

El hidrógeno, una solución energética

*Sergio C. Agudelo F., Edwin L. Chica A. y Edwin Carrascal P.**

(Recibido el 25 de febrero de 2002)

Resumen

El consumo creciente de energía como consecuencia del desarrollo tecnológico y del aumento demográfico de los países, así como el incremento de los problemas de contaminación ambiental a causa del empleo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica ha atraído el interés de la ciencia hacia el aprovechamiento de las fuentes de energía renovables. El hidrógeno es una de estas fuentes que tiene grandes ventajas ambientales. Es un elemento abundante en la naturaleza, constituyente del agua, en forma molecular es un gas ligero y puede servir como almacén energético, se produce por electrólisis del agua mediante los excedentes energéticos diurnos o el empleo de la energía solar o eólica y posteriormente se puede liberar la energía almacenada por cualquier sistema de combustión o con el empleo de las celdas de combustible en las que se transforma directamente la energía química almacenada en el enlace H-H de la molécula H_2 , en energía eléctrica y vapor de agua.

----- *Palabras clave:* hidrógeno, contaminación ambiental, celdas de combustible.

The hydrogen, an energy solution

Abstract

The increasing energy consumption as a consequence of the technological development, and the demographic increase of countries, as well as the growing of the environmental pollution problems caused by the use of fossil fuels in the production of electric energy, have called the attention of science towards the use of the renewable energy sources. The hydrogen is one of these source that have great environmental advantages. It is an abundant element in the nature, component of water, in molecular form it is a light gas and it can serve like energy storage, taking place by electrolysis of water by means of the excess daytime energy or by use of solar energy or the wind power and later the stored energy can be free by any system of combustion or by the use of the fuel cells which can directly change the chemical energy stored in the bonding H—H of molecule H_2 into electrical energy and steam water.

----- *Key words:* hydrogen, environmental pollution, fuel cell.

* Integrantes del Grupo de Energía Alternativa GEