

ENERGÍA

La pila de combustible, una central ecológica

Las pilas de combustible generan electricidad combinando hidrógeno y oxígeno. Los únicos subproductos de esta reacción son agua y calor →1. Es difícil imaginar una fuente de energía más ecológica. ¿Cómo pueden utilizarse las pilas de combustible para ayudar al mundo en su búsqueda de la neutralidad de carbono y qué retos nos esperan?

01



Foto: iuchischen, istockphoto.com

—
01 Con solo combinar hidrógeno y oxígeno para producir energía eléctrica, las pilas de combustible constituyen una forma extremadamente ecológica de generar energía. Incluso los subproductos de la reacción de la pila de combustible (agua y calor) pueden ser beneficiosos.

El aumento de la urbanización está incrementando la demanda mundial de energía [1], una demanda que a menudo se satisface con combustibles fósiles como petróleo, gas y carbón →2. En los países en desarrollo, por ejemplo, a pesar del uso creciente de fuentes de energía renovables, alrededor del 70 % sigue abasteciéndose de combustibles fósiles no renovables.

Las fuentes de combustibles fósiles son limitadas y su extracción es cada vez más difícil y cara. Y no solo eso, sino que su uso aumenta los niveles de gases de efecto invernadero (GEI), el agotamiento de la capa de ozono, los daños por lluvia ácida, la contaminación atmosférica y el cambio climático. Además, la propia cadena de suministro de los combustibles fósiles puede tener también efectos adversos, como la contaminación del aire y el agua y otros peligros que pueden derivarse de la extracción, el transporte y el procesamiento de combustibles.



Mahesh Vaze
ABB Corporate Research
Bangalore, India

mahesh.vaze@in.abb.com

—
La pila de combustible solo necesita un paso para oxidar su combustible de hidrógeno en energía eléctrica.

Una forma de generar energía sin emisiones de CO₂, SO_x, NO_x o partículas es utilizar una pila de combustible.

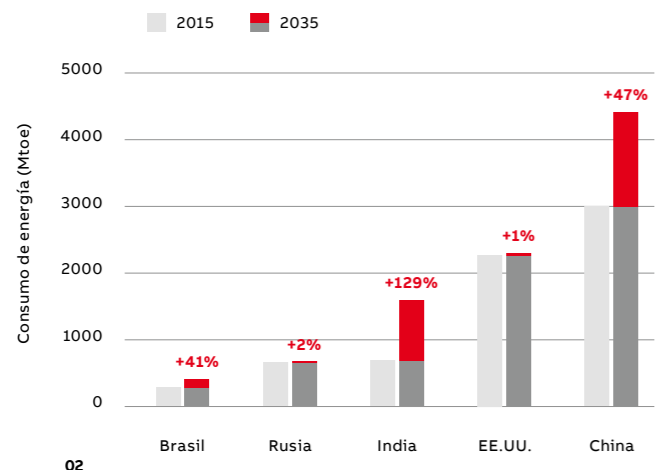


Mikko Kajava
ABB Marine & Ports
Helsinki, Finlandia

mikko.kajava@fi.abb.com

La pila de combustible

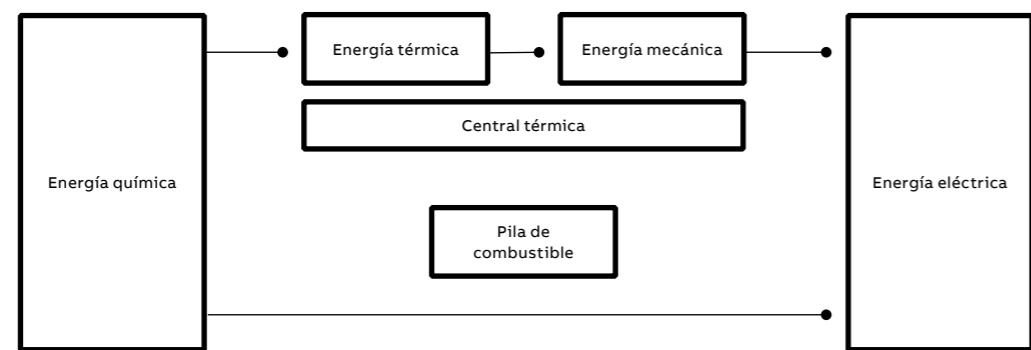
Una pila de combustible es un reactor de flujo que convierte directamente la energía química de un combustible en energía eléctrica a través de reacciones electroquímicas. Mientras que un motor de combustión sigue un proceso de varios pasos (desde el químico hasta el térmico, pasando por el mecánico y el eléctrico) para convertir la energía química de un combustible en electricidad, la pila de combustible solo necesita un paso para oxidar su combustible hidrógeno y convertirlo en energía eléctrica →3. Los productos de esta conversión son electricidad, agua



y calor. El agua y el calor se eliminan para mejorar el funcionamiento de la pila de combustible. El oxígeno puede obtenerse del aire ambiente y, si se utiliza hidrógeno procedente de fuentes sostenibles, no se producen gases de efecto invernadero. No se emiten contaminantes y, por lo tanto, no existe riesgo de incumplimiento de las normativas medioambientales y de salud pública.

Las pilas de combustible se inventaron en 1839 por Sir William Robert Grove, un físico galés, y posteriormente la NASA las utilizó para el suministro de agua potable y electricidad en los vehículos espaciales. Si bien los primeros accidentes con hidrógeno (como el desastre de Hindenburg) dificultaron el desarrollo de la pila de combustible durante algún tiempo, los recientes avances técnicos han dado lugar a una tecnología de pila de combustible fiable, segura y ampliamente aceptada por los sectores público y privado. Hay muchos tipos de pilas de combustible →4.

Debido a la modularidad inherente de la pila de combustible, se le vaticina un brillante futuro en aplicaciones estacionarias, portátiles y de transporte →5.



Aplicaciones estacionarias de las pilas de combustible

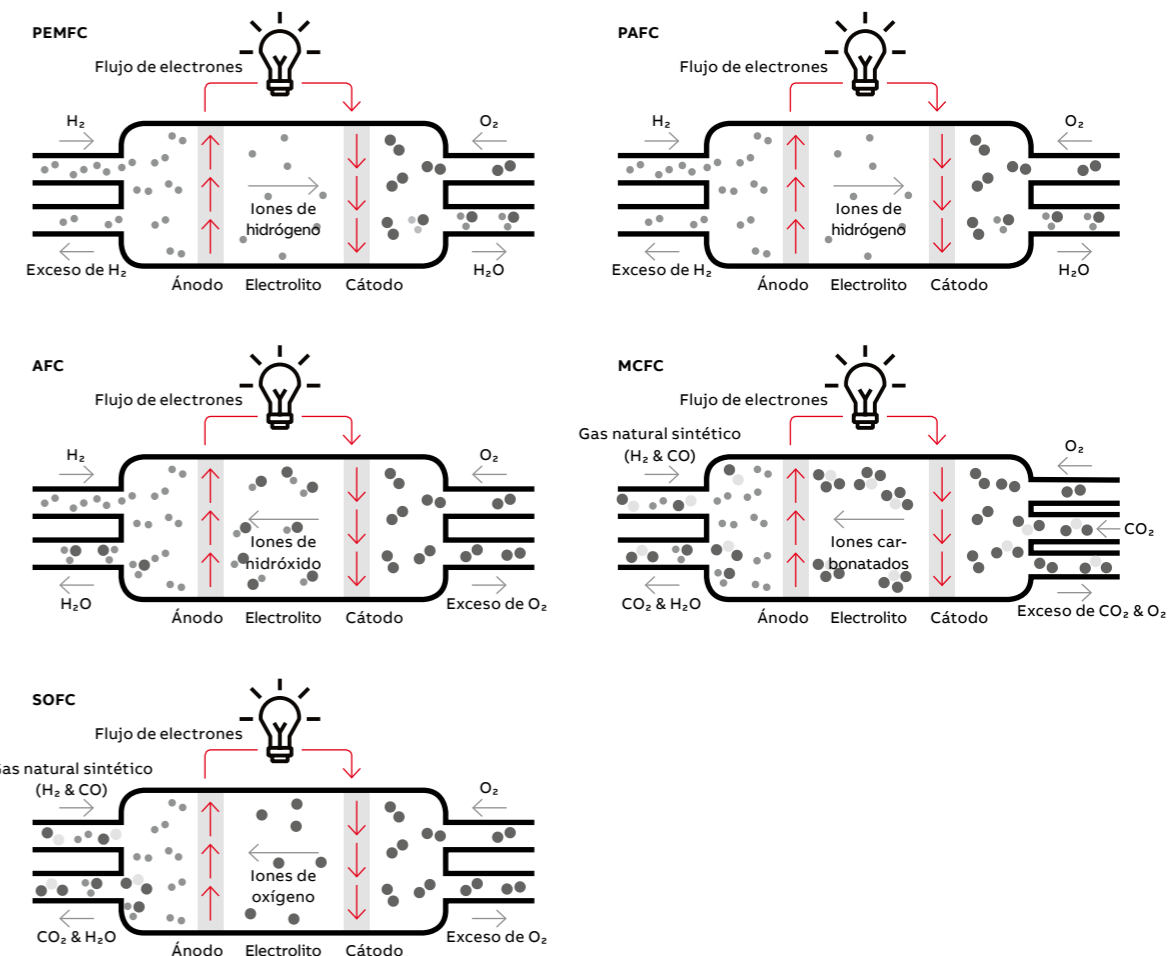
Las plantas de pilas de combustible estacionarias proporcionan una energía distribuida limpia, eficiente y fiable. La continua reducción del coste de las pilas de combustible y la mejora de su eficiencia constituyen un binomio favorable para el ahorro y la sostenibilidad, como confirma el aumento de estas plantas en los últimos años →6.

Actualmente, el parque de pilas de combustible más grande del mundo, construido por FuelCell Energy Inc. en 2014, cuenta con 59 MW y da soporte a la ciudad de Hwasung, Corea del Sur [3]. Esta planta funciona con hidrógeno obtenido del suministro de gas natural al sistema local de calefacción urbana.

Otra implementación con éxito de la pila de combustible es un sistema de 300 kW en Fenchurch Street, Londres [4]. El reto aquí era la integración del sistema de pila de combustible en un edificio establecido con espacio limitado. Así, la pila de combustible se integró en la configuración de refrigeración, calefacción y electricidad del edificio. Con esta instalación se consigue una reducción de emisiones de 18 000 Kg de contaminantes y 1800 toneladas de CO2 en comparación con un sistema equivalente de generación de energía basado en combustión convencional.

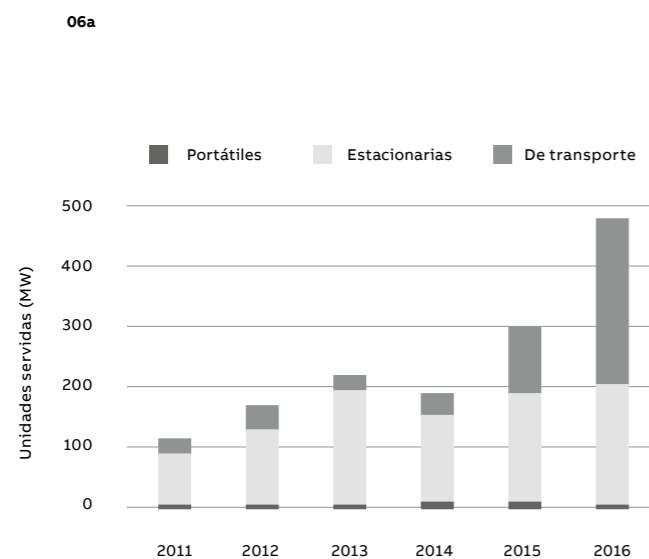
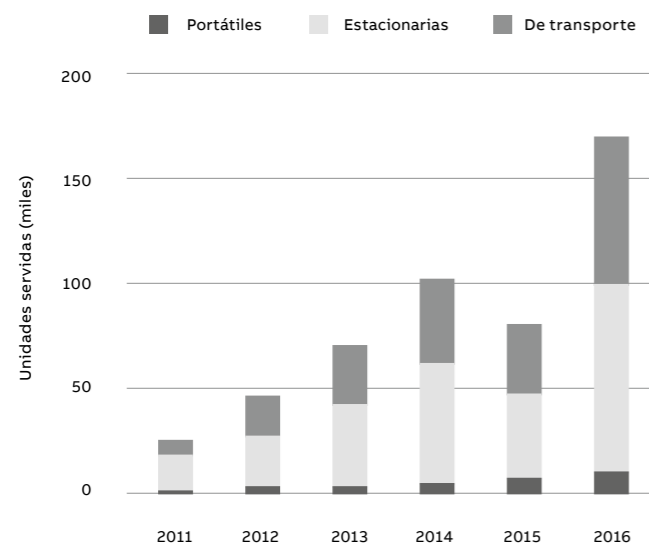
Debido a la modularidad inherente de la pila de combustible, se le vaticina un brillante futuro en aplicaciones estacionarias, portátiles y de transporte.

- 02 Consumo total de energía primaria en millones de toneladas equivalentes de petróleo [1].
- 03 Proceso de producción de energía en una pila de combustible.
- 04 Tipos de pila de combustible.
- 05 Aplicaciones de pilas de combustible.



	PEMFC/PEFC Pila de combustible de membrana de intercambio de protones o de electrolito polimérico	PAFC Pila de combustible de ácido fosfórico	AFC Pila de combustible alcalina	MCFC Pila de combustible de carbonato fundido	SOFC Pila de combustible de óxido sólido
Aplicaciones	Energía estacionaria, calor y electricidad combinadas, transporte	Generación de energía estacionaria y cogeneración (principalmente en hospitales debido a la temperatura de salida del agua utilizada para el proceso de esterilización)	Espacio y ambiente submarino, menos la utilizada en automóviles, agua potable	Generación de energía estacionaria, centrales híbridas con turbina de gas y combinadas de calor y electricidad, industrial y militar	Energía estacionaria, potencia auxiliar en vehículos, calor y electricidad combinados
Combustible	H ₂ /reformado	H ₂ /reformado	H ₂ /reformado	H ₂ /CO/reformado	H ₂ /reformado
Oxidante	O ₂ /aire	O ₂ /aire	O ₂ /aire	CO ₂ /O ₂ /aire	O ₂ /aire
Coste	Costoso	Caro	Alto	Bajo	Bajo
Eficiencia (%)	50-60	40-55	50-60	55-65	55-65
Densidad de potencia (kW/m³)	3,8-6,5	0,8-1,9	1	1,5-2,6	0,1-1,5
Rango de potencia (kW)	1-250	50-200	1-100	1000-2000	1-900
Temperatura de funcionamiento (°C)	60-200	175-200	65-200	600-650	650-1000
Riesgo	Sensibilidad del catalizador de platino a la intoxicación por CO: se necesita un reactor adicional para reducir el CO en el gas combustible si el hidrógeno procede de combustible de hidrocarburo/alcohol	Corrosión a causa de ácidos, intoxicación por CO y compuestos ricos en azufre	El electrolito alcalino reacciona con el CO ₂ presente en O ₂ /H ₂ impuro: produce intoxicación por CO ₂ y afecta a la vida útil de la pila	Las altas temperaturas de funcionamiento y el electrolito corrosivo aceleran la avería de los componentes, la corrosión y, por lo tanto, disminuyen la vida útil de la pila	Las altas temperaturas de funcionamiento reducen la vida útil de la pila

Las pilas de combustible están ahora ampliamente aceptadas como una fuente de energía alternativa en las regiones rurales donde el suministro energético no es fiable o no existe. Por ejemplo, el Poelano High School de Goedgevonden, Ventersdorp, una región rural de Sudáfrica, ha implantado con éxito la tecnología de pilas de combustible de hidrógeno para suministrar 2,5 kW para cubrir las necesidades de información, comunicación y tecnología (TIC) e iluminación del instituto. La solución es fiable, eficiente, segura y silenciosa. Estas configuraciones de pilas de combustible en miniredes pueden aliviar o expandir las redes nacionales y proporcionar beneficios sociales, políticos y económicos en regiones remotas o con problemas de abastecimiento en todo el mundo.



Aplicaciones portátiles de las pilas de combustible

Las pilas de combustible portátiles (PFC) suelen ser buenas sustitutas de las tradicionales baterías de iones de litio y de plomo-ácido gracias a su mayor densidad energética →7. Además, las PFC presentan ventajas tales como el funcionamiento fuera de la red, tiempos de ejecución más largos, recarga rápida, menor peso, comodidad, fiabilidad y bajos costes de explotación. Por lo tanto, las PFC se utilizan para aplicaciones militares, unidades de potencia auxiliar y productos portátiles como linternas y electrónica. Las PFC pueden suministrar energía en un rango de 5 W a 500 kW.

Por ejemplo, los vehículos aéreos no tripulados utilizan pilas de combustible portátiles para su sistema de propulsión primaria debido a la eficacia y fiabilidad de las pilas de combustible, su vida útil más larga y su pequeña firma térmica, acústica y de vibración. Un ejemplo es el Ion Tiger, un vehículo aéreo no tripulado propulsado por hidrógeno líquido desarrollado por el Laboratorio de Investigación Naval de los Estados Unidos, que pesa solo 17 kg cuando está equipado con 550 W de pila de combustible. El Ion Tiger puede permanecer en vuelo más de un día seguido, más de seis veces el tiempo de vuelo de un equivalente con batería. El uso de hidrógeno líquido criogénico duplica la duración de este vuelo.

Aplicaciones de transporte de las pilas de combustible

Para combatir la toxicidad del aire y la disminución de las reservas de combustibles fósiles, muchos países están desplegando infraestructuras de abastecimiento de hidrógeno para dar servicio a los vehículos de pila de combustible →8. Las autoridades municipales también están reaccionando. Por ejemplo, el Ayuntamiento de Aberdeen ha introducido la mayor flota europea de autobuses de pila de combustible de hidrógeno [6]. El primer año, la flota tuvo más de 1600 eventos de repostaje. El repostaje solo tarda entre 5 y 7 minutos. La fiabilidad y disponibilidad de la estación de abastecimiento de hidrógeno fueron extremas (99,99 %) y suministró 35 000 kg de hidrógeno. Los planificadores urbanos están planteándose ahora ampliar la flota, sobre todo porque este exitoso ejercicio les hizo merecedores del premio del Low Carbon Championship de 2016 a la iniciativa de transporte del año. En otras ciudades del mundo se han implantado con éxito autobuses de pilas de combustible similares.

Foto fig. 08: AdrianHancu, iStockphoto.com

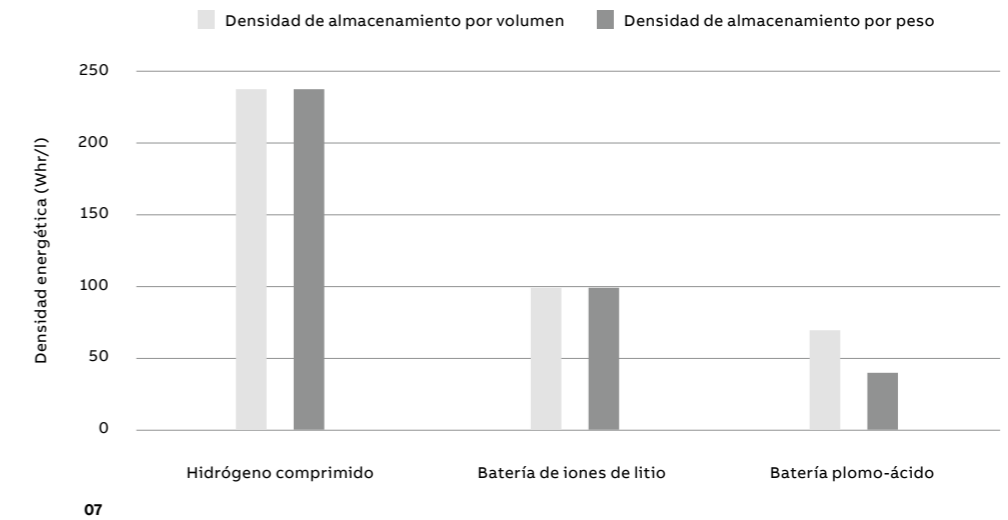
06 Sistemas de pila de combustible servidos [2].

06a unidades servidas en miles.

06b unidades servidas por año en MW.

07 Comparación de la densidad energética del hidrógeno comprimido (3 000 psi) frente a la de las baterías de iones de litio y plomo-ácido [5].

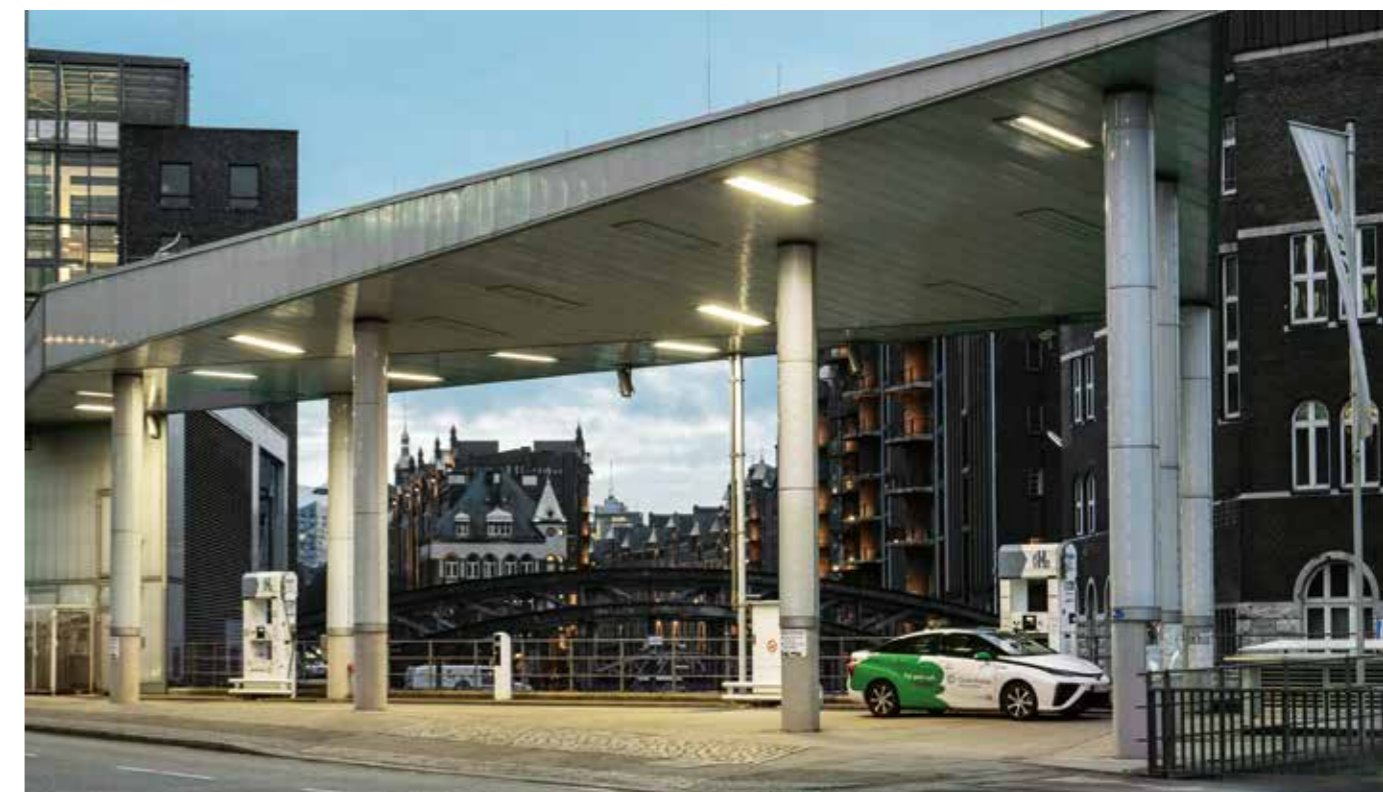
08 Las pilas de combustible limpias y de alta densidad energética son la solución ideal para impulsar el transporte en áreas urbanas.



Muchos países están desplegando infraestructuras de abastecimiento de hidrógeno para dar servicio a los vehículos de pila de combustible.

Los operadores marítimos, que representan entre el 3 y el 5 % del CO₂ mundial y más del 5 % de las emisiones globales de SO_x, también utilizan pilas de combustible y, por lo tanto, han llevado a cabo una serie de proyectos de investigación en este ámbito →9. ABB también tiene actividades de pila de combustible relacionadas con la industria marítima: el proyecto MARANDA [7], de hecho, es

una empresa conjunta formada por varias empresas financiada por la Unión Europea. El proyecto diseñará e implantará una unidad de pilas de combustible de membrana de intercambio de protones de 165 kW para su instalación a bordo del buque de investigación Aranda. El objetivo principal del proyecto de investigación es verificar la capacidad de la pila de combustible para producir energía eléctrica sin emisiones y con bajos niveles de ruido y vibraciones en el medio marino. ABB suministrará la tecnología de conversión eléctrica necesaria para conectar el sistema de pila de combustible a la planta eléctrica del buque. ABB y Ballard, en colaboración con Royal Caribbean Cruises, realizaron otro proyecto piloto de pila de combustible (100 kW de capacidad) [8].



08



09 El Energy Observer es el primer buque de hidrógeno del mundo. Este antiguo barco de regatas no emite gases de efecto invernadero ni partículas finas y produce hidrógeno a bordo sin carbono procedente del agua del mar.

ABB suministrará la tecnología de conversión eléctrica necesaria para conectar el sistema de pila de combustible a la planta eléctrica del buque de investigación Aranda.

Desafíos de las pilas de combustible e hidrógeno

Si bien el hidrógeno se dispersa muy rápidamente en el aire, cayendo rápidamente por debajo del nivel de inflamabilidad; no tiene mucha «capacidad explosiva» por volumen en comparación con otros combustibles comunes; y su rapidísimo ritmo de combustión hace que la exposición al calor o a las llamas sea extremadamente breve, por lo que se debe tener cuidado al manipularlo. De hecho, actualmente existen varias normas que rigen la instalación de pilas de combustible.

Sin embargo, el panorama de la pila de combustible plantea retos en otros ámbitos:

- Producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno seguros y eficaces.
- Coste, principalmente debido a catalizadores caros. Actualmente, el coste constituye el principal obstáculo de las pilas de combustible.

Foto: Gaël Musquet, Wikimedia Commons

- Los stacks de pilas de combustible, construidos para generar más tensión y potencia, deben optimizarse en términos de producción, eficiencia, coste y tamaño. Sin embargo, la degradación del rendimiento a lo largo de la vida útil, un parámetro clave del rendimiento, no se conoce totalmente (se considera que las causas de la degradación son la pérdida cinética, la pérdida óhmica, la pérdida por transporte de masa y la pérdida por reformado). Además, deben explorarse y modelizarse con precisión los efectos de la congelación, la descongelación y las impurezas de los stacks, así como la mitigación de los peligros de inundación o ausencia de agua en los stacks de pilas. La dinámica de fluidos computacional multifísica (MCFD) y las técnicas de modelos de orden reducido (ROM) pueden aprovecharse para modelizar la electroquímica de la pila de combustible, la transferencia de

calor y la mecánica de fluidos para establecer curvas de las características operativas y de control e investigar el ajuste fino y la optimización. Estas curvas de características operativas son útiles para diseñar los sistemas de control y protección y la electrónica de potencia necesarios para integrar las pilas de combustible en la red principal.

A pesar de las dificultades que persisten, la tecnología de pila de combustible ha tenido una amplia aceptación entre el público y las empresas. Como central eléctrica ecológica, la pila de combustible no tiene rival: ¿qué otra fuente de energía puede proporcionar no solo una fuente de energía eléctrica limpia, sino también calor para el hogar o el lugar de trabajo y agua pura que puede procesarse para su consumo? •

Referencias

- [1] Economic Times Bureau, "India's energy consumption to grow faster than major economies," Jan 27, 2017. Available: economictimes.indiatimes.com/industry/energy/oil-gas/indias-energy-consumption-to-grow-faster-than-major-economies/articleshow/56800587.cms?from=mdr
- [2] The Fuel Cell and Hydrogen Annual Review, 2016, 4th Energy Wave, 2016.
- [3] T. Overton, "World's Largest Fuel Cell Plant Opens in South Korea," Power Magazine, February 25, 2014.
- [4] Logan Energy, "A case study on 300 kW Fuel Cell System installed at 20 Fenchurch Street." Available: www.loganenergy.com/wp-content/uploads/2015/11/150818-20-Fenchurch-Street-GW.pdf
- [5] B. Cook, "An introduction to fuel cells and hydrogen technology," Heliocentris, Canada, 2001.
- [6] Ballard, "A case study on Fuel Cell Zero-Emission Buses for Aberdeen, Scotland." Available: ballard.com/docs/default-source/motive-modules-documents/aberdeen-case-study.pdf?sfvrsn=2
- [7] M. Kajava, "MARANDA - Aranda goes hybrid." Available: search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107045A7585&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
- [8] J. Bogen, "Catching fuel cell fever." Available: new.abb.com/marine/generations/generations-2017/business-articles/catching-fuel-cell-fever