

Al fin, la celda de combustible

© The Economist, London, October 25th 1997

The
Economist

Un dispositivo que ha sido descuidado por un siglo y medio, se halla a punto de ocupar el lugar apropiado en la civilización industrial.

Las celdas de combustibles producen energía eléctrica mediante la reacción directa de hidrógeno y oxígeno en forma electroquímica.

A medida que están alcanzando su objetivo, parecen haber creado algo que puede revolucionar a dos industrias, la de generación de energía y la automotriz.

“Maravillosa tecnología, lástima su costo.” Este es el comentario habitual sobre las celdas de combustible, un método para generar energía con 40 años más de antigüedad que el motor a nafta. Las celdas de combustible ayudaron al hombre a llegar a la luna, suministrando electricidad y agua a los astronautas, pero hasta ahora han probado ser demasiado costosas para la mayoría de las aplicaciones prácticas.

Esto, sin embargo, está cambiando rápidamente. En los últimos años, los ingenieros han estado diseñando celdas de combustible que serán útiles fuera de las agencias espaciales. Su motivación principal ha sido la demanda creciente de fuentes de energía exentas de sustancias contaminantes. Pero a medida que están alcanzando su objetivo, parecen haber creado algo que puede revolucionar dos industrias, la de generación de energía y la automotriz.

Las celdas de combustible producen energía eléctrica mediante la reacción directa de hidrógeno y oxígeno en forma electroquímica, en vez de combustión. El “escape” de este proceso es agua y no existen sustancias contaminantes nocivas tales como el

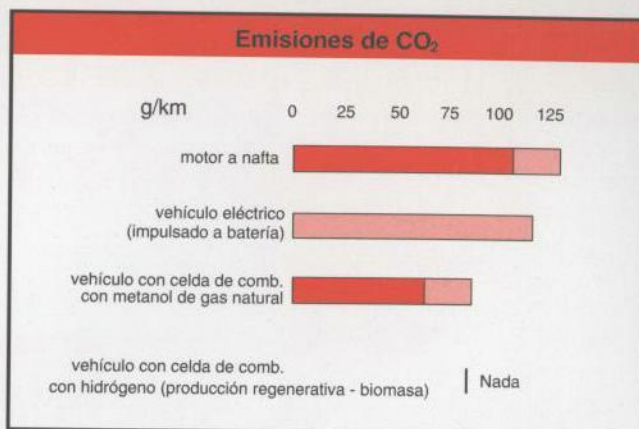
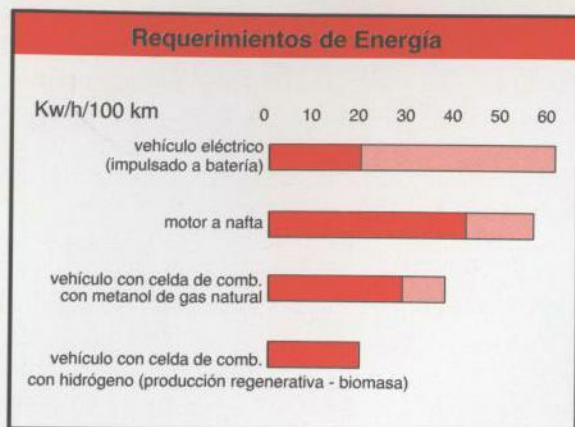
monóxido de carbono u óxidos de nitrógeno. Al menos, en la celda de combustible en sí misma, tampoco existe anhídrido carbónico (CO_2) alguno que pueda contribuir al efecto invernadero. Esto hace que las celdas de combustible sean un doble amigo del medio ambiente: si se coloca en vehículos, no contaminará las calles de la ciudad; si se colocan en centrales de energía (o vehículos, con ese fin), no pueden contribuir al calentamiento global que pudiera estar ocurriendo.

Si bien la realidad práctica es un poco más sórdida —los diseños comerciales realistas para celdas de combustible a menudo reciben su hidrógeno de reacciones químicas que generan anhídrido carbónico (CO_2), y algunas de las sustancias químicas involucradas son en sí mismas, gases de invernadero—, el uso difundido de celdas de combustible aún puede traernos reducciones significativas en la emisión de gases de invernadero (ver diagrama) y por cierto mejorará la calidad del aire en las ciudades. Son estos argumentos y la amenaza (o en algunos casos, el hecho) de que la legislación los apoye, lo que ha estimulado la investigación en celdas que podrían en efecto, ser usadas en

vehículos y en la generación comercial de energía eléctrica. Y quizá, para la sorpresa aun de los investigadores mismos, este estudio ha demostrado ser productivo.

Como resultado, el próximo año será lanzado un ómnibus comercial de celda de combustible, usando un motor desarrollado por Daimler-Benz. Se alega que lo seguirá en el 2003 un coche suficientemente económico como para competir con vehículos de nafta. Dos años después de eso, Daimler espera presentar 100.000 motores de celda de combustible, destinados a un nuevo tipo de Mercedes y a abastecer a otros fabricantes de autos.

Mientras tanto, ya ha llegado la generación de energía mediante celdas de combustible. Una colaboración de Toshiba, empresa eléctrica japonesa, e International Fuel Cells (IFC), parte de United Technologies y del conglomerado American, están produciendo conjuntamente en forma masiva una unidad conocida como el PC25. Esta unidad está diseñada para personas que necesitan una fuente distinta de energía confiable (no como el generador impulsado con nafta) y que están preparadas para pagar un poco más por ella.



Si efectivamente esta tecnología se hace comercial antes que experimental, habrá tenido una gestación realmente prolongada. El principio de la celda de combustible fue desarrollado en 1839, por William Grove, un hombre que, si bien terminó su carrera como juez, había comenzado como físico.

Las celdas de combustible funcionan por "electrólisis inversa". Como todo escolar sabe, el agua puede ser separada en sus elementos constituyentes (hidrógeno y oxígeno) mediante la aplicación de una corriente eléctrica. Y Grove que, además de ser profesor de filosofía experimental en la ahora desaparecida Institución de Londres y amigo de Michael Faraday, era un estudiante avanzado de electrólisis. Durante sus investigaciones descubrió que, cuando desconectaba su aparato electrolítico, el proceso parecía funcionar en forma inversa. Esta observación fue la base de su invención.

Así, una celda de combustible consiste en un suministro de combustible (hidrógeno), un oxidante (oxígeno, generalmente del aire) y dos electrodos (el ánodo y el cátodo) en ambos lados de un electrolito. Este último es un material que conduce electricidad por el pasaje, no de electrones, sino de átomos o iones eléctricamente cargados.

Durante la reacción de producción de electricidad, los átomos de hidrógeno abandonan los electrones en el ánodo y se convierten en iones de hidrógeno en el electrolito. Los electrones liberados en el ánodo transitan a través de un circuito externo hacia el

cátodo. En el trayecto, pueden ser usados para dar energía a cualquier tipo de aparato eléctrico, tal como un motor, así como lo haría la corriente de una batería (ver diagrama). En el cátodo, los electrones y los iones de hidrógeno se combinan con moléculas de oxígeno para formar agua (y en el proceso también libera calor).

Por lo tanto, el principio es bastante simple, pero la reacción química es difícil de producir. Existen cinco tipos de celdas de combustible, con promesas y problemas variables, pero sólo dos están muy próximas a ser proposiciones prácticas.

Las cinco celdas utilizan catalizadores para acelerar la reacción, y varias dependen también de elevadas temperaturas. El tipo más costoso de celda de combustible es la pila alcalina, usada en vehículos espaciales. Ostenta la relación más elevada de energía/peso; pero requiere metales costosos, tales como platino y oro, para recubrir sus electrodos. Además, su electrolito está compuesto de hidróxido de potasio, que tiende a reaccionar con el CO₂ en el aire para formar carbonato de potasio. Eso significa que necesita un suministro de oxígeno puro, lo que lo hace aún más costoso.

Otros dos tipos de celdas (celdas de carbonato fundido y de óxido sólido) funcionan a 600°C y 1000°C, respectivamente. Esto implica que no requieren el costoso hidrógeno como combustible. En cambio, pueden usar metano, que se halla disponible en forma muy económica en el gas natural (y puede

hacerse también de materiales vegetales, conocidos comercialmente como "biomasa"). A temperaturas tan elevadas, y con la asistencia de vapor y oxígeno, el metano es fácilmente transformado en hidrógeno y CO₂.

Estas celdas tampoco necesitan revestimientos costosos de platino en sus electrodos para actuar como un catalizador. Pero ambos tipos traen aparejados problemas. La celda de combustible de óxido sólido requiere cerámicas sofisticadas para sus electrodos y una exótica mezcla de óxidos (óxido de itrio y de circonio) como electrolito, mientras que el electrolito en una celda de carbonato fundido es tan hostil que sus electrodos tienden a abandonar el espectro, cualquiera sea su composición.

Por lo tanto, solo las dos celdas restantes parecen ser candidatas serias para la comercialización. La celda de ácido fosfórico es la preferida por aquellos que esperan reemplazar las gigantes centrales de energía productoras de gigavatios por otras locales más prácticas. La otra, la membrana de intercambio de protones o celda PEM, debería estar capacitada para asistir en eso y también debería, según creen sus defensores, convertirse en la forma principal de proveer energía a los vehículos.

Energía para uso general

Las celdas de ácido fosfórico funcionan a 200°C. Esto hace que sean más manejables que las otras dos cel-

das "calientes", pero aún les permite usar metano. La PC25 funciona actualmente como una unidad de cogeneración, es decir, explota tanto la electricidad de la celda como el calor incidental producido cuando reaccionan el hidrógeno y el oxígeno. Sobre esta base, su costo de fabricación es de alrededor de \$3.000 por kilovatio, aproximadamente el doble que los generadores convencionales.

A ese precio, el consorcio IFC/Toshiba ya tiene órdenes como mínimo para 185 PC25 de organizaciones que necesitan suministro de energía ininterrumpida de elevada calidad para equipos médicos o de computación sensibles. No obstante, el gobierno japonés y el gobierno de los Estados Unidos han estado ofreciendo subsidios a las empresas para tratar de reducir aun más los precios, de modo que la tecnología se haga lo suficientemente económica para ser aplicada al uso general. El éxito parece posible, el precio actual por kilogramo es la mitad de lo que fuera dos años atrás y con seguridad la producción masiva lo reducirá aún más.

Esto, combinado con la desregulación del mercado de electricidad, que está ocurriendo en muchos países, conducirá, como lo esperan los visionarios, a que surjan cientos de empresas de servicio de energía que suministren energía eléctrica local, a pedido en vez de grandes generadores convencionales que entregan electricidad a través de complicadas líneas de transmisión.

Esto puede parecer como un sueño, pero ya existen señales de una tendencia hacia tal "generación distribuida", que involucra pequeñas centrales de energía eléctrica a turbina de gas. Si las celdas de combustible son suficientemente económicas, serán una competencia formidable para éstas. En Japón, Toshiba se ha asociado con Fuji y Mitsubishi para instalar 100 generadores de celda de combustible en el rango de 50 kw a 11 mw a fin de ver si la idea es viable. Si bien el gobierno japonés ha estado subsidiando estos experimentos de campo,

el proyecto de las empresas es tener productos comerciales para el año 2001 e instalar una capacidad equivalente a 2000 mw para el año 2010.

Por supuesto, la generación de energía eléctrica es fundamental para una economía industrial moderna. Pero la aplicación que realmente está empezando a hacer trabajar la imaginación de la gente es el transporte. En efecto, los comentaristas más optimistas (no todos ellos al servicio de la industria de celdas de combustible) están hablando de motores eléctricos impulsados por celdas de combustible PEM, que reemplazan la función de los actuales motores de combustión interna.

Celdas sobre ruedas

Dos empresas automotrices parecen estar tomando muy en serio esta posibilidad. Por coincidencia, una de ellas es Daimler-Benz, la empresa que por primera vez puso un motor de combustión interna de cuatro tiempos en vehículos **automáticos**. El otro líder es Toyota.

Las celdas PEM se remontan a finales de la década del '50. Fueron desarrolladas por General Electric en Estados Unidos, y tienen un electrolito sólido (el epónimo PEM), que funciona a una temperatura razonablemente baja, alrededor de 80°C. Hasta hace poco tiempo, se necesitaban cantidades fuera de lo común de costoso platino como catalizador para permitir que tuviera lugar la reacción. De hecho, un conjunto de celdas lo suficientemente poderosas para impulsar un automóvil lo hubiera confrontado con un gasto de \$30.000 sólo para el platino.

Ese fue el problema que enfrentó Ballard Power Systems, una empresa canadiense de alta tecnología, cuando comenzó a trabajar con celdas de combustible PEM a mediados de los '80. Sólo cuando se asoció en 1993 con Johnson Matthey, una empresa británica especializada en sustancias químicas y metales, encontró la manera de reducir la cantidad de platino. Ambas compañías descubrieron cómo adaptar

la tecnología de catalizadores de Matthey (desarrollada, por una maravillosa ironía, para limpiar los motores de nafta de los automóviles a través de convertidores de escape catalítico) para ser usada en PEMs.

La tecnología de Johnson Matthey era un método de dispersión del platino en un catalizador, de manera que aumentara al máximo su área de superficie (el ladrillo catalítico en el escape de un automóvil tipo contiene una superficie de platino igual a tres canchas de fútbol). Como resultado, el costo del platino en una celda PEM suficientemente grande como para impulsar un auto pequeño cayó verticalmente hasta una cifra más razonable de \$140.

Pero Ballard no ha sido únicamente ingenioso en la forma de desplegar su tecnología, sino que también ha hecho un uso inteligente de sus socios industriales. En 1996, formó un acuerdo temporario con General Public Utilities, en Estados Unidos para trabajar en la elaboración de una celda de combustible para ser utilizada en la generación de energía. Y por el lado del transporte, se asoció con Daimler-Benz. A medida que estos acuerdos temporarios se desarrollan, los socios industriales tienen un interés financiero directo en ver que surjan productos de esta colaboración.

Por ejemplo, Daimler-Benz está invirtiendo 350 millones de pesos en Ballard. Está comprando un 25% del interés de este negocio y está integrando su tecnología de celda de combustible y activos relacionados con la empresa. Las dos firmas también tienen un *joint-venture*, la tercera parte del cual es propiedad de Daimler, a fin de comercializar los motores. Otro socio industrial es Johnson Matthey, que ha tomado un pequeño interés en Ballard.

El objeto de estas asociaciones no es sólo atraer la mayor parte del capital necesario a Ballard, ya que desde que cotiza en Bolsa se ha convertido de cualquier manera en una favorita del mercado de valores Nasdaq de Estados Unidos. Como señala Firoz

Rasult, las celdas de combustible requieren algo más que las placas y electrodos para ser viables. Necesitan sistemas completos para control, que estén adaptados a la aplicación para la cual han sido diseñados. Por esto, se requiere una empresa de electricidad para ver la mejor manera de adaptarlas a la generación de energía. Y se necesita una empresa automotriz de la estatura de Daimler para descubrir la forma de adaptarlas para que sean más efectivas en automóviles y colectivos.

Entonces ¿cuán lejos ha llevado todo este notable progreso al vehículo de celda de combustible? Y ¿cómo se comparan los actuales prototipos con los vehículos de motores de nafta convencionales? Tanto Daimler como Toyota han exhibido pequeños coches con motores prototipo de celda de combustible. El de Toyota es una versión de su pequeño vehículo utilitario deportivo, el RAV4, y tiene un alcance de 500 km. La versión celda de combustible de la clase-A de Daimler tiene un alcance de 400 km. Esto representa aproximadamente el mismo alcance que podría darle un tanque lleno de nafta y casi tres veces lo que un auto eléctrico impulsado con batería puede dar sin recarga.

