ronda de prototipos de los sistemas SOFC de la alianza SECA, fabricados con técnicas escalables de producción en masa, excede todos los objetivos de la Fase I de la alianza en lo que respecta a disponibilidad, eficiencia, tolerancia y costo de producción. La disponibilidad operativa de los sistemas alcanzó el 90%, porcentaje que excede el objetivo del 80% de la Fase I de la alianza. En el sistema de pruebas pequeño, de 5,4 kilovatios (kW), se obtuvo una eficiencia del 41%, superando el objetivo del 35%. Esta eficiencia superior, en un tamaño pequeño, indica la obtención de eficiencias mucho más altas para los sistemas más grandes. Y, lo más importante de todo, el costo del sistema auditado por auditores independientes fue de tan sólo US\$ 46/kW. En el año 2008, la alianza SECA alcanzó su objetivo intermedio de US\$ 600/kW en términos de costos de electricidad. Juntos, estos resultados constituyen un evento decisivo en lo que respecta a la producción en masa de un sistema de generación de energía SOFC a un costo de US\$ 400/kW para el año 2010. El costo del prototipo se acerca al de la energía estacionaria convencional, lo que promueve la visión de una economía orientada por las celdas de combustible, de bajo costo y libres de contaminación.

Recientemente, los análisis del laboratorio NETL demostraron que un sistema IGFC con una celda SOFC presurizada y un proceso de gasificación catalítica con reciclado posibilita un alto grado de eficiencia neta, cercano a un valor HHV del 60%, con un porcentaje de captura de carbono superior al 90%^[1]. La existencia de corrientes

Estos logros no han pasado inadvertidos. La Oficina de Gestión y Presupuesto citó al programa SECA como precursor en lo que respecta a las asociaciones entre el gobierno y la industria.

"El programa SECA apalanca la inventiva del sector privado mediante la provisión de fondos del gobierno a los equipos industriales que desarrollan las celdas de combustible, con la condición de que esos equipos sigan superando una serie de obstáculos rigurosos en términos de desempeño técnico. Esta novedosa estructura de incentivos ha generado un alto grado de competencia entre los equipos y una serie impresionante de enfoques técnicos. El programa SECA desarrolla además ciertas tecnologías básicas que pueden ser utilizadas por todos los equipos industriales para evitar la duplicación de esfuerzos. El programa ha superado sus objetivos, en lo que respecta al desempeño 2005, y está encaminado a satisfacer su meta de disponer de una tecnología económicamente competitiva para el año 2010".

de combustible y aire independientes en el sistema SOFC reduce sustancialmente el volumen de agua requerido para condensar, reciclar y reutilizar el agua de proceso y la ausencia de un ciclo de vapor hace que virtualmente no exista ningún requerimiento de agua externa. Como resultado del alto grado de eficiencia, se mantiene un costo de electricidad económico (COE) también debido a la reducción del volumen de combustible por megavatio-hora y el menor tamaño de la planta. La consecución de los objetivos de la alianza SECA se traduce en la opción de carbón COE más barata, cumpliendo a la vez con la normativa ambiental y proveyendo la capacidad para capturar más del 90% del carbono. Esta tecnología progresa a pasos agigantados en lo que respecta a permitir la producción de energía económica y limpia, a partir del carbón, en cualquier estado de los Estados Unidos.

Colaboración de la alianza SECA

La alianza SECA es única en el sentido de que unifica una diversidad de entidades gubernamentales, del sector privado y de la comunidad científica, que trabajan para la consecución de un objetivo común, y sin embargo conserva un saludable espíritu de competencia que estimula el avance e incentiva la innovación. La alianza SECA cuenta con múltiples equipos industriales-negocios del sector privado con sus intereses puestos en los sistemas SOFC como

productos comerciales. Todos estos equipos operan dentro del Programa de Reducción de Costos de la alianza SECA para generar derivaciones de los primeros productos que logran las reducciones previstas, en términos de costos de los sistemas SOFC, y establecer la infraestructura de material y manufactura necesaria.

Los equipos industriales de la alianza SECA cuentan con el soporte del Programa Core Technology compuesto por universidades, laboratorios nacionales y negocios líderes del país, que trabajan en diversos proyectos SOFC, seleccionados en forma competitiva para proveer soluciones de investigación y desarrollo vitales a los equipos industriales. Las actividades de investigación del Programa Core Technology de la alianza SECA se centran en las siguientes áreas: Cátodos, Ánodos y Contaminantes del Carbón, Interconexiones, Sellos, Pegamentos de Contacto, Materiales y Procesos de Manufactura Interdisciplinarios, Procesamiento de Combustibles, Electrónica de Potencia, Modelado y Simulación, y Balance de Planta, evaluándose y actualizándose constantemente las prioridades de investigación a medida que se adquieren nuevos conocimientos y se producen avances tecnológicos. Esta cartera de actividades de investigación y desarrollo comunes reduce la redundancia ya que pone los resultados a disposición de todos los equipos industriales a través de disposiciones de propiedad intelectual singulares que mejoran la transferencia de tecnología. Como resultado, los equipos industriales de la alianza SECA, que son competidores potenciales en el mercado, extraen un beneficio mu-





Camión de Peterbilt Motors Company con el sistema SOFC como unidad de potencia auxiliar (APU) desarrollada por Delphi e instalada. Puede verse la unidad APU plateada (caja) en el centro de la parte inferior del camión.

tuo de la inventiva colectiva del Programa Core Technology para perseguir, en forma independiente, el objetivo de lograr innovaciones en el diseño de las celdas de combustible.

La alianza SECA incorpora equipos industriales centrados en los sistemas basados en el carbón

A comienzos del año 2005, el programa de la alianza SECA fue acelerado para ofrecer sistemas de celdas de combustible de clase megavatio, en respuesta a la creciente necesidad nacional de contar con tecnologías de captura de carbono de bajo costo junto con el uso más eficiente y más efectivo, en términos de costos, de los combustibles que son abundantes en los Estados Unidos y la necesidad de encarar la reducción del uso del agua

en las centrales eléctricas. En un comienzo, tres equipos industriales –Siemens Power Generation, FuelCell Energy y Versa Power Systems, y General Electric– pasaron de sus proyectos de reducción de costos a los sistemas basados en el carbón para desarrollar sistemas de celdas de combustible para una planta de IGFC con capacidades de 100 megavatios o superiores. En mayo de 2008, el DOE seleccionó dos equipos industriales nuevos: uno dirigido por UTC Power, una sociedad de United Technologies en asociación con Delphi Corporation, y el otro liderado por Rolls-Royce Fuel Cell Systems (U.S.) Inc. El proyecto Rolls-Royce implicará la ejecución de trabajos en el Centro de Prototipos de Celdas de Combustible del Stark State College de Ohio, que cuenta con el subsidio de la Fundación Nacional de Ciencias.

La alianza SECA incorpora Proyectos Core Technology

En mayo de 2008, se seleccionaron nueve participantes nuevos de Core Technology. La investigación indica sistemáticamente que la mayoría de las pérdidas de rendimiento de los sistemas SOFC se concentran en el electrodo de aire (cátodo) que proporciona los electrones para la reacción del gas oxígeno con la celda de combustible. Los siguientes seis proyectos nuevos emplearán conceptos y metodologías de última generación para mejorar la estabilidad y el desempeño de los cátodos de las celdas de combustible: Universidad de Boston, Universidad Carnegie Mellon, General Electric Global Research, Georgia Tech Research Corporation, el Instituto de Tecnología de Massachusetts y la Universidad Estatal de Montana. Tres proyectos más proveerán otras tareas de investigación. Cell-Tech Power desarrollará un análisis de desempeño a nivel sistema y un diseño conceptual para una central eléctrica de carbón directo basada en la celda de combustible con



Sistema de Gestión de la Calidad Certificado
IRAM - ISO 9001 - 2000 R.I 9000 - 845



Carlos Pellegrini Manzana "G" Lote 10J
Parque Industrial Neuquén Este (PIN Este)

Teléfonos:
línea rotativa (0299) 441-3981 Fax (0299) 441-3984
e-mail: pcc@pccomahue.com.ar
www.pccomahue.com.ar



Más de 20 años ofreciendo soluciones.



SOLUCIONES INTEGRALES A LOS PROBLEMAS DE CORROSIÓN GALVÁNICA

ánodos de estaño líquido (LTA). NexTech Materials validará las ventajas anticipadas de la tecnología FlexCell de NexTech, que comprenden un alto grado de desempeño y estabilidad de los combustibles que contienen azufre, la escalabilidad a celdas grandes, y el potencial para un proceso de fabricación de bajo costo. La Universidad de Cincinnati diseñará y demostrará conceptos de sellado innovadores para los sistemas SOFC, utilizando un promotor vidrio viscoso.

Los comienzos de la penetración del mercado de las unidades APU

En junio de 2008, Delphi Corporation y Peterbilt Motors Company efectuaron la demostración exitosa de una unidad SOFC-APU de Delphi utilizada para proveer energía a las funciones de tipo hotel de un camión Modelo 386 de Peterbilt. Durante las pruebas llevadas a cabo en la oficina central de Peterbilt, en Texas, el sistema SOFC de Delphi proporcionó la energía para el sistema eléctrico y el equipo de aire acondicionado del Modelo 386 y abasteció las baterías del camión, todo con el motor diesel del Modelo 386 apagado.

