

LA CELDA DE COMBUSTIBLE, UNA ALTERNATIVA DE PROPULSION INDEPENDIENTE DE LA ATMOSFERA

*Heinrich Obermüller Canales, Phd
Capitán de Corbeta*

INTRODUCCION

DESDE hace algunos años la importancia relativa de los distintos agentes involucrados en el desarrollo de la guerra ha ido variando, a tal grado que hoy en día la aviación y los misiles, que hasta hace poco tenían un rol subsidiario, han pasado, en menos de cuarenta años, a tener un rol protagónico creciente. La última y mejor demostración de esta aseveración fue la Operación Tormenta del Desierto, en la que las fuerzas terrestres ingresaron al frente de combate cuando la moral y el equipamiento del enemigo habían sufrido un cuantioso castigo.

La guerra naval no ha estado exenta de esta evolución y es así como los buques capitales son cada vez menos numerosos (con la notable excepción de los portaaviones, por razones obvias) y las unidades pequeñas con gran movilidad y gran poder de fuego, basado principalmente en misiles, han aumentado considerablemente su importancia relativa. En este contexto, los submarinos son un arma especialmente eficaz y respetada, que ha experimentado un desarrollo tecnológico substancial en los últimos cuarenta años.

De particular relevancia en este desarrollo han sido los sistemas de Propulsión Independiente

de la Atmósfera (AIP, Air Independent Propulsion), que paulatinamente han ido haciendo al submarino menos vulnerable al eliminar o disminuir los períodos de aflorada para recargar las baterías. De los sistemas disponibles, sin duda que el más exitoso es la propulsión nuclear. Como demostración baste recordar que un solo submarino británico con propulsión nuclear fue capaz de neutralizar a la Armada de Argentina (Guerra de las Malvinas o Falkland). Sin perjuicio de lo anterior y debido al alto costo de los submarinos nucleares y a la madurez tecnológica que es preciso tener como nación para operar unidades de esa naturaleza, distintas entidades gubernamentales y no gubernamentales de diversos países industrializados han propiciado el desarrollo de otras tecnologías aplicables a la propulsión AIP.

ALTERNATIVAS DE PROPULSION AIP

Las alternativas de propulsión AIP que han sido postuladas son las siguientes:

— Propulsión nuclear. Emplea un reactor de potencia, normalmente del tipo PWR, para producir el vapor que mueve al turbogenerador.

— Propulsión anaeróbica nuclear. Emplea un reactor de baja potencia para producir oxígeno. Es un sistema híbrido¹ que requiere una

¹ La denominación "sistema híbrido" se refiere a que el submarino sigue empleando bancos de baterías como su fuente de energía eléctrica en combate y usa los otros sistemas como fuente de suministros de energía en condiciones normales de patrulla, aumentando con esto el tiempo en la mar y disminuyendo el uso de el esnórquel.

sección del submarino para el reactor (Canadá, Francia).

— Motor diesel de ciclo cerrado. Emplea un motor diesel de baja potencia con inyección de oxígeno desde estanques y tratamiento de los gases de descarga. Es un sistema híbrido que requiere una sección del submarino para el motor y el estanque de oxígeno (Maritalia, Italia; Bruker, Alemania).

— Motor Stirling de ciclo cerrado. Emplea un motor Stirling de baja potencia. Es un sistema híbrido que requiere una sección del submarino para el motor y el estanque de oxígeno (Kockums, Suecia).

— Celdas de combustible. Serán descritas en detalle, pues el propósito de este artículo es familiarizar a los lectores con estas celdas. En

la actualidad es un sistema híbrido, pero puede llegar a ser un sistema de propulsión autosuficiente (Siemens/H&W/Ferrostaal/IKL, Alemania).

LA CELDA DE COMBUSTIBLE

¿Qué es una celda de combustible?

La celda de combustible es una unidad de conversión electroquímica que transforma la energía química de un combustible en energía eléctrica. Las celdas de combustible producen corriente continua de bajo voltaje, tal como las baterías. La diferencia radica en que en las baterías la electricidad es producida consumiendo el combustible (compuesto químico) que se encuentra en el interior de la unidad y en la celda de combustible éste es alimentado a la celda en forma continua (ver figura 1).

Podemos vislumbrar algunas ventajas de la celda de combustible respecto de otras alternativas energéticas.

La primera es que la conversión de energía es directa, de química a eléctrica, por lo que no se encuentra sujeta a las restricciones del Ciclo de Carnot, al que están sometidas todas las máquinas que generan calor como paso intermedio para generar energía eléctrica (ver figura 2). En efecto, las turbinas a vapor, las turbinas a gas, los motores de combustión interna, etc., están sujetos a esta restricción termodinámica y sus eficiencias globales no superan el 30 al 40 por ciento. Por el contrario, la celda de combustible, al ser una transformación directa de energía puede alcanzar, con el grado de desarrollo actual, una eficiencia de entre 40 a 70 por ciento (ver figura 3), dependiendo del sistema empleado.

La segunda, por cierto muy importante, es que el combustible y el oxidante que emplea, hidrógeno y oxígeno, respectivamente, son muy abundantes en nuestro

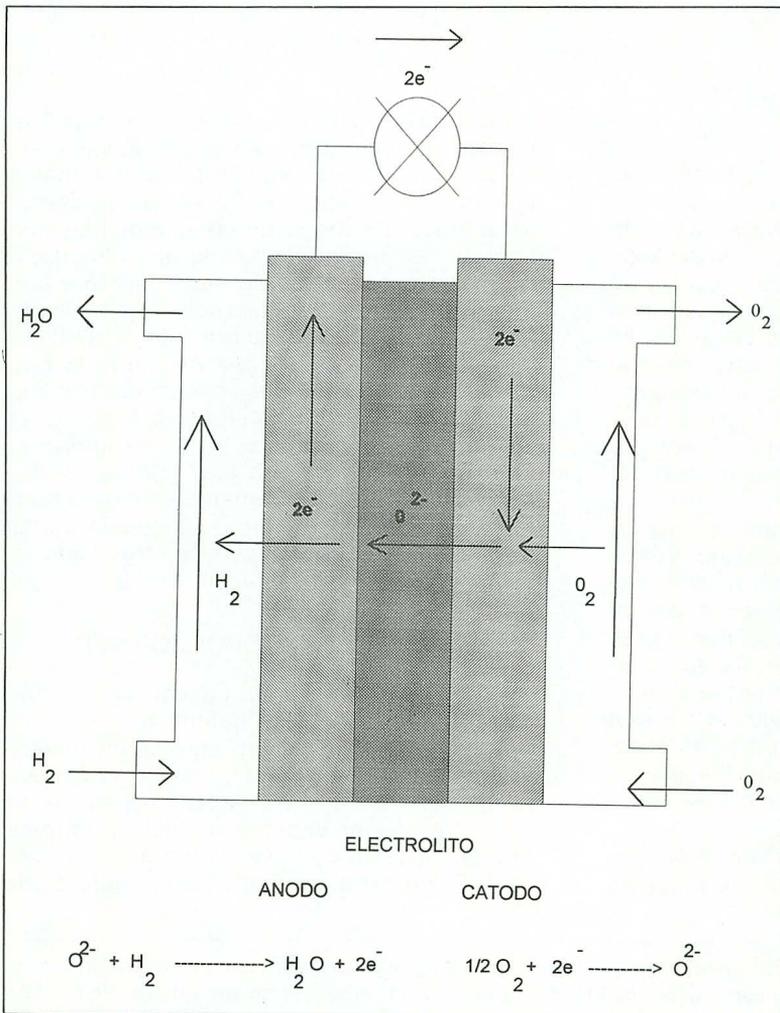


Figura 1. Esquema de una celda de combustible

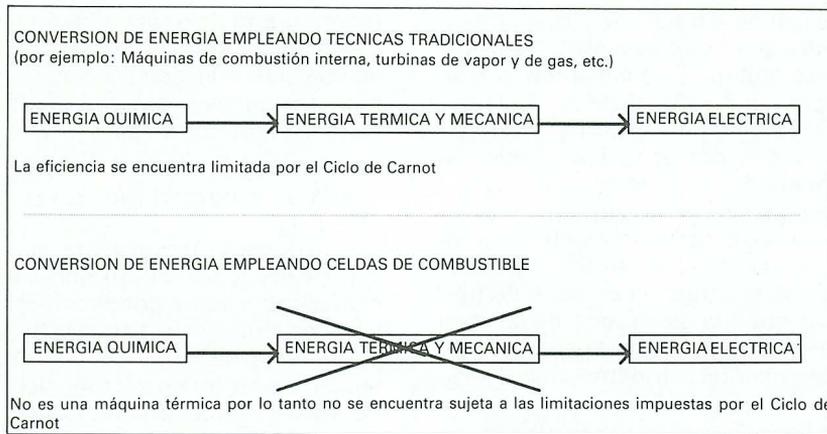


Figura 2. Diferencias en la conversión de energía

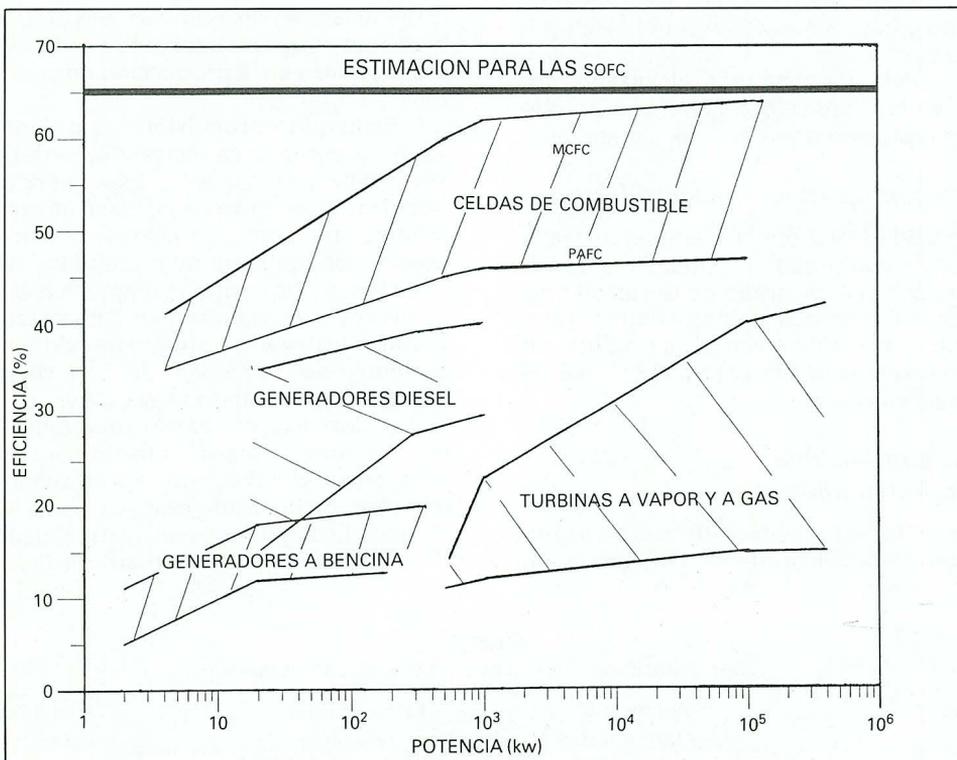


Figura 3. Relación entre potencia y la eficiencia para distintas tecnologías

planeta y pueden ser almacenados en estanques dentro o fuera del casco de presión del submarino.

¿Cómo funciona la celda de combustible?

Como se aprecia en la figura 1, una celda de combustible de óxidos sólidos elemental de

oxígeno-hidrógeno está compuesta por un ánodo, un cátodo y un electrólito. En la interfase entre el ánodo y el electrólito se produce una reacción electroquímica entre los aniones de oxígeno que migraron a través del electrólito y el hidrógeno que es alimentado por el lado aniónico de la celda. Los productos de esta reacción son agua y electrones. Los electrones

viajan hacia el cátodo a través del "consumo", que se encuentra en la conexión eléctrica física que existe entre ambos. Este consumo puede ser, por ejemplo, un motor eléctrico. En la interfase entre el cátodo y el electrolito los electrones se combinan con el oxígeno que es alimentado por el lado catódico de la celda, produciendo los aniones oxígeno, que son los que, tal como fue indicado precedentemente, migran hacia el ánodo a través del electrolito. Con esta información y con el esquema presentado podemos concluir que los electrodos deben ser conductores eléctricos porosos al gas y el electrolito un conductor iónico impermeable al gas.

Estado de desarrollo de esta tecnología

Como se puede apreciar en la Tabla 1, existen diversos sistemas de celdas de combustible clasificados, básicamente, según el electrolito que emplean.

Los niveles de desarrollo alcanzado también han variado considerablemente. Los sistemas más representativos son los siguientes:

Celda de combustible con ácido fosfórico

Esta celda (PAFC) opera a temperaturas de alrededor de 200 grados Celsius. Es la que se encuentra con mayor grado de desarrollo, especialmente en Estados Unidos y Japón. Tanto es así que ya han sido efectuadas pruebas con celdas de combustible de 12 kw, 40 kw y 4,8 mw de potencia eléctrica.

Celda de combustible con carbono fundido

Esta celda (MCFC) es considerada de segunda generación debido a su mejor eficiencia y su

menor grado de desarrollo. Su temperatura de operación es entre 600 y 700 grados Celsius. Se estima que aún persisten numerosos problemas por resolver antes de poder pasar de la etapa de laboratorio a un nivel mayor.

Celda de combustible con óxidos sólidos

Esta celda (SOFC) es la que se encuentra menos desarrollada. Su particularidad es que el electrolito es un conductor iónico cerámico, vale decir, un sólido, lo que la hace más práctica y resistente. Con el objetivo de aumentar la movilidad de los iones a través del cerámico, éste debe ser extremadamente delgado, algunas decenas de micrones, y operar a temperaturas cercanas a los mil grados Celsius. Nada de esto es trivial, por lo que esta tecnología es considerada la del futuro en este ámbito. Sin embargo, debido a sus características es la que tiene mejores proyecciones en la producción de energía eléctrica.

En lo que a propulsión naval se refiere, en 1980 las compañías Howaldtsweerk-Deutsche Werft (HDW), Ferrostaal e Ingenieurkontor Lubeck (IKL) decidieron desarrollar un sistema de propulsión basado en celdas de combustible usando los módulos de celdas fabricados por Siemens. Estos módulos emplean hidrógeno y oxígeno y son especialmente apropiados para propulsión naval. Un arreglo de celdas alcalinas de hidróxido de potasio de 7 kw de potencia eléctrica es conectado en serie para producir el voltaje deseado. Varios de estos conjuntos pueden ser conectados en paralelo para aumentar la potencia. El hidrógeno es almacenado a baja temperatura enlazado químicamente en hidruros metálicos y el oxígeno, como oxígeno líquido, en estanques especialmente aislados de do-

Tabla 1
Comparación entre distintas celdas de combustible

Tipo electrolito	Tolerancia a las impurezas		Temp de oper. 01000	Nivel de desarrollo	
	baja	alta		bajo	alto
Acido fosfórico (PFC)	_____		X		_____
Carbonato fundido (MCFC)	_____		X		_____
Oxidos sólidos (SOFC)	_____		X		_____
Alcalinas (AFC)	_____		X		_____

ble pared. La figura 4 presenta un esquema simplificado de un sistema de propulsión basado en celdas de combustible.

¿Qué puede ser hecho en Chile?

Por una parte existe a nivel mundial gran interés y expectativas respecto de esta tecnología y por otra los mayores problemas están representados por los materiales empleados y por el manejo de gases a temperaturas elevadas. La Comisión Chilena de Energía Nuclear (CChEN) se encuentra en inmejorable posición para enfrentar este desafío tecnológico, no sólo por los excelentes laboratorios de materiales

cerámicos que posee, sino también por contar con profesionales con conocimientos multidisciplinarios. Conforme con lo expuesto, la CChEN en conjunto con la Universidad de Chile han presentado un proyecto de desarrollo preliminar en celdas de combustible al Concurso de Proyectos Fondecyt de 1992. De ser seleccionado el proyecto en cuestión se estaría comenzando en el país un desarrollo tecnológico de gran interés para la Armada de Chile en particular y para el país en general, por cuanto las celdas de combustible no sólo son una fuente de energía para propulsión naval, sino también una nueva fuente energética de insospechados potenciales.

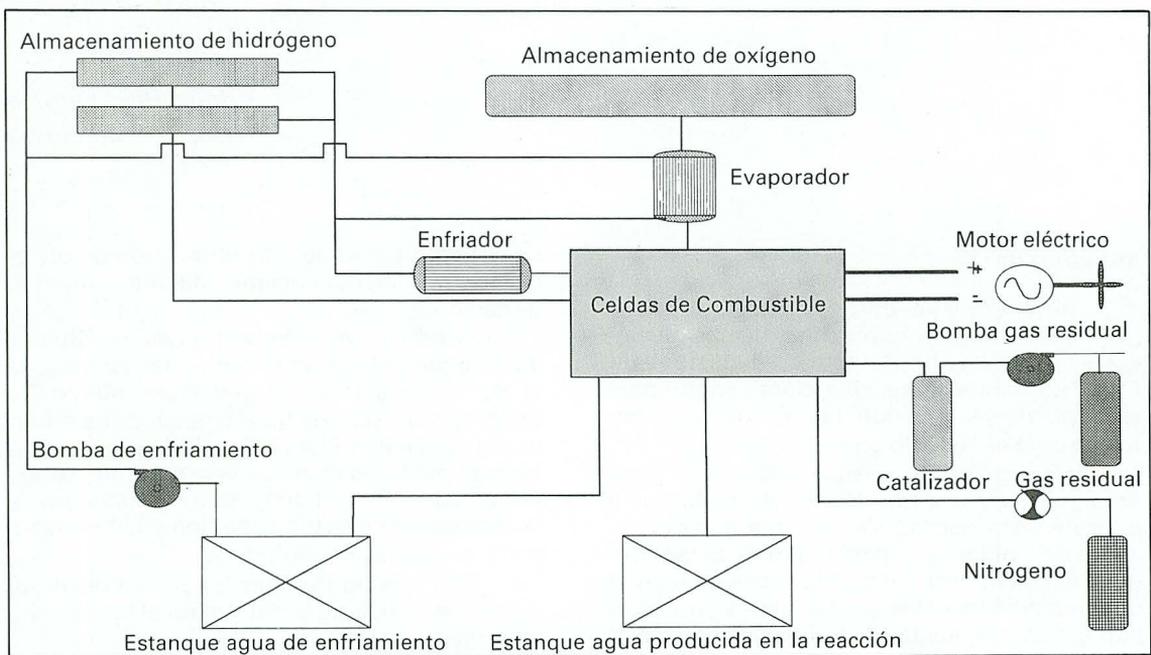


Figura 4. Esquema simplificado de un sistema de propulsión basado en celdas de combustible

BIBLIOGRAFIA

- "Underwater Power Supplies", *Underwater Systems Desing*, July 1990.
- Vergara, J.A.: "Nuclear Propulsión in Naval Ships. Issues and Trade Offs", Presentation, PhD Research Programme, MIT, Dec, 1991.
- Obermöller, H.R.: "Celdas de Combustibles, tecnología energética emergente", Boletín Interno de la CChEN, enero-abril de 1992.
- Idem: "Fondecyt. ¿Por qué no participar?", *Revista de Marina* N° 4/1992, pp. 413-416.