De hecho, estos dos vehículos no llenan sus tanques con hidrógeno sino con metanol. El hidrógeno es producido a bordo por un pequeño reactor químico, que utiliza un proceso similar al que produce hidrógeno del metano. Este es un punto importante de la economía en el funcionamiento de estos automóviles, ya que el metanol es un líquido y por lo mismo más fácil de manejar que el hidrógeno o metano gaseoso. Aun así, los vehículos (que todavía son prototipos previos a la producción en masa) tienen un largo camino por recorrer para poder compararse con la economía de un coche a nafta. Actualmente, las celdas de combustible cuestan aproximadamente \$5.000 por kw a fabricar, mientras que el costo de un motor de nafta cuesta aproximadamente \$50 por kw. Los ex-

pertos de la industria reconocen que la celda de combustible tendrá un futuro comercial a partir del momento en que reduzca el precio por kw a un monto por debajo de los \$200. El "Tweaking" y la producción en masa son las claves para llenar el vacío.

Daimler y Ballard creen que pueden disminuir el tamaño, el peso y los costos lo suficientemente como para hacer rentable el motor de clase A, impulsado con celda de combustible, con un volumen de producción de 250.000 automóviles por año. Tanto ellos como Toyota creen que un gran motivo para las ventas será la eficiencia de las celdas de combustible, que llevarán a un consumo de combustible mucho menor que aquél de los motores de nafta (ver diagrama). Una celda PEM convierte el 30% de la energía de su combustible en trabajo útil, comparado con el escaso 20% para un motor de combustión interna, de modo que Toyota confía en que hasta sus modelos antiguos serán al menos 50% más económicos que los motores de nafta.

Estos dos prototipos están ahora en exhibición en la Exposición de Motores en Tokyo. Son vehículos bastante diferentes: el Mercedes es un automóvil eléctrico automático impulsado con celda de combustible, pero el modelo de Toyota es más complicado: tiene una celda de combustible más pequeña (25 kw comparado con los 50 kw del Mercedes) junto con una batería y un sistema de frenado "regenerativo" (cuando se aplican los frenos, el motor eléctrico actúa como un dínamo, generando energía eléctrica para ser almacenada en la batería). Toyota generalmente está atada al principio de tales automóviles eléctricos híbridos. En diciembre, lanzará el primer modelo comercial en el mundo, un Corolla que tiene un pequeño motor de nafta para ser usado en la carretera y una batería para el manejo en la ciudad. De modo que la estrategia de Toyota para la celda de combustible es un desarrollo de esta ingeniería más convencional.

Celdas para todos

Toda esta actividad parece haber sorprendido a las grandes empresas automotrices de los Estados Unidos. Hace sólo dos años, Detroit desechó las celdas de combustible por considerarla una investigación teórica que llevaría décadas en llegar al mercado. Ahora, es entusiasta de las celdas de combustible. Ford, General Motors y Chrysler están trabajando con Ballard o IFC para desarrollar sus propios prototipos de celda de combustible. En efecto, Chrysler se está concentrando en una versión a nafta de la celda de combustible, extrayendo hidrógeno de los hidrocarburos de la nafta, por supuesto con emisiones mínimas. Por lo tanto, no habrá necesidad de hacer gastos para una red de combustible alternativo. Delphi, una subsidiaria de General Motors, también está interesada en este derrotero. Está trabajando con dos empresas petroleras, Arco y Exxon, para desarrollar mejores reactores para la extracción de hidrógeno.

Varios de los competidores europeos de Daimler también están gritando "yo también". Renault, Volvo y Volkswagen dicen estar experimentando con automóviles de celda de combustible. Sólo BMW pareciera estar apartada. Está apostando a que, si el hidrógeno alguna vez despegas como combustible para automóviles, será consumido en motores de combustión interna similares a los actuales. ¿Qué significa todo este desarrollo? Daimler dice que hará una revisión del progreso en el término de dos años, pero ya habla como una empresa que ha capturado el futuro. Su alarde de 100.000 motores de celda de combustible para el año 2005 indica que cree que esta fuente de energía directa, tan elusiva por décadas, al fin está recorriendo su camino. La firma que cien años atrás trajo al mundo el automóvil impulsado a nafta está a punto de lanzar el producto que muy posiblemente termine con aquél. 