Esta demostración apalancó el desarrollo sustentado por la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable (EERE) del Departamento de Energía de EE.UU. y el programa SECA de la Oficina de Energía Fósil. La tecnología SOFC de Delphi aborda directamente la legislación *anti-idling* (legislación que prohíbe que los vehículos permanezcan encendidos mientras están estacionados, N.T.), cada vez más rigurosa, y otras propuestas referidas a las emisiones, el ruido y el consumo de combustible de los camiones comerciales [2].

Un sistema SOFC opera en forma silenciosa y con un nivel de eficiencia superior al de los motores de combustión interna tradicionales. Mediante la limitación del tiempo en que el vehículo permanece parado con el motor encendido y la operación de un sistema SOFC, en lugar del motor principal, las emisiones se reducen, el ruido se elimina casi totalmente y los operadores obtienen un ahorro significativo de combustible. Además, un sistema SOFC posee la

capacidad de utilizar una diversidad de combustibles, incluyendo gas natural, diesel, biodiesel, propano, gasolina, combustible derivado del carbón y combustible de logística militar. Aparte de la flexibilidad de combustible, el sistema SOFC es de tamaño compacto.

La prueba de Peterbilt/Delphi simuló un día típico en la vida de un conductor de camión para evaluar la utilidad y la capacidad del sistema SOFC en el mundo real. Para empezar, la unidad SOFC-APU se llevó a temperatura de operación con el motor principal del camión encendido. De este modo, se simuló el encendido de la unidad SOFC-APU durante las condiciones normales de manejo en las carreteras. Una vez que la unidad SOFC-APU se encontraba a la temperatura indicada y lista para proveer energía, el motor principal del Modelo 386 se apagó, simulando el inicio de un período de descanso. Durante este período de descanso, la unidad SOFC-APU proporcionó energía a las cargas eléctricas del 386, que incluían el sistema de aire acondicionado eléctrico, el equipo de radio y de radio de banda ciudadana, y el sistema de luces. También permitió cargar la batería del camión. Después de 10 horas (representando la marcha encendida durante la noche), el motor principal del Modelo 386 se reencendió para simular al conductor al iniciar su próximo día. A lo largo de la prueba, la SOFC-APU proporcionó un promedio de 800 vatios de electricidad al Modelo 386 de Peterbilt.

Si bien hoy más de 20 estados poseen reglamentos *anti-idling*, se estima que la marcha lenta de los camiones y colectivos diesel consume más de 700 millones de galones de combustible por año y produce niveles significativos de emisiones (8 millones de toneladas de CO_2 , 130.000 toneladas de NO_x y 80.000 toneladas de CO). Afortunadamente, muchos de estos problemas pueden resolverse sin sacrificar la comodidad del conductor y sus acompañantes mediante el empleo de unidades APU, amigables desde el punto de vista ambiental y efectivas desde el punto de vista de sus costos, que eliminan la necesidad de la marcha lenta en el largo plazo. Las emisiones que produce la marcha lenta pueden ser particularmente pesadas en las paradas de camiones y también en los talleres, los centros de distribución y las terminales portuarias donde las operaciones de carga y descarga del flete a menudo exigen que los conductores tengan que esperar, a veces varias horas. Se

Sistemas de Refrigeración de Gas Natural



- Presión de trabajo de 1 a 100 Kg/cm²
- Capacidades de hasta 142 MSM3GD
- Temperatura de trabajo regulable por operador
- Alta recuperación de NGL
- Operación simple y bajo mantenimiento
- Robustas y diseñadas para la industria petrolera
- Unidades en skid de fácil transporte



SFS EQUIPMENT

Distribuidor Exclusivo para América Latina

Texas, USA

Tel 1-832-295-0948 Fax 1-832-252-9302 info@sfs-us.com www.sfs-us.com

han desarrollado varias tecnologías nuevas, denominadas unidades de confort de cabina, que mantienen la refrigeración y la calefacción de la cabina del camión cuando su motor principal se encuentra apagado. Los sistemas SOFC proporcionarán muchas más oportunidades en términos de incrementos de potencia y reducciones de las emisiones peligrosas y el consumo de combustibles.

Prueba de concepto para los vehículos UUV

En junio de 2008, dos tecnologías desarrolladas según el programa de celdas de combustible SECA aprobaron con éxito los ensayos de tipo prueba de concepto de la División del Centro de Combate Submarino de la Marina de los Estados Unidos situada en Newport, Rhode Island. Las pruebas constituyen un avance importantísimo en lo que respecta a los sistemas de energía basados en las celdas SOFC y reflejan el potencial de la tecnología SOFC para otras aplicaciones de mercado derivadas.

