

EL HIDRÓGENO COMO NUEVO VECTOR ENERGÉTICO



HYDROGEN AS A NEW ENERGY VECTOR

Recibido: 18/12/07

Aceptado: 16/05/08

Pedro Luis Arias Ergueta
Dr. Ingeniero Industrial
Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Bilbao

Jose Francisco Cambra Ibáñez
Dr. Ingeniero Industrial
Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Bilbao

M. Belén Güemez Bilbao
Dr. Ingeniero Industrial
Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Bilbao

V. Laura Barrio Cagigal
Dr. Ingeniero Industrial
Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Bilbao

Jesús Requies Martínez
Dr. Ingeniero Químico
Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Bilbao

RESUMEN

El empleo de combustibles fósiles presenta tres problemas fundamentales: son limitados, su suministro es sensible a los conflictos por causas geopolíticas y su utilización masiva es una de las causas del efecto invernadero. Las energías renovables aparecen como una alternativa para disminuir este impacto. Uno de los inconvenientes es la capacidad de almacenamiento para hacer frente a las oscilaciones en la demanda y en la

producción. De entre los posibles sistemas de almacenamiento de energía el hidrógeno (licuado, adsorbido, ...) se configura como una de las más firmes alternativas y las pilas de combustible como el método de conversión de la energía química, en él contenida, en energía eléctrica y, en su caso, térmica. Además también puede utilizarse como alimentación en motores de combustión interna.

Palabras clave: Hidrógeno, Pilas de combustible, Energía renovable.

ABSTRACT

Use of fossil fuels presents three essential problems: limited availability, their supply is often threatened by geopolitical conflicts and the CO² emissions related to their use is one of the main causes of the greenhouse effect. Energy from renewable sources seems to be an alternative to prevent this impact. However, storage capacity is one of the inconveniences in the face of demand trends and production. Among the alternatives those dealing with hydrogen as a new energy vector and fuel cells to convert hydrogen chemical energy into electricity and/or heat are excellent candidates.

Key words: *Hydrogen, Fuel Cells, Renewable Energy.*

INTRODUCCIÓN

El mercado energético se encuentra sometido a importantes tensiones. La utilización intensiva de los recur-

bón – en países con abundantes turbulencias sociopolíticas (Oriente Medio, África, Rusia, etc.).

Además, el impacto ambiental de este consumo compulsivo de combustibles fósiles viene provocando impactos ambientales de largo alcance que se deben corregir. Para ello

en gases responsables del incremento del efecto invernadero, ha reforzado la propuesta que relaciona el desarrollo tecnológico de la humanidad con un proceso de desconexión creciente entre combustibles y energía por un lado y el carbono por otra (ver fig. 1).

Combustible	Leña	Carbón	Petróleo	Gas Natural	Hidrógeno
Relación H/C	~1	1.2 – 1.5	1.6 – 2.0	3.8 – 4.0	∞

Fig. 1. Relación atómica H/C en las fuentes energéticas utilizadas por el ser humano.

sos fósiles, especialmente del petróleo, continúa resultando ineludible para alimentar los consumos asociados al sector del transporte. Pero el precio de los crudos ha aumentado hasta niveles que superan las estimaciones más pesimistas realizadas hace no demasiado tiempo. Aunque existe una controversia abierta sobre la cantidad de petróleo que la humanidad será capaz de extraer, nadie discute que se está consumiendo, de forma cada vez más acelerada, la despensa energética que el planeta Tierra ha acumulado a lo largo de millones de años. Además los recursos energéticos fósiles disponibles se encuentran concentrados – salvo el car-

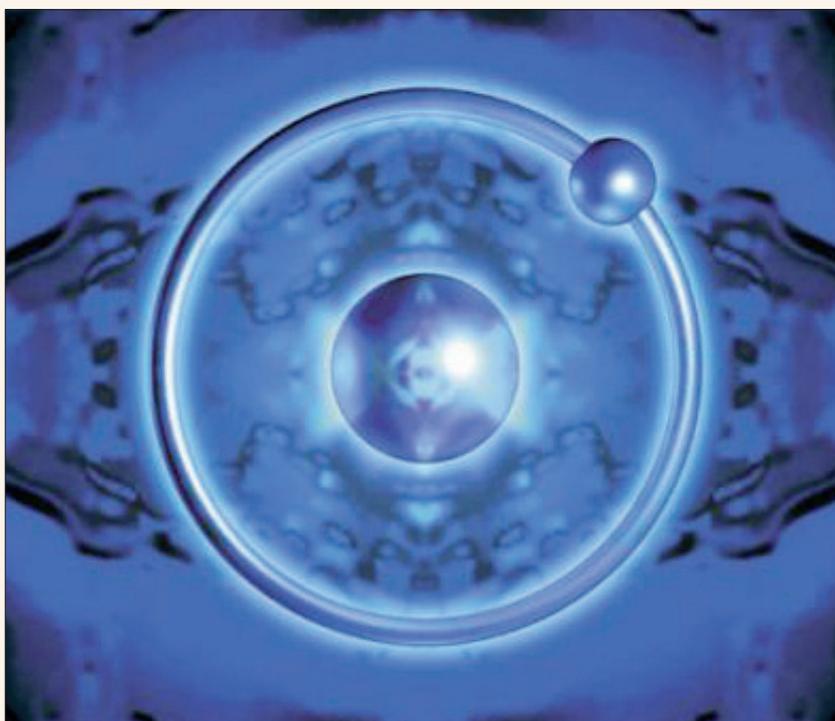
una nueva estructura productiva, de distribución y de consumo de energía está emergiendo entre tensiones y dificultades. En ese nuevo paradigma energético resulta previsible que la electricidad continúe siendo un vector energético fundamental. Pero numerosos expertos apoyan la muy previsible generalización de otro vector energético para determinados usos y aplicaciones: el hidrógeno.

EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE

El problema del calentamiento global y una de sus causas, el aumento en la atmósfera del contenido

En este contexto parece plausible que el hidrógeno pueda jugar un papel importante como vector energético en un mundo con un desarrollo sostenible, siempre que se produzca a partir de recursos renovables. Sus potencialidades al respecto son múltiples:

- El régimen de producción de esta energía a partir de recursos renovables – altamente descentralizados – presenta variaciones temporales importantes y no necesariamente acopladas a las de la demanda, por lo que la generalización de la utilización de estos recursos genera la necesidad de almacenar energía que devolver a la red de consumo cuando ésta la demanda.
- El hidrógeno puede producirse con relativa facilidad y buen rendimiento (hasta del 85 %) a partir de energía eléctrica en electrolizadores de agua o en sistemas de gasificación o reformado a partir de biomasa.
- El hidrógeno puede convertirse de nuevo en energía eléctrica mediante procesos de oxidación electroquímica en pilas de combustible con un rendimiento muy superior al conseguido mediante los ciclos termodinámicos convencionales.
- La oxidación del hidrógeno, sea por combustión convencional o sea por vía electroquímica, produce agua como residuo. A la temperatura que operan las pilas de combustible – incluso las que operan a mayores temperaturas – no se generan cantidades apreciables de óxidos de nitrógeno.



El hidrógeno se genera como subproducto en algunos procesos de refinado de petróleo (reformado catalítico) y en la fabricación de cloro por electrólisis de disoluciones acuosas de cloruro sódico

Además, se encuentran en desarrollo proyectos de I+D públicos y privados que van a permitir mejoras muy importantes en los rendimientos y en la durabilidad de los sistemas de

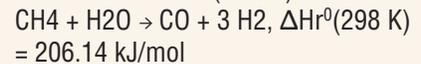
energía a 0.3 L de gas natural a la misma presión o a 0.1 L de gasolina líquida).

- Los sistemas de almacenamiento para cantidades importantes

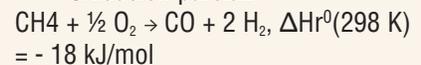
no que han tenido que construir plantas de producción de hidrógeno específicas para alimentar los hidrotreatamientos cada vez más severos que precisan naftas y gasóleos.

Cuando, como en este caso, resulta necesario fabricar hidrógeno se dispone de diversos tipos de tecnologías: el reformado y la descomposición térmica de combustibles fósiles, la gasificación de carbón o de derivados de la biomasa y la electrólisis del agua. Una aproximación simplificada de las reacciones involucradas en estos procesos sería:

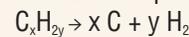
- Reformado (de GN):



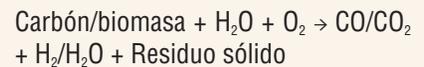
- Oxidación parcial:



- Descomposición térmica:



- Gasificación:



- Electrólisis del agua:

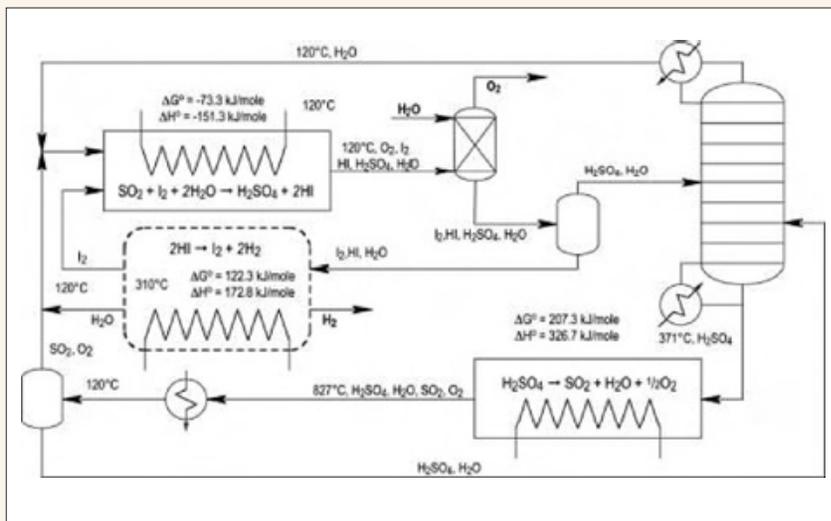
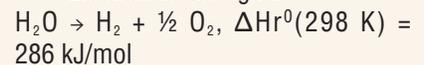


Fig. 2. Proceso de fabricación de hidrógeno por descomposición térmica del agua mediante el ciclo azufre-yodo.

interconversión energética que se acaban de citar. Sin embargo el hidrógeno también presenta debilidades que limitan su utilización:

- Es muy abundante en nuestro planeta, pero no libre sino combinado como agua o hidrocarburos.
- Se trata de un gas muy volátil cuya compresión es costosa y su manipulación exige medidas de seguridad especiales (aunque no muy superiores a las exigidas para el gas natural).
- Posee un buen poder calorífico por unidad de masa (PCI: 120 MJ/kg) pero muy baja densidad (1 L de hidrógeno a 350 bar equivale en

de hidrógeno se encuentran todavía en estados de desarrollo incipientes.

PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

El hidrógeno se genera como subproducto en algunos procesos de refinado de petróleo (reformado catalítico) y en la fabricación de cloro por electrólisis de disoluciones acuosas de cloruro sódico. Pero las exigencias crecientes de combustibles para el transporte cada vez más limpios han modificado el balance de hidrógeno en las refinerías. Éstas no sólo consumen todo el hidrógeno que generan los procesos de reformado, si-

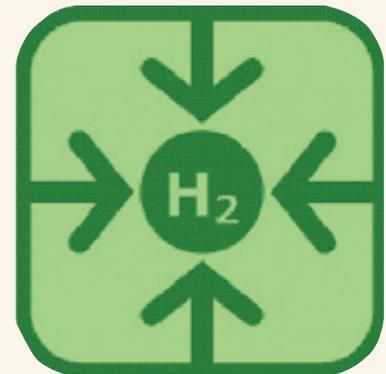


Fig. 3. Comparación de emisiones contaminantes y de consumos específicos de diversos vehículos automóviles:

Tipo de vehículo	Toyota Camry	Diesel europeo	H ₂ FCV actual	H ₂ FCV futuro	Toyota Prius II
Emisiones (“Well-to-wheel” g de CO ₂ /milla)	400	325	250	180	200
Consumo (cénts/milla, impuestos excluidos)	4,7	3,1	6,5	2,5	2,2

FCV: Vehículo con pila de combustible que alimenta a motor eléctrico
(Fuentes: ANL, Toyota; NRC, EA, NA, EM Analysis)

Se encuentran en fase de I+D otros procesos para la fabricación de hidrógeno de enorme interés pero todavía no concretados en tecnologías comerciales. Así, por ejemplo:

- La descomposición térmica del agua mediante ciclos termodinámicos:
 - Ciclo azufre-yodo (en fase de desarrollo pre-piloto). Ver fig. 2.
 - Ciclo calcio-bromo (en fase de desarrollo a nivel de planta piloto)
 - Ciclo cobre-cloro (en fase de I+D) y otros como el del cinc.
- La descomposición fotoquímica del agua (mediante compuestos de cerio, p. e.)
- La descomposición biológica de compuestos en disolución acuosa (bioetanol) mediante microorganismos que generan hidrógeno como producto de su metabolismo.

En el futuro, utilizando unas u otras tecnologías, parece previsible que para grandes consumos se utilizarán plantas cercanas a la demanda para minimizar costes de transporte y almacenamiento. Para consumos medios y pequeños, estos mismos costes y la disponibilidad de energía renovable distribuida permiten prever sistemas de fabricación de hidrógeno descentralizados para atender demandas locales.

USOS DEL HIDRÓGENO

Junto con los consumos tradicionales y no directamente relacionados

con el sector energético: hidrogenación de grasas, fabricación de vidrio, algunos tratamientos térmicos de metales, etc, se prevé la utilización del hidrógeno en otras aplicaciones.

Así en el sector transporte se vienen realizando desarrollos - que ya han alcanzado prototipos fiables - de vehículos propulsados por hidrógeno. En unos casos se utiliza un motor de combustión interna alimentado con hidrógeno y aire. En otros el motor es eléctrico y éste recibe la energía de una pila de combustible en la

que se oxida electroquímicamente hidrógeno según las reacciones:

- Reacción en el ánodo:
 $H_2 \rightarrow 2 H^+ + 2 e^-$
- Reacción en el cátodo:
 $2 H^+ + \frac{1}{2} O_2 + 2 e^- \rightarrow H_2O$

En la fig. 3 se comparan las emisiones contaminantes de diversos tipos de vehículos automóviles y sus consumos específicos.

Mediante pilas de combustible de alta temperatura es previsible que se cogenere calor y energía eléctrica a



En el futuro, utilizando unas u otras tecnologías, parece previsible que para grandes consumos se utilizarán plantas cercanas a la demanda para minimizar costes de transporte y almacenamiento



partir de hidrógeno - o de precursores del mismo que se reformarían a hidrógeno aprovechando parte del calor residual de alta temperatura de la propia pila - para aplicaciones domésticas, especialmente a escala de "district heating",

Muchas de estas aplicaciones del hidrógeno están asociadas a la generalización de las pilas de combustible. Se dispone de tecnologías para fabricar este tipo de dispositivos para una amplia gama de potencias (desde unos pocos vatios -alimentación de teléfonos móviles - a decenas de MW en aplicaciones para "district heating") y operando a temperaturas altas (800 °C en pilas de óxido sólido) o bajas (60-90 °C en pilas de membrana polimérica). Pero el despegue definitivo de estas aplicaciones va a

producirse a medida que mejore el número de horas que puedan funcionar sin requerimientos significativos de mantenimiento y puedan competir en precio con las tecnologías actuales (una pila de 5 kW cuesta en la actualidad casi 30 k€). Esta competitividad se alcanzará por abaratamiento de estos dispositivos (fabricación de grandes series) y por el encarecimiento de los recursos energéticos fósiles (escasez e internalización de los costes ambientales asociados con su uso).

BIBLIOGRAFÍA

- Choudhary V. R., Rajput A. M., Prabhakar B. " " *Journal of Catalysis*, Volume 139, Issue 1, January 1993, Pages 326-328.

- R. Lago, G. Bini, M. A. Peña, J. L. G. Fierro " " *Journal of Catalysis*, Volume 167, Issue 1, 1 April 1997, Pages 198-209.

- M.A. Peña, J.P. Gómez, J.L.G. Fierro " " *Applied Catalysis A: General*, Volume 144, Issues 1-2, 2 September 1996, Pages 7-57.

- Andrew E Lutz, Robert W Bradshaw, Jay O Keller, Dennis E Witmer. " " *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 28, Issue 2, February 2003, Pages 159-167.

- Alcántara Román Ricardo, Tirado Coello Jose Luis. "Materiales para el almacenamiento y conversión de energía". *DYNA* Febrero 2008 Vol 83-1 pag 29-36.

- Andrew E. Lutz, Robert W. Bradshaw, Leslie Bromberg, Alex Rabinovich " " *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 29, Issue 8, July 2004, Pages 809-816.

- Mallens, E. P. J.; Hoebink, J. H. B. J.; Marin, G. B. "An investigation on the reaction mechanism for the partial oxidation of methane to synthesis gas over platinum". *Catalysis Letters* (1995), 33(3,4), 291-304.

- Aso Aguarta Ismael, Correias Usón Luis, Burkhalter, Ernest. "Energía eólica e hidrógeno, una simbiosis anticipada". *DYNA* abril 2008. Vol 83-3 pag 127-133.

- Ashcroft, A. T.; Cheetham, A. K.; Green, M. L. H.; Vernon, P. D. F. Partial oxidation of methane to synthesis gas using carbon dioxide. *Nature* (London, United Kingdom) (1991), 352(6332), 225-6.

- Esteban Bolea Maria Teresa. "El futuro energético y el hidrógeno". *DYNA* diciembre 2006. Vol 81-9 pag 39-44. ■