

LAS CÉLULAS DE COMBUSTIBLE COMBINADAS EN LOS SISTEMAS DE PROPULSIÓN AIP

Luis LÓPEZ PALANCAR
Ingeniero naval

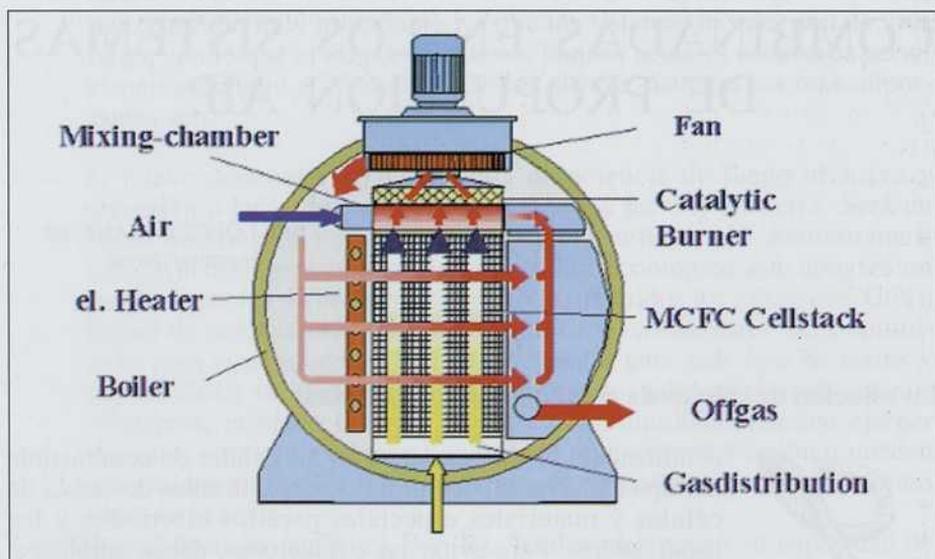
La solución de células de combustible combinadas



A utilización de oxígeno puro en las células de combustible del tipo PEM hace necesario diferentes diseños de *stacks* de células y materiales especiales para los electrodos y los catalizadores. Para evitar las oxidaciones, deben emplearse metales nobles, tales como platino y oro, lo que hace muy caro este tipo de células. Para disminuir los costes, podría ser beneficioso utilizar células de combustible que puedan ser alimentadas con aire, tal y como están siendo desarrolladas para aplicaciones civiles. Esto puede ser factible reciclando el aire de escape, que está compuesto de oxígeno, gas inerte y vapor. En este circuito cerrado solamente el oxígeno consumido en la reacción del cátodo debería ser sustituido, y el agua resultante de la reacción debería ser eliminada de alguna forma.

El combustible necesario para hacer funcionar una célula tipo PEM es hidrógeno. En función del diseño del *stack* puede usarse hidrógeno puro o un gas rico en hidrógeno. El hidrógeno puro puede ser almacenado en cilindros resistentes como gas presurizado, en tanques criogénicos o en hidruros metálicos. Todos estos sistemas tienen sus limitaciones en términos de volumen, niveles de temperatura, y peso, que son factores de importancia vital para aplicaciones móviles. Además, la falta de una infraestructura del hidrógeno hace difícil un funcionamiento independiente que sólo será factible a largo plazo. Otra posibilidad es producir a bordo hidrógeno. Los hidrocarburos líquidos, tales como metanol, etanol, o el propio combustible diesel, pueden ser almacenados de forma sencilla, y el hidrógeno puede ser generado a través de un proceso de reformado.

Sin embargo, ya hemos visto que todos los procesos de reformado exigen altas temperaturas, incapaces de alcanzar por la propia célula PEM, y en el caso de la aplicación a submarinos, no existen a bordo fuentes de calor con la suficiente potencia como para alcanzar las temperaturas necesarias para el reformado de estos combustibles.

Disposición interna del *Hot Module* para células MCFC.

Por otra parte, las células de combustible del tipo MCFC (policarbonatos fundidos) tienen la posibilidad de efectuar un reformado interno de varios hidrocarburos. Debido a que su temperatura de funcionamiento es del orden de los 650°C y de 800 a 1.000°C para las células SOFC (óxidos Sólidos), el vapor para el proceso del reformado puede ser producido en el interior del propio *stack* de la célula. Esto reduce enormemente los procesos necesarios de reformado, dado que no son necesarias las etapas de vaporización del combustible y los procesos previos. En el caso de etanol, sin azufre, y de compuestos derivados de hidrocarburos pesados, no se necesita más que una cámara de mezcla del combustible y una etapa de vaporización.

Es obvio que la utilización de células de combustible de alta temperatura conduce a un sistema más simple en el caso de uso de combustibles compuestos por hidrocarburos. Esto es una ventaja particular en el caso de las Células del tipo MCFC, ya que es el único tipo de célula que necesita CO_2 para su funcionamiento. Durante varios años, se ha desarrollado el llamado *Hot Module*, una unidad de células de combustible MCFC para generación de energía en aplicaciones estacionarias. Puede trabajar con una gran variedad de combustibles, como se ha demostrado en las numerosas instalaciones que están operativas, en las que se ha llegado a rendimientos del orden del 55 por 100.

Sin embargo, parece difícil adaptar este sistema a aplicaciones móviles. Las dimensiones, el peso del sistema y su baja dinámica son los principales

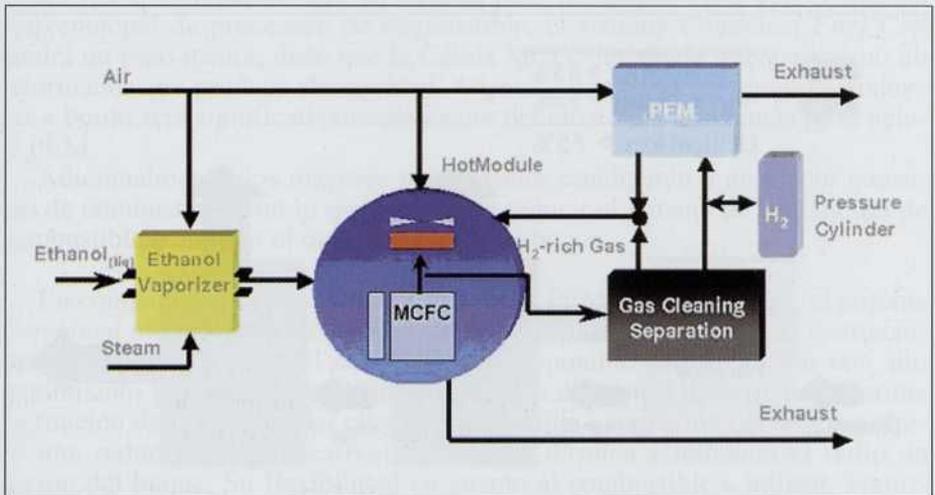
inconvenientes. Para hacer frente a estos problemas hacen falta nuevos conceptos.

El concepto *Combined Fuel Cell* consiste en una combinación de Células de Combustible de alta y baja temperatura. Las células MCFC trabajan con exceso de combustible. En ellas, sólo una parte del hidrógeno producido se usa en la propia MCFC.

El resto es conducido a un limpiador de gas y/o a un sistema separador para producir el hidrógeno a usar en las células PEM. Con este sistema no es necesario el uso de un reformador y, lo que es más importante, no se necesita combustible extra para producir el calor necesario para la reacción. El calor disipado por la célula de combustible MCFC se usa directamente en el *stack* para producir hidrógeno. Como efecto adicional, podemos indicar que las células MCFC trabajan con exceso de hidrógeno. Con ello se espera que las mayores presiones parciales den como consecuencia una actividad más elevada del ánodo y un rendimiento superior. El mismo efecto se espera en el lado del cátodo, reciclando el CO_2 de las células PEM y MCFC. Además, los ventiladores utilizados en el *Hot Module* actual serán disminuidos de tamaño.

El aire requerido para la refrigeración del *stack* puede reducirse, lo que se traducirá en un menor consumo del sistema. Para establecer un sistema AIP apropiado para submarinos, se construirá un sistema cerrado para el gas del cátodo, como el descrito anteriormente para las células PEM.

El calor disipado será utilizado para los procesos de limpieza del gas y para los de vaporización y reacción de los mismos. Con este sistema, no solamente se perderá menos potencia, sino que además se consumirá menos combustible.



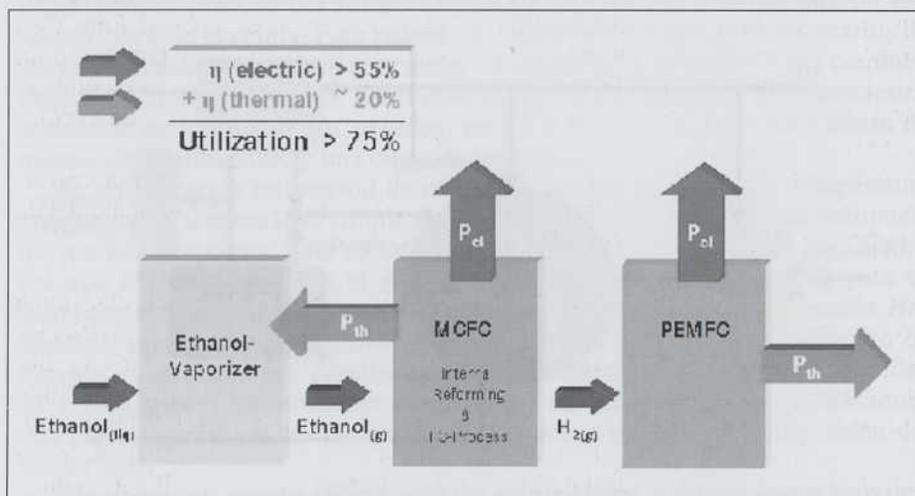
Principio de funcionamiento del sistema de células de combustible combinadas.

De este modo, se espera que el rendimiento total del sistema esté en el rango del 50 al 55 por 100. Esta cifra es considerablemente mayor que la correspondiente a cualquier motor térmico convencional, así como a los sistemas de células de combustible que utilizan un sistema convencional de procesamiento de combustible. En comparación directa con el *Hot Module*, la cifra es casi la misma, pero en contraste con este sistema el nuevo *Combined Fuel Cell* puede ser más pequeño y más ligero, debido al hecho de que una gran parte de la energía se produce en la célula PEM. La célula MCFC deberá ser lo suficientemente grande para suministrar calor para los procesos y reacciones necesarios, pero, al mismo tiempo, tan pequeña como sea factible para ahorrar peso.

Si además se introduce en este sistema un sistema de almacenamiento de gas, es factible contrarrestar la baja dinámica del sistema de la célula MCFC. La Célula MCFC cubrirá la carga base de la célula PEM, y esta última será la que siga los cambios de carga. Este sistema ofrece además redundancia, dado que en caso de fallo de la célula MCFC, la célula PEM puede producir potencia hasta que los tanques de gas se vacíen. Y la célula MCFC puede funcionar sin necesidad de que esté operativa la Célula PEM.

En el caso de una instalación de células de combustible alimentadas por etanol para submarinos, hay varias posibilidades conceptuales. Las opciones viables son un sistema que utilice una célula de combustible PEM junto con el sistema necesario para procesar el combustible, o bien el sistema anteriormente descrito *Combine Fuel Cell*.

Cuando se comparan ambas alternativas, hay tres aspectos que deben ser tenidos muy en cuenta:



Rendimiento y utilización del combustible en una unidad de potencia *Combined Fuel Cell*.

1. Pese a que el rendimiento de un *stack* de células PEM es de alrededor del 50 por 100 por 100 el rendimiento del sistema completo, disminuye hasta cerca del 35 por 100 para cualquiera de los sistemas descritos de reformado del combustible. Un reformador de vapor produce más hidrógeno, pero necesita más aportación de calor. Por tanto, el consumo de combustible primario aumenta. La oxidación parcial no necesita aportación adicional de calor.

La energía se obtiene por la oxidación del hidrógeno, y por tanto habrá menos hidrógeno disponible en la célula de combustible. En cualquier caso se consume energía para producir el combustible final, que es el hidrógeno.

En el sistema *Combined Fuel Cell*, donde el calor es obtenido por la reacción que se produce en la propia célula de combustible, el rendimiento es considerablemente mayor, alcanzando valores de aproximadamente el 50 por 100.

2. Los sistemas generadores de energía que trabajan con mayores rendimientos, producen menos calor. Por tanto, se dispondrá de menor cantidad de calor a disipar. En el caso de submarinos esto da como consecuencia una reducción en la firma térmica.

La temperatura de funcionamiento del *reformer* y de la célula MCFC del mismo orden, de forma que no se consigue ventaja alguna usando uno u otro sistema, pero el sistema *Combined Fuel Cell* permite una integración cíclica calorífica, además de reducir la cantidad de calor a disipar.

3. Pese a que los futuros desarrollos mejorarán la actual baja densidad de potencia de las células MCFC, se espera que el diseño del sistema *Combined Fuel Cell* tenga un peso significativamente menor en comparación con un sistema puro MCFC, debido a la favorable densidad de energía de la propia célula PEM. Comparado con un sistema puro de células PEM con el sistema convencional de procesado de combustible, el sistema *Combined Fuel Cell* tendrá un peso menor, dado que la Célula MCFC integrada trabajará como un reformador que produce electricidad. Además, el tamaño del equipo a embarcar a bordo será significativamente menor debido a la baja potencia de la célula PEM.

Adicionalmente, los mayores rendimientos conducirán a un menor consumo de combustible, con lo que es factible reducir el tamaño de los tanques de combustible o ampliar el radio de acción del buque.

En comparación con un sistema de células PEM con reformador, el sistema *Combined Fuel Cell* ofrece grandes ventajas. Aplicando las mismas restricciones de volumen y peso, el sistema estará disponible para funcionar con alto rendimiento y redundancia. Puede adaptarse a diferentes tipos de combustible en función de los deseos del cliente final. La alta integración del sistema ofrece una reducción significativa de la firma térmica y aumenta el radio de acción del buque. Su flexibilidad en cuanto al combustible a utilizar, seguridad y emisiones lo convertirán, en un futuro, cuando esté plenamente desarro-

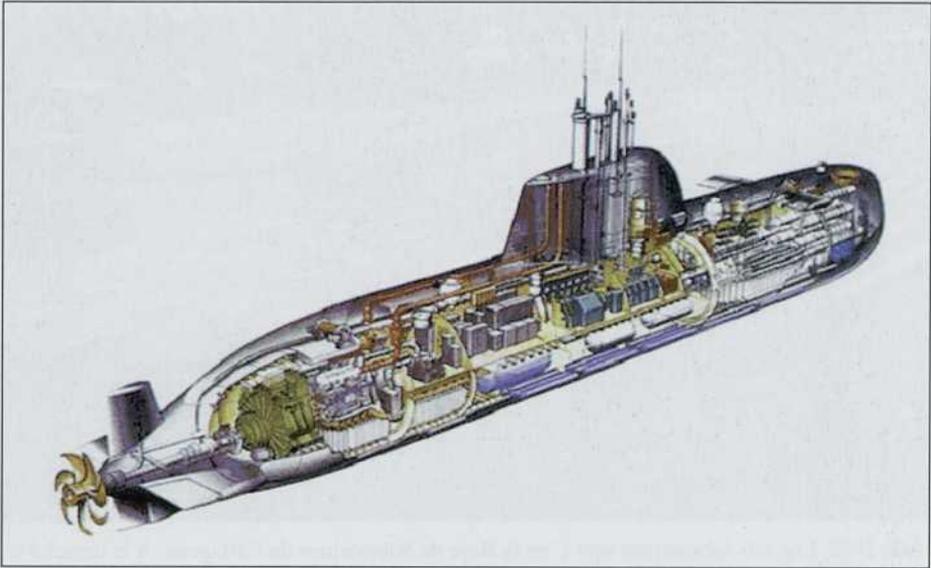


El primer buque tipo 212 A con la grada cubierta de HdW.

llado, en una de las opciones preferidas para su integración en submarinos.

Pese a esta solución, persisten varios problemas inherentes a este sistema, que a continuación se enuncian brevemente:

- No existe constancia de que las propias células de combustible sean resistentes al choque, cualidad no sólo deseable, sino obligatoria en los buques de combate, y con mayor razón en los submarinos.
- Dado que en una unidad subacuática no existen fuentes de calor para proceder a estos reformados, es más que dudoso que, por el momento, las células de combustible tengan éxito en esta aplicación.
- Por el momento, todos los submarinos equipados con células de combustible tienen como combustible hidrógeno puro almacenado en tanques de hidruros metálicos.
- Con el sistema *Combined Fuel Cell* se ahorra el reformado del combustible, pero a costa de:
 - Introducir una célula adicional de media temperatura.
 - Los tiempos de entrada en funcionamiento de esta nueva célula son muy altos (a veces de varios días), hasta que se alcanza la temperatura de funcionamiento.
 - En caso de apagar la célula de media temperatura, para que siga



Sección de un buque del tipo 214 (Grecia y Corea del Sur).

trabajando la célula PEM, es preciso disponer de tanques de hidrógeno, lo que lleva a los mismos problemas que en la célula PEM simple.

En resumen, las células de combustible son un sistema no maduro, que tiene gran provenir, pero que tardará un tiempo de 20 ó 25 años en estar plenamente desarrollado.