Las pruebas de concepto incorporaron dos tecnologías desarrolladas según el programa SECA: los conjuntos o apilamientos de SOFC, fabricados por Delphi, y un ventilador especial desarrollado por R&D Dynamics para los sistemas SOFC de SECA en virtud del programa de Investigación en Innovación de Pequeños Negocios del DOE. El ventilador fue utilizado con éxito en la prueba para recircular los flujos de escape del combustible, a alta temperatura, nuevamente al reformador de combustible.

El sistema de prueba de concepto satisfizo los objetivos de la Marina de los Estados Unidos en cuanto a tamaño del sistema, potencia de salida y eficiencia. El conjunto de celdas generó más de 1 kilovatio, alimentándose sólo con S-8 líquido (combustible diesel sintético) y oxígeno puro. Simultáneamente, se alcanzaron los siguientes hitos: más del 90% de utilización de oxígeno, más del 75% de utilización de S-8, operación neutral con respecto al agua, y más del 55% de eficiencia, basada en la electricidad generada *versus* el poder calorífico inferior del S-8. La demostración de este sistema fue una prueba de concepto exitosa y representa la culminación de casi cinco años de investigación por parte de la Marina.

Las celdas de combustible SECA resultan particularmente adecuadas para los vehículos submarinos no tripulados (UUV) porque pueden operar con combustibles logísticos (tales como los combustibles para aviones), tolerar las impurezas del combustible, generar calor de alta calidad para la reformación del combustible, y son altamente eficientes en lo que respecta a la conversión de la energía del combustible en electricidad. El empleo en los vehículos UUV representa una aplicación que se desprende de la tecnología de celdas de combustible de la alianza SECA. Se incentiva la derivación en muchas otras aplicaciones y mercados porque esto posibilita el incremento del volumen de producción y la reducción de costos.

Resumen

La alianza SECA está resolviendo los problemas ambientales y los asuntos asociados con el cambio climático, la disponibilidad de combustibles y la seguridad energética con

que nos enfrentamos en nuestros días. Las celdas de combustible SECA son ideales para ser utilizadas en aplicaciones de generación de energía, lo que hace posible un alto grado de eficiencia, diversas oportunidades de captura de carbón (por ejemplo, bloqueo post-encendido), la reducción de los criterios de emisión de contaminantes (por ejemplo, menos de 0,5 ppm de NO_x, independientemente del combustible) y la conservación del agua. Las configuraciones de los sistemas de Celdas de Combustible de Gasificación Integrada (IGFC), que utilizan tecnologías de gasificación en el plazo cercano y tecnologías de limpieza de gas sintético, generarán energía a partir del carbón con eficiencias generales superiores al 45-50% (HHV, conversión de carbón a corriente alterna), incluyendo los procesos de gasificación del carbón y captura de CO₂. Junto con la reducción de costos de las celdas de combustible, impulsada por la alianza SECA, estos sistemas IGFC posibilitarán el uso limpio, eficiente y efectivo en función de sus costos del combustible fósil más abundante de la nación. La visión, alguna vez lejana, del uso de tecnología de celdas de combustible limpia y de bajo costo para aplicaciones cotidianas ahora está al alcance. Las derivaciones de los sistemas SOFC en muchas otras áreas de aplicación, especialmente las unidades APU y el Departamento de Defensa, se sumarán a la penetración del mercado, incrementarán el volumen de producción y bajarán el costo de los sistemas SOFC. ■

Bibliografía

1. Grol, E., "System Tradeoffs and Sensitivities in an Integrated Gasification Fuel Cell Combined Cycle with Carbon Capture", *25th Annual International Pittsburgh Coal Conference Proceedings*, September 2008.
2. Surdoval, W., "U.S. DOE Fossil Energy Fuel Cell Program", *SAE International*, 2007-01-3867, September 2007.

El Ing. **Wayne A. Surdoval** es gerente de Tecnología del segmento de Celdas de Combustible del Laboratorio Nacional de Tecnología Energética (NETL), dependiente del Departamento de Energía (DOE) de EE.UU. Con una licenciatura y una maestría en ingeniería química, obtenidas en la Universidad de Pittsburg, ha ocupado cargos técnicos y de liderazgo durante sus 23 años de servicios en el DOE de EE.UU. El Ing. Surdoval provee liderazgo programático y tecnológico para la alianza de Conversión de Energía del Estado Sólido (SECA) y el Centro Estratégico del Carbón del laboratorio NETL, Oficina de Investigación y Desarrollo del Carbón y la Energía, incluyendo las celdas de combustible y los sistemas a base de carbón.

Wayne.Surdoval@netl.doe.gov