



•Alberto Vegas Serrano.

ARIEMA

EL HIDRÓGENO Y LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

En el año 2020, según las previsiones de la UE, buena parte de los automóviles europeos se moverán mediante pilas de combustible, lo que justifica que sea una de las líneas de investigación de mayor futuro en el ámbito continental. En este artículo se describe en qué consiste la tecnología basada en el hidrógeno y cuáles son sus aplicaciones en el ámbito del transporte o la informática.

Expertos de la Comisión Europea estiman que para 2015 el 2% de los vehículos europeos estarán alimentados por hidrógeno, y que para 2020 este porcentaje aumentará hasta el 5%. En otro documento, la propia comisión europea aboga por que en la segunda mitad de este siglo el sistema energético europeo esté basado fundamentalmente en el hidrógeno. Asimismo, la administración de los Estados Unidos y algunos de sus políti-

cos más significativos, presentan grandes planes para el hidrógeno y las pilas de combustible, siendo profundos defensores de estas tecnologías. A su vez, grandes compañías fabricantes de vehículos presentan planes de comercialización de vehículos de hidrógeno y/o pilas de combustible cada vez más cercanos y ambiciosos.

Sin embargo, hay expertos que indican que no es posible la penetra-

ción a gran escala en el mercado de estas tecnologías, bien por barreras tecnológicas, bien por problemas de suministro a nivel mundial de algún material crítico que sea necesario (en concreto el platino para las pilas de combustible que se pueden utilizar para el transporte), o bien por los problemas que puedan causar al medioambiente. Algunos grupos ven que todo este desarrollo tecnológico es sólo un discurso para la galería que está condenado ⇒

al fracaso, llevado a cabo por los “mismos” que quieren seguir haciendo “lo de siempre”.

Y eso del hidrógeno y las pilas de combustible, ¿qué es?

Cuando se piensa en el hidrógeno como combustible, el primer concepto que hay que tener claro, y no todo el mundo lo tiene, es que el hidrógeno NO es una fuente de energía. A diferencia del gas natural, el petróleo, o las energías renovables, que “están ahí” para que podamos recogerlas y usarlas, el hidrógeno debemos producirlo a partir de otra fuente de energía. En la naturaleza el hidrógeno podemos encontrarlo en dos formas, en forma de agua, que no tiene ningún valor energético, o en los hidrocarburos de los compuestos fósiles. Producir hidrógeno a partir de agua o de hidrocarburos precisa de un aporte energético superior a la energía que luego queda “almacenada” en el hidrógeno.

El hidrógeno, al igual que otros combustibles, pero a diferencia de la electricidad, puede ser almacenado durante largos periodos de tiempo y transportado en depósitos. Por el contrario, el hidrógeno, al igual que la electricidad, y a diferencia de los combustibles fósiles (gas natural o derivados del petróleo o del carbón) puede ser utilizado sin emisiones contaminantes.

En la siguiente tabla se recogen las principales características energéticas del hidrógeno, comparadas con las de otros combustibles de uso corriente (la gasolina y el gasóleo tienen unas propiedades muy similares, y el metano es el principal componente del gas natural, y las pro-

	Hidrógeno	Gasolina	Metano
Poder calorífico inferior (kJ/gr)	120	43	50
Densidad gas (kg/Nm ³)	0,090	-	0,717
Densidad energética gas	10,8	-	35,8
Densidad líquido (kg/l)	0,071	0,733	-
Densidad energética liq. (MJ/l)	10,8	31,5	-
Límites de inflamabilidad (%)	4,0 - 75	1,0 - 7,6	5,3 - 15,0
Límites de detonación (%)	18,3 - 59	1,1 - 3,3	6,3 - 13,5
Mínima energía de activación (mJ)	0,02	0,24	0,29
Temp. de comb. espontánea (K)	858	501-744	813
Emisiones (mg CO ₂ / kJ)	0	≈ 80	55
Visibilidad de la llama	no	sí	sí
Toxicidad (combustible y emisiones)	no/no	sí/ sí	sí/ sí

→ Tabla 1. Propiedades energéticas del hidrógeno y de otros combustibles

iedades del gas natural no difieren mucho de las del metano).

