CELDAS DE COMBUSTIBLE, ¿la Energía del Futuro?

Capitán de Corbeta
Percy Pérez Bramosio

"Desarrolladas en un principio por la NASA para dotar de energía a las naves espaciales Géminis *y* Apolo, *y posteriormente para aplicaciones militares en submarinos, las Celdas de Combustible prometen, en el futuro, ser una importante fuente de energía para la humanidad".*

Las celdas de combustibles fueron descubiertas en 1939, cuando Sir William Grove, un juez y científico Galés, efectuando experimentos sobre la electrósis del agua, dedujo que este proceso podría ser reversible y producir electricidad. El término "Celda de Combustible" fue empleado por primera vez cuando Ludwig Mond y Charles Langer intentaron construir la primera aplicación práctica del concepto de Grove en el año 1889, utilizando aire y gas.

Los intentos posteriores de aplicar esta tecnología fallaron debido a la falta de materiales adecuados; mientras tanto se descubrió el petróleo y el motor de combustión interna fue empleado por la industria automotriz y aun para la generación de energía eléctrica, lo que hizo poco atractivo el desarrollo de la celda de combustible.

La primera celda de combustible operativa fue construida en 1932 por Francis Bacon, quien continuó y optimizó el modelo de Mond y Langer, reemplazando el uso de platino como catalizador por el empleo de electrolitos alcalinos y electrodos de niquel. Este modelo fue mejorado durante 25 años, pudiendo en 1959 presentar un sistema de 5Kw de potencia el cual alimentaba una máquina de soldar.

A fines de los años 50, la NASA, luego de descartar la energía atómica por presentar riesgos de radiación, las baterías por ser demasiados pesadas y los paneles solares por su fragilidad y complejidad, eligió a la celdas de combustible para producir electricidad y agua en las naves espaciales.

Debido a esto, la NASA financió más de 200 proyectos de investigación y desarrollado de celdas de combustible, las que, finalmente, se convirtieron en los generadores de electrici-

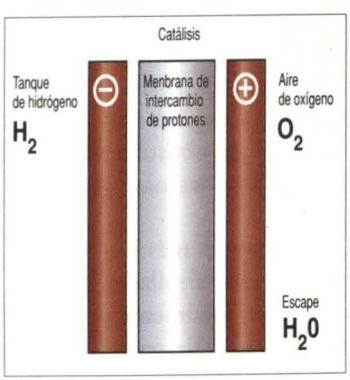
dad y de agua de las naves espaciales *Apolo* y el actual transbordador espacial.

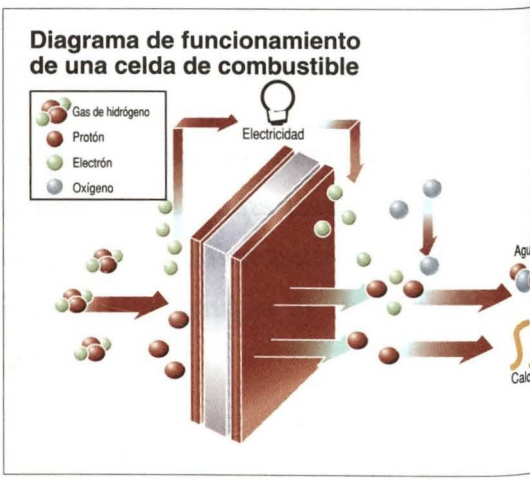
Durante treinta años se han invertido más de un billón de dólares en investigaciones y desarrollo, perfilándose hoy las celdas de combustible en la panacea de la energía del futuro, debido principalmente a las siguientes ventajas:

- Ser un sistema regenerativo de energía.
- Poseer muy alta eficiencia –entre dos a tres veces interna- mayor a un motor de combustión -interna- al producirse mínimas pérdidas en irradiación de calor.
- Presentar bajas emisiones.
- No emitir gases contaminantes a la atmósfera.
- En caso de producirse fugas de combustible de las celdas (de hidrógeno y de oxígeno), a diferencia de combustibles fósiles, sólo se produciría agua en la atmósfera.
- La producción industrial de oxígeno e hidrógeno no atenta contra el ecosistema.
- A diferencia del petróleo, cuyas reservas son finitas, existe una reserva infinita de hidrógeno en la Naturaleza.

