



Trigeneración con pila de combustible en la sede del Grupo Gas Natural

Marzo 2009

El Grupo Gas Natural ha apostado por la opción de las pilas de combustible de alta temperatura como tecnología apta para generar electricidad de modo eficiente en el sector terciario y con la posibilidad de un alto aprovechamiento del calor del proceso de la pila. Para ello, ha puesto en marcha una operación, considerada de demostración, en el edificio de su sede social en Barcelona, con una generación de 200 kW eléctricos mediante pila de combustible y aprovechamiento del calor para producción de agua caliente y fría simultáneamente.

■ **Antoni Julià Sirvent**, Dirección de Tecnología, ajulia@gasnatural.com

■ Los combustibles fósiles seguirán teniendo un rol relevante en el escenario energético aún durante unas décadas. Sin embargo, su uso deberá ser cada vez más eficiente, no tan sólo por ahorro económico y buena gestión de los recursos finitos, sino fundamentalmente como una acción para mitigar el cambio climático. En el campo de la generación eléctrica, el gas natural ya ofrece tecnologías eficientes con el concepto de ciclo combinado, apto para plantas de potencias elevadas (turbina de gas y de vapor combinadas). Queda ahora el reto de poder acercar la generación eficiente a las potencias medias y bajas para permitir el desarrollo del concepto de la generación eléctrica distribuida. Para alcanzar eficiencias elevadas en generación de baja potencia se hace necesaria la introducción de nuevas tecnologías conjuntamente con el máximo aprovechamiento del calor que toda transformación de energía conlleva.

La tecnología de la pila de combustible

Empecemos por la pila del reloj, de la linterna, del teléfono móvil, el acumulador del coche, etc. Estas pilas son dispositivos que almacenan un par de componentes químicos, que al reaccionar generan una diferencia de potencial. Esta diferencia de potencial es la que da lugar a una corriente eléctrica en el equipo que alimenta. La pila proporciona energía hasta que los componentes reaccionantes

que contiene se agotan. Llegado a este punto, la pila ya sólo puede ir a su correspondiente contenedor para reciclaje o ser recargada de nuevo si es de tipo recargable (la recarga supone forzar la reacción química inversa para regenerar los componentes a partir de los productos de reacción).

La reacción electroquímica en la pila supone el movimiento de unas cargas eléctricas en su interior, que se compensan con una circulación de electrones por un circuito eléctrico exterior, que es el efecto deseado.

Cómo funciona

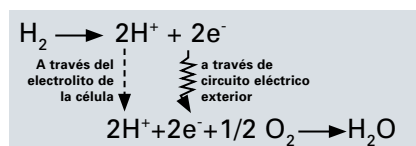
La pila de combustible, a diferencia de la pila “clásica”, no almacena los componentes reaccionantes. La pila de combustible es tan sólo el dispositivo donde aquéllos reaccionan para generar energía eléctrica; los componentes reaccionantes son aportados continuamente desde el exterior. A mayor tamaño de la pila de combustible, más potencia podrá entregar, pero la cantidad total de energía eléctrica generada sólo depende de la cantidad de componentes reaccionantes que se le han aportado. Hasta la fecha, la generación química de energía eléctrica (las pilas “clásicas”) se ha limitado a potencias muy pequeñas, donde los precios de esta generación no se ven ligados a los del mercado de la energía. Posiblemente ninguno de nosotros sepa, ni tampoco nos preocupe, cuánto costaría el kWh generado con pilas como la del despertador, por poner sólo un ejemplo. La generación eléctrica por vía química es muy cara, por lo que en potencias medianas y grandes ha seguido utilizándose el alternador, una máquina rotativa arrastrada por un elemento primario: una turbina hidráulica, de gas, de vapor, un motor, las aspas de un generador eólico, etc.

La pila de combustible es el primer dispositivo electroquímico que permite pensar en que su precio evolucionará a la baja hasta hacerlo competitivo con la generación eléctrica tradicional, al menos en ciertas aplicaciones. A la evolución favorable de su precio, hay que añadir otras ventajas como la ausencia de elementos móviles, con la consiguiente ausencia de vibraciones, y un mayor rendimiento.