Cabe destacar que el hidrógeno es un combustible con un gran poder calorífico, es decir que un gramo de hidrógeno libera mucha más energía que un gramo de otros combustibles, aunque debido a su baja densidad (tanto en forma gaseosa como líquida) hace que un depósito que almacene la misma cantidad de energía que otro de gasolina o de gas natural, sea más voluminoso y más pesado.

Las pilas de combustible son unos dispositivos electroquímicos, capaces de convertir directamente la energía química contenida en un combustible en energía eléctrica. Esta transformación electroquímica (sin combustión) no está limitada por el rendimiento de Carnot, lo que permite conseguir rendimientos relativamente altos (en la práctica en el entorno del 40 ó 50%, aunque en teoría podrían ser bas-

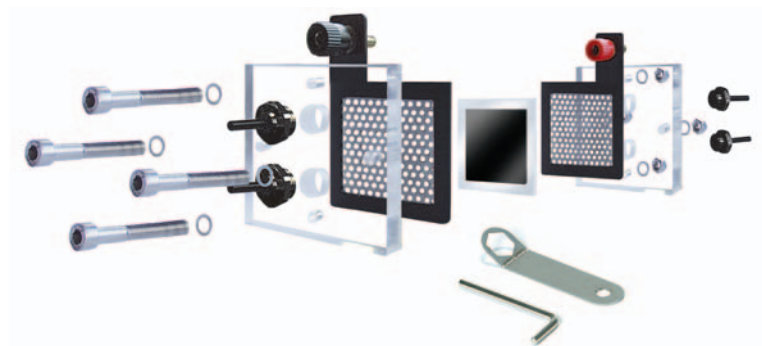
tante superiores). Se presentan como unos dispositivos con enorme potencial de aplicación. Aunque podrían llegar a funcionar con distintos combustibles, su uso con hidrógeno es el que normalmente presenta las mayores facilidades y ventajas.

Fundamentalmente una pila de combustible es un apilamiento (con conexiones internas en serie) de células o celdas individuales. Estas celdas están formadas por dos electrodos (ánodo y cátodo) donde se producen respectivamente la oxidación del hidrógeno y la reducción del oxígeno, y por un electrolito (que puede ser un medio tanto ácido como básico) que permite el intercambio de los iones que hace posible ambas reacciones. Uniendo cada dos celdas existe un elemento de unión, denominado normalmente placa bipolar (que además facilita la canalización de los gases) que permite la ⇔

El hidrógeno, a diferencia del petróleo y derivados, puede ser utilizado sin que produzca emisiones contaminantes

circulación de los electrones, que pasando por el circuito externo, completan las reacciones.

Las pilas de combustible se clasifican normalmente atendiendo al electrolito que tienen. Entre las de baja temperatura están las alcalinas y las de polímeros (estas últimas también conocidas como de membrana intercambiadora de protones, o por las siglas en inglés PEM). Las de metanol directo son un tipo particular de pilas PEM



que consumen directamente metanol. Las pilas de combustible de media temperatura son las de ácido fosfórico, y las de alta temperatura son las de carbonatos fundidos y las de óxidos sólidos. A día de hoy las pilas que levantan más expectativas son las de polímeros para aplicaciones móviles o de poca potencia (transporte, aplicaciones residenciales y aplicaciones portátiles) y las de óxidos sólidos para generación centralizada o distribuida de electricidad.

Entre las ventajas generales de las pilas de combustible, cabe destacar:

- Su buen rendimiento, en torno al 40 ó 50% con posibilidad de mejorarlo.
- Este rendimiento, a diferencia de

otros sistemas, es relativamente alto para distintas potencias en un mismo sistema; es decir funcionando tanto a plena potencia como a cargas parciales, lo que permite ajustar la producción a la demanda sin sacrificar la eficiencia.

- Asimismo, el rendimiento es bueno independientemente del tamaño de un sistema (a diferencia de los sistemas térmicos que para conseguir buenos rendimientos hay que ir a escalas grandes).
- Son sistemas con muy poca iner-

cia, que pueden seguir casi al instante la curva de demanda.

- Tienen un carácter modular, lo que significa por un lado un aumento de la fiabilidad a la vez que una reducción de costes, por otro lado que las plantas se pueden construir en poco tiempo y que pueden aumentar o disminuir la potencia sin cambiar su diseño, y por último, que se puede conseguir una muy alta disponibilidad ya que la parada de un módulo no supone la parada del sistema completo.
- Al carecer de partes móviles, las pilas de combustible son silenciosas, no producen vibraciones (estas afirmaciones no son válidas para algunos de los compo-

ponentes auxiliares) y, por ello, en teoría requieren poco mantenimiento.

¿Por qué hidrógeno y pilas de combustible?

El uso del hidrógeno y/o las pilas de combustible tiene sentido en dos escenarios futuros. El primero es pensando en el largo plazo, en el que hayamos dejado de hacer uso (mejor dicho abuso) de los combustibles fósiles, y nos encontremos ante un sistema energético basado bien en energías renovables, o en energía nuclear de fusión, o probablemente en una combinación de ambas. Las energías renovables (si excluimos el uso de la biomasa) tienen como principal inconveniente que producen electricidad en los momentos y en los lugares en el que haya el recurso (sol, viento, corrientes fluviales o marinas, etc) que muchas veces no coinciden ni con los lugares ni con los momentos en los que hay demanda energética. Las plantas nucleares de fusión serán grandes plantas funcionando probablemente en régimen constante. En ambos casos su aplicación queda limitada a instalaciones fijas (no sería operativo poner ni unos paneles fotovoltaicos, ni un aerogenerador, ni un reactor nuclear en un coche). Para este sistema energético de futuro y sostenible, haría falta “algo” que permitiera almacenar y transportar energía (tanto para ajustar la producción a la demanda, como sobre todo para el transporte), y el hidrógeno se perfila como un buen candidato para ser ese “algo”.

En el corto y medio plazo, mientras sigamos haciendo uso de ⇒

El hidrógeno es un combustible con un gran poder calorífico: un gramo de hidrógeno libera mucha más energía que un gramo de otros combustibles

Las pilas de combustible podrían sustituir a las baterías de teléfonos, cámaras, ordenadores portátiles... por su alta autonomía y menor peso

los combustibles fósiles, el hidrógeno y las pilas de combustible también pueden participar con dos contribuciones fundamentales. Por una parte, el alto rendimiento de las pilas de combustible permite reducir el impacto ambiental en forma de contaminación, tanto en emisiones de CO₂ (por el menor consumo), como de otros contaminantes como CO, NO_x, etc. (por ser un proceso más “limpio” que la combustión). Por otro lado, producir hidrógeno a partir de un combustible fósil contamina, aunque no su uso. Esto nos permite tener unas plantas de producción de hidrógeno que tengan sistemas de purificación, e incluso de secuestro de CO₂, y que ese hidrógeno sea utilizado de forma no contaminante por vehículos circulando por los centros de las ciudades. Con ello, conseguiremos una drástica reducción de emisiones a nivel local, y una apreciable disminución de emisiones a nivel global (que podría ser también drástica reducción, si aplicamos técnicas de secuestro de CO₂).

¿Para qué?

Las pilas de combustible y el hidrógeno tienen distintos campos de aplicación, presentando ciertas ventajas y ciertos inconvenientes frente a los sistemas convencionales:

Aplicaciones en electrónica de potencia. Las pilas de combustible podrían sustituir a las baterías de los teléfonos móviles, cámaras fotográficas o de video, ordenadores portátiles, etc. Es



→ Estación de Servicio de Hidrógeno de Madrid. Fuente: Ariema.

un tipo de aplicación en la que el precio del sistema de potencia no es un parámetro crítico (suelen costar pocos comparados con el resto del equipo), ni el precio de la energía (casi nadie sabemos cuanto nos cuesta la electricidad para recargar el móvil, sólo sabemos que muy poco). Las pilas de combustible podrían funcionar con metanol (que habría que recargar periódicamente en forma líquida o en cartuchos recargables), o con hidrógeno (en este caso se produciría el hidrógeno por electrólisis conectándose al enchufe), en el primer caso tendríamos que estar pendientes de tener siempre metanol disponible, pero no necesitaríamos estar pendientes de llevar el cargador, ni de encontrar un enchufe, ni tendríamos problemas al viajar a países que tengan distinta tensión eléctrica o diferentes clavijas, y en el segundo caso seguiríamos actuando exacta-

mente igual que hasta ahora. En ambos casos, lo que sí ganaríamos es densidad de energía (en comparación con las baterías, que aunque se ha avanzado mucho continúan siendo grandes y pesadas), y con un sistema del mismo tamaño y peso, conseguiríamos unas autonomías muy superiores.

Aplicaciones en el transporte. Se pueden tener vehículos que recarguen hidrógeno, que se almacenará bien en forma comprimida en niveles de presión entre 300 y 700 bares o incluso superiores, bien en forma líquida (criogénica) o bien fijada en algunos compuestos con los hidruros metálicos. Este hidrógeno se puede utilizar en una pila de combustible o en un motor de combustión interna (una adaptación del motor de ciclo Otto que utilizan los de gasolina). También podremos pensar en coches que recarguen ⇒

Una de las aplicaciones de la tecnología del hidrógeno menos conocida es la del hogar. A partir de gas natural, y por medio de una pila de combustible, se puede producir electricidad



– Autobús de hidrógeno de ISRIBUS
Fuente: Ariema.

gas natural, metanol o gasolina, y que a bordo del vehículo se produzca el hidrógeno que alimenta la pila de combustible. Las ventajas que encontramos vienen por la parte del rendimiento de la pila de combustible (muy superior a la de los motores de combustión interna), y medio ambientales, sin emisiones en caso de repostar hidrógeno y tener pila de combustible, sólo con NOx en el caso de repostar hidrógeno y tener motor de combustión interna, y sólo CO₂ en el caso de repostar otro combustible y tener pila de combustible, y en menor medida por la alta eficiencia del sistema. Otra ventaja importante que pueden ofrecer los vehículos de hidrógeno frente a los de gasolina es la de la seguridad, demostrada con todo tipo de ensayos de impacto, balazo y accidentes provocados (principalmente por la alta fugacidad del hidrógeno). Entre las desventajas: el hidrógeno se almacena mal, es decir que con un depósito del mismo tamaño y volumen se alcanza una autonomía muy inferior, o en el caso de embarcar otro combustible, que hay que integrar otro equipo a bordo para la obtención del hidrógeno.

Aplicaciones residenciales.

En nuestros hogares podemos tener sistemas que, a partir de gas natural y por medio de una pila de combustible, produzcan la electricidad que necesitamos. Estos sistemas pueden ser tan eficientes o más que las grandes plantas de producción de electricidad, pero además nos ahorraríamos las pérdidas por el transporte de la electricidad. El principal inconveniente sería la inversión necesaria.

Generación de electricidad.

Algunos tipos de pilas de combustible (las de alta temperatura) pueden llegar a competir con las plantas de ciclo combinado para la generación de electricidad, cuando alcancen un grado de madurez superior.

¿Para cuándo?

Lo cierto es que la tecnología de las pilas de combustible no es en absoluto una tecnología madura, es difícil encontrar equipos que puedan garantizar un número de horas de funcionamiento como para competir con las tecnologías asentadas, y el coste de cualquier equipo es desorbitado. Y respecto al almacenamiento de hidrógeno para aplicaciones en transporte se puede decir algo parecido, todavía no existen sistemas que puedan competir en igualdad de condiciones con los sencillos depósitos de gasolina o de gasóleo.

Queda un largo camino por recorrer, pero lo cierto es que en los últimos años se han recorrido varias de las etapas del camino y existe muy buena predisposición para seguir avanzando en estas líneas.

¿Mientras tanto?

Los técnicos deben seguir trabajando como lo están haciendo. Son muchos y están consiguiendo continuamente éxitos. España, sin ser un país puntero, está contribuyendo y son numerosos los investigadores y las empresas nacionales que están en primera línea (la inmensa mayoría de ellos pertenecen a la Asociación Española del Hidrógeno www.aeh2.org, cuyo fin es el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible).

En definitiva, la sociedad debería conocer esta tecnología y mostrarse dispuesta a utilizarla sin complejos. Entre los días 22 y 25 de noviembre de 2005 se celebran en Zaragoza conjuntamente el 2º Congreso Europeo del Hidrógeno y el 2º Encuentro Empresarial del Hidrógeno y las Pilas de Combustible, lo que supone una magnífica oportunidad para acercarse a esta tecnología en nuestro país. Durante esos 4 días se darán cita los principales investigadores del mundo para explicar los últimos avances, se reunirán los principales fabricantes y empresas de servicios, que contarán sus productos y líneas de desarrollo y se podrá tocar los últimos modelos de equipos y vehículos en la exposición comercial. Es una oportunidad que ninguna persona interesada en hidrógeno y pilas de combustible debería dejar de aprovechar. Más información en www.ehec.info. ■