¿Qué es una celda de combustible?

Es un generador electroquímico de energía eléctrica que, combinando oxigeno e hidrógeno, producirá electricidad y calor mientras se le provea de combustible, generando como único subproducto agua 100% pura. Básicamente consiste en dos electrodos separados por un electrolito. El hidrógeno pasa por un electrodo y el oxígeno por el otro. El hidrógeno es ionizado y pierde un electrón, convirtiéndose en un ión positivo de hidrógeno (protón) y en un electrón. Al ocurrir esto, ambos (protón y electrón) toman caminos diferentes hacia el segundo electrodo. El hidrógeno migra hacia el otro electrodo a través del electrolito, mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor, pudiendo ser este flujo de electrones (electricidad) empleado como fuente de energía, produciéndose al unirse en el segundo electrodo el protón de hidrógeno y el oxígeno agua pura.





Diagramación de funcionamiento de una celda de combustible

Tipos de celdas de combustible

Existen diversos tipos de celdas de combustible las que se diferencian en el electrolito empleado, siendo cada tipo más apropiado para determinadas aplicaciones.

Celdas de combustible de acido fosfórico (PAFC)

Es el tipo de celda de combustible que emplea como electrólito ácido fosfórico, y es el más desarrollado a nivel comercial. Se encuentra en uso actualmente en clínicas, hospitales y aeropuertos, existiendo el día de hoy plantas de hasta 250 Kw de este tipo en el mercado.

Estas celdas generan electricidad con una eficiencia mayor del 40%, y, si se utiliza la temperatura generada de alrededor 300° para generar vapor, la eficiencia puede aumentar hasta un 85%. Estas celdas tienen la ventaja de ser las más eficientes y desarrolladas en la actualidad.

Además de su uso en instalaciones fijas, estas celdas de combustible también han sido probadas en vehículos pesados, como locomotoras y autobuses.

Celdas de combustible de carbonato fundido (MCFC)

Estas celdas de energía presentan como gran ventaja al poder operar con combustibles a base de carbón, como gas natural o gases mezclados de los cuales, mediante un sistema de destilación y catalización, se obtiene el hidrógeno.

Celdas de combustible alcalina (AFC)

Fueron las celdas de combustible originalmente desarrolladas por la NASA para su empleo en naves espaciales. Emplean ellas hidróxido de potasio como electrolito. Se encuentran actualmente instaladas a bordo de los transbordadores espaciales. Estas celdas presentan como principal desventaja su alto costo de fabricación.

Durante los años 80 se probó su instalación en submarinos con buenos resultados; pero fueron luego reemplazadas por las celdas de combustible PEM (de intercambio protónico).

Celdas de combustible de óxidos sólidos (SOFC)

Estas celdas de combustible son sumamente adecuadas para instalaciones fijas, teniendo como ventaja la gran estabilidad de los óxidos cerámicos empleados como electrolito, lo que representará una gran durabilidad del sistema; sin embargo, no son adecuadas para instalaciones móviles debido a su alta temperatura de operación, de alrededor de 800° C. Asimismo, se debe evitar el enfriamiento de la celda, con la finalidad de evitar en los materiales cerámicos, es decir mantenerla constantemente a temperatura de trabajo.

En sistemas de 100 Kw hasta 1 Mw de potencia se alcanza una eficiencia del 55%, y en sistemas mayores de hasta 50 Mw se alcanzan eficiencias de hasta 70%.

La firma Westinghouse ha desarrollado una planta de demostración de 100 Kw instalada en los Países Bajos.

Celdas de combustible de membranas de intercambio protónico o polímero (PEM)

Estas celdas de combustible son de gran importancia ya que, debido a su poco volumen, baja temperatura de operación y relativa alta eficiencia, mayor del 50%, son ideales para ser empleadas en vehículos como automóviles y submarinos.

En estas celdas de combustible el electrolito lo constituye una membrana de polímeros, los que, debido a operar a temperaturas no mayores de 80° C, tienen la ventaja de poder entrar en funcionamiento rápidamente sin requerir ningún precalentamiento. Asimismo, pueden variar rápidamente su generación de energía para cubrir una intempestiva demanda de potencia.

La firma canadiense Ballard Power System, es el mayor fabricante mundial de estas celdas para el ramo automotor. Ya ha recibido pedidos de fabricantes de automóviles de todo el mundo y se encuentra desarrollando, junto con la Ford motor Co. y Daimler Benz, motores eléctricos propulsados por celdas de combustible PEM.

Por otro lado, la firma International Fuel Cells IFC ha efectuado exitosas demostraciones con vehículos propulsados con energía de celdas de combustible abiertas, que obtienen oxígeno directamente del aire del ambiente.

El desarrollo en el campo automovilístico se orienta a emplear la capacidad instalada de distribución de gasolina; por lo que las celdas PEM deben obtener el hidrógeno desde destilados derivados del carbono, como por ejemplo de gas natural, requiriéndose sistemas de catalización y filtraje, los que constituyen por el momento los obstáculos tecnológicos más importantes para la producción en serie de estos vehículos.





Automóviles prototipo dotados de motores eléctricos alimentados por celdas de combustible PEM

Empleo de celdas PEM en submarinos

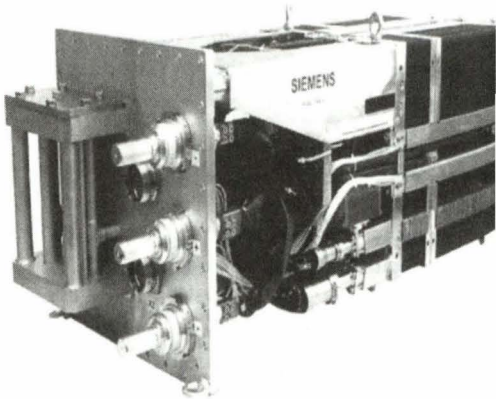
La Marina Alemana decidió dotar a sus submarinos clase 212 con el Sistema AIP de celdas de combustible PEM. Asimismo, la Marina Italiana efectuará la construcción de dos unidades de características similares.

Por otro lado, el astillero HDW ofrece para la exportación el nuevo diseño de submarinos Tipo 214, desarrollados sobre la base del *Tipo 209* y *212* (214 = 209 + 212). Los que, a su vez, contarán con celdas de combustible PEM.



Submarino Tipo 212

Los buques del *Tipo 212* contarán con módulos de celdas de energía PEM de 40 Kw. de potencia, encontrándose en desarrollo celdas mejoradas de 120 Kw. que dotarían los submarinos *214*.



Celda de combustible SIEMENS a instalarse a bordo del Submarino Tipo 212

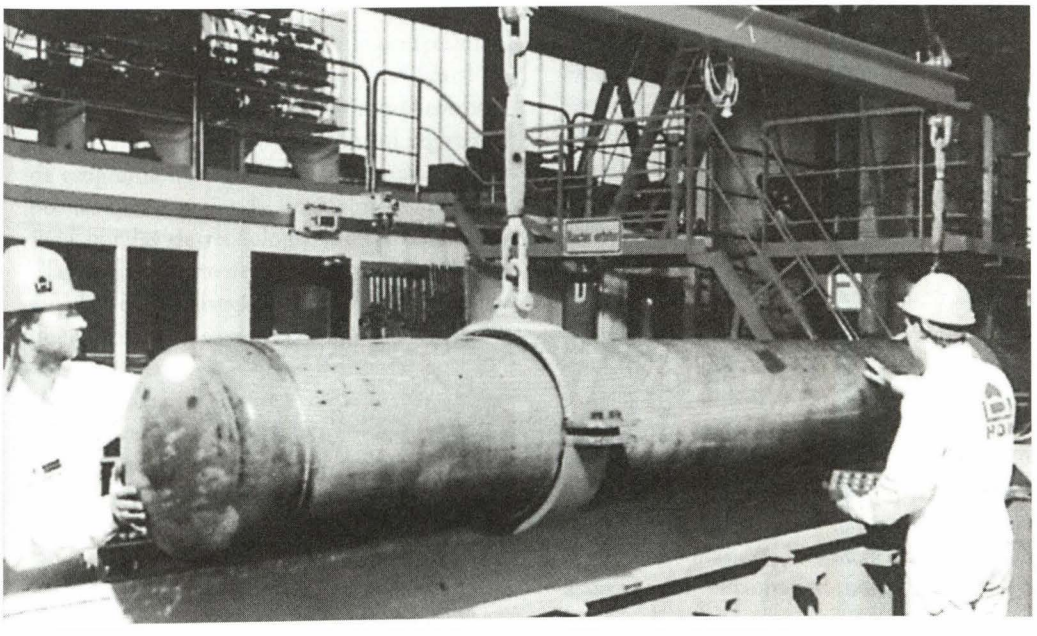
A bordo de los *212,* el oxígeno será transportado en forma líquida (LOX) en tanques ubicados fuera del casco resistente; por otro lado, el hidrógeno será transportado en forma de hidruros metálicos en cilindros ubicados en la quilla del buque, fuera del casco resistente.

Estos hidruros tienen la capacidad de absorber hidrógeno hasta el equivalente al 2% de su peso. Para esto, el hidrógeno deberá ser introducido dentro de los cilindros a través de un filtro mediante un sistema de tuberías.

Cuando se absorba el hidrógeno se liberará energía en la reacción en forma de calor. Luego en la etapa de deshidrogenización se debe reemplazar la energía perdida, para lo cual se utilizará el calor generado en la reacción en la membrana (80°C) y que será transferido mediante agua de mar. De esta manera podrá almacenarse grandes cantidades de hidrógeno a baja presión y la temperatura del ambiente.

El proceso de hidrogenización y deshidrogenización es reversible. En laboratorio se ha demostrado la estabilidad cíclica en varios miles de ciclos.

Actualmente la autonomía de la celda PEM a bordo de submarinos está limitada por el porcentaje de hidrógeno absorbido por los hidruros de metal; se están efectuando estudios para aumentar el 2% de absorción actual, con lo que aumentaría a su vez la autonomía del sistema.



Tanque de almacenamiento de hidrógeno de los submarinos Tipo 212

Estos submarinos híbridos podrán desarrollar, gracias a sus celdas de combustible PEM, velocidades de hasta 8 nudos; de requerirse mayores regímenes de descarga, ésta sería provista por las baterías, pudiendo mantenerse a baja velocidad en inmersión sin tener que efectuar Snorkel durante semanas, reduciendo la tasa de indiscreciones sustancialmente.

BIBLIOGRAFÍA

- Gabler, Ulrich: *Construcción de Submarinos.* Editorial. Bernard y Graefe – Alemania
- Fuelcells 2000. http//www.fuelcells.org/
- Ballard Power Systems. http/www.ballard.com
- Pem Fuelcells International. http/www.if.uni-kiel.de/matwis/matiz/project/fuelcells
- Brochure Siemens Ag, Industrial Pem Fuelcells. *Efficiency on Board.*
- Siemens Ag, 2000: *Electrical System for Submarines.*