En párrafos anteriores, para introducir el concepto de la pila de combustible a partir de la pila “clásica” se ha hablado



genéricamente de componentes reaccionantes; sin embargo, en las pilas de combustible estos componentes se limitan al hidrógeno y al oxígeno. Algunos equipos para aplicaciones de generación eléctrica estacionaria incorporan a la pila de combustible propiamente dicha sistemas auxiliares previos para obtener el hidrógeno a partir de hidrocarburos, entre ellos el gas natural, o alcoholes. Del hecho de que tanto alcoholes como hidrocarburos sean combustibles procede la denominación genérica de *pila de combustible* dada a esta tecnología. El núcleo de una pila de combustible está integrado por la agrupación de un conjunto de células elementales, cada una de las cuales genera una diferencia de potencial de un valor inferior a un voltio. La agrupación de células en una pila permite alcanzar diferencias de potencial mayores, adecuadas para los servicios a que se destine. En una célula básica de hidrógeno, éste se disocia en el cátodo, sobre un catalizador, en iones positivos (protones) y cargas negativas (electrones). Los protones se desplazan hasta el ánodo a través del electrolito de la célula. Los electrones recorren un circuito eléctrico exterior para alcanzar también el ánodo, donde se combinan con oxígeno y los protones para producir agua. Es el desplazamiento de estos electrones por un circuito exterior el que constituye una intensidad de corriente eléctrica útil.



El que se ha descrito es el proceso más simple en una célula de combustible, aunque no el único; otros son más complejos en sus mecanismos de movimientos de iones en el interior de la pila. Todos ellos tienen en común que se alimentan con hidrógeno y oxígeno, generan una corriente eléctrica y expulsan solamente agua.

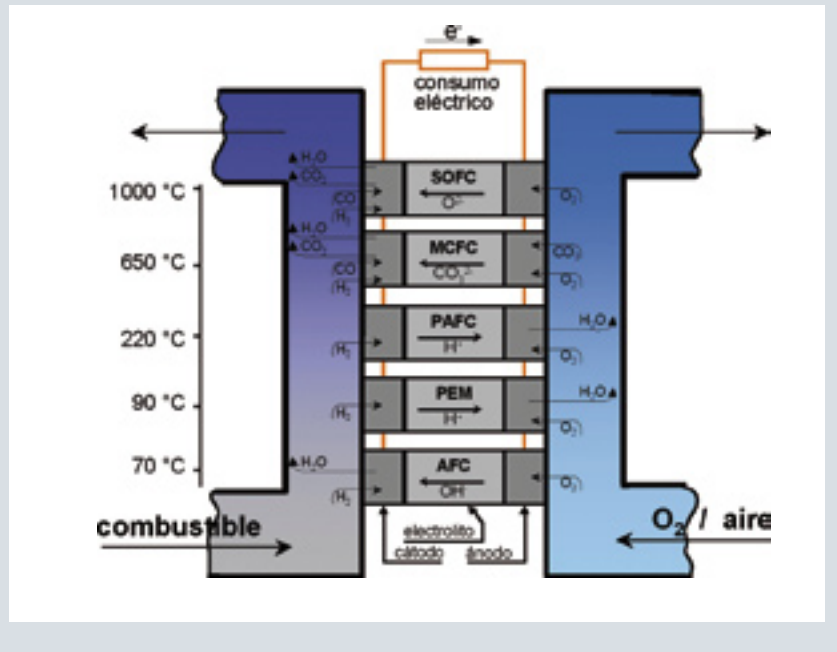
Del mismo modo que existen distintos tipos de pilas secas y acumuladores denominados por la naturaleza química de sus componentes (alcalinas, salinas, de ion-litio, de plomo-ácido, etc.), también hay distintas tecnologías de pilas de combustible que se distinguen por el electrolito que utilizan y que se enumeran a continuación (empezando por las que trabajan a menor temperatura hasta las que lo hacen a temperaturas del orden de los 1.000°C). El esquema de la página siguiente muestra el escalado de temperaturas y el tipo de cargas eléctricas transportadas internamente.

Alcalinas (AFC, *Alkaline Fuel Cell*), cuyo medio electrolito es un álcali, normalmente KOH; son las que trabajan a menor temperatura, del orden de 70°C. El portador de carga eléctrica es el grupo hidroxilo OH⁻.

De membrana de intercambio de protones (PEM, *Proton Exchange Membrane*) o de polímero sólido (SPFC, *Solid Polymer Fuel Cell*), trabajan a temperaturas cercanas a los 90-100°C. El portador de carga es un protón H⁺.

De ácido fosfórico (PAFC, *Phosphoric Acid Fuel Cell*), trabajan a temperaturas sobre los 200°C y su portador de carga es un protón H⁺. →

Niveles de temperatura y flujos de iones que se desplazan en las distintas tecnologías de células de combustible



De carbonatos fundidos (MCFC, *Molten Carbonate Fuel Cell*), trabajan a temperaturas alrededor de 650°C y el portador de cargas es el ion carbonato, CO_3^{2-} , de sales fundidas de metales alcalinos.

De óxidos sólidos (SOFC, *Solid Oxide Fuel Cell*), trabajan a temperaturas altas, alrededor de los 950°C y su portador de cargas es el ion oxígeno O^{2-} .

Entre los tipos de pilas de combustible enumerados, las de tecnología MCFC y SOFC, por sus altas temperaturas de trabajo, permiten efectuar un reformado interno con el que obtener el hidrógeno a partir de gases ricos en él como el gas natural o el biogás. Por ello las pilas de carbonatos fundidos y las de óxidos sólidos se manifiestan como las tecnologías más aptas para aplicaciones estacionarias de cogeneración alimentadas directamente con gas natural.

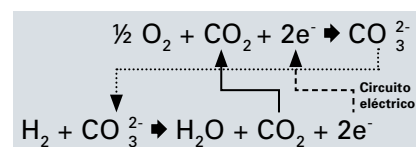
Instalación en el edificio de la Barceloneta

El conjunto de edificios de la Barceloneta aloja una instalación pionera de pila de combustible para la generación de electricidad, a la vez que produce agua caliente y fría (trigeneración). Esta pila es la única operativa a esta escala en España y una de las pocas en Europa.

Como equipo de generación eléctrica, se ha escogido una pila de combustible de carbonatos fundidos (MCFC) con una

potencia nominal de 200 kW para operación continua, denominada HotModule, desarrollada por MTU Onsite Energy GmbH en Alemania. Se ha escogido este equipo por la idoneidad de la tecnología MCFC para cogeneración y por encontrarse en un estado avanzado de desarrollo próximo a su normal comercialización.

En el HotModule (como en todas las MCFC), el transporte interno de cargas eléctricas y del oxígeno comburente se efectúa con la participación del anión carbonato. En la figura de la página 24, un flujo circulante de dióxido de carbono (CO_2) se oxida a ion carbonato CO_3^{2-} con oxígeno del aire y un par de electrones procedentes de un circuito eléctrico exterior. El CO_3^{2-} , en forma de sales fundidas a 650°C (de sodio y potasio fundamentalmente), atraviesa el electrolito de las celdas de la pila para reaccionar con el hidrógeno. En esta reacción se forma agua, se restituye el CO_2 y se liberan un par de electrones que constituyen la corriente eléctrica deseada.

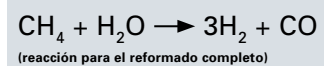


En esta tipología de pila de combustible, el monóxido de carbono (CO) que

podiera acompañar al hidrógeno, procedente de un reformado incompleto, no es un veneno para los catalizadores sino un combustible capaz de oxidarse a CO_2 .

Los flujos de la instalación empiezan por la alimentación con gas natural que aporta energía e hidrógeno, agua que aporta hidrógeno adicional y aire que aporta el oxígeno para la combustión electroquímica.

Un primer módulo del sistema (MediaSupply) es responsable de acondicionar las entradas para su función en la pila: se desulfura el gas natural que le llega de la red de distribución (eliminación del odorizante), se desmineraliza el agua proveniente de la red pública y se filtra y presuriza ligeramente el aire. El gas natural y el agua, ya acondicionados para proceso, reaccionan entre sí (reformado) para generar un gas de síntesis (conocido también como *syngas*, gas pobre o gas de gasógeno), que tiene ya un contenido en hidrógeno superior al 25%.



La reacción de reformado tiene lugar bajo los efectos de la alta temperatura de los humos que proceden de la pila a una temperatura cercana a los 600°C; tras ceder energía térmica al reformado, dejan el MediaSupply a 350°C. Con el gas de síntesis obtenido se alimenta la pila propiamente dicha (HotModule). En el núcleo de la pila de combustible (*stack*) se produce un ulterior reformado del gas de síntesis hasta obtener una corriente gaseosa con más del 80% del hidrógeno teóricamente obtenible. Con este hidrógeno y con el oxígeno aportado por el aire la pila genera una intensidad de corriente eléctrica continua, a 300 V (la pila de combustible genera corriente continua como las pilas "clásicas"). La reacción tiene lugar a 650°C y genera humos con un alto nivel térmico que se utilizan para mantener la reacción de reformado que tiene lugar en el MediaSupply. La corriente continua se convierte en alterna a 400 V mediante dispositivos de electrónica de potencia. La entrega de potencia eléctrica a la red de distribución eléctrica se efectúa a 25.000 V, por lo que se ha instalado la correspondiente sala de transformación 400 V-25 kV.

Instalación de cogeneración con pila de combustible

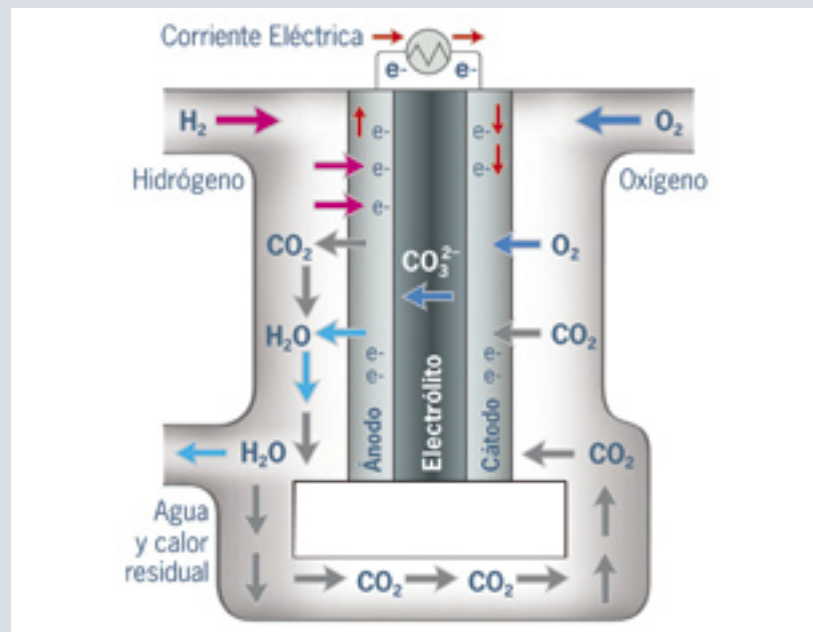


La temperatura de los humos emergentes de la pila, tras entregar parte de su calor a la reacción de reformado en el MediaSupply, desciende hasta los 350°C. Este nivel de temperatura significa una elevada energía térmica en los humos con los que se genera directamente agua caliente en un recuperador de calor (haz multitubular de agua en la carcasa) y agua fría mediante un equipo de absorción. La disposición del recuperador de calor y del equipo de absorción es en serie sobre el conducto de humos, siendo el recuperador de calor el primero en el sentido del flujo. El equipo de absorción es de ciclo de bromuro de litio (LiBr) con aportación de energía directamente por los humos, siendo el único de este tipo operativo en Europa. Normalmente la aportación de calor a estos ciclos de absorción se efectúa mediante llama directa o mediante un fluido intermedio (agua caliente). El agua caliente producida en el recuperador de calor se aprovecha en sistemas de confort del edificio (calefacción de algunos espacios, humectación, etc.), mientras que el agua fría se destina, principalmente, a mantener la temperatura en salas de procesos de datos y de SAI asociados debido a su demanda anual.

Balance

La pila de combustible está en servicio permanente desde enero de 2008, mientras que los elementos para el aprovechamiento térmico de los humos se pusieron en

Reacciones electroquímicas de la pila de carbonatos fundidos



servicio al final de la primavera. Al cierre del año 2008, la pila había generado 1.146 MWh eléctricos, y con los humos de su proceso se habían producido 9.510 kWh en agua caliente y 137.682 kWh en agua fría. Por la eficiencia con que opera el conjunto de la instalación, ésta está inscrita en el registro de generadores de energía eléctrica en régimen especial según la legislación vigente.

A pesar de ser una tecnología novedosa en el Grupo Gas Natural y, por tanto, con la necesidad de un aprendizaje en su operación y mantenimiento sin poder

disponer o acceder a experiencia previa, su disponibilidad a lo largo de este año de funcionamiento ha sido del 95,7%. Con la información que permanentemente se obtiene del funcionamiento de la instalación se podrá disponer de los criterios suficientes para optimizar su operación desde el punto de vista energético. El Grupo Gas Natural dispondrá del *know-how* que le permita proponer a sus clientes soluciones basadas en pilas de combustible cuando sus fabricantes las tengan disponibles para comercialización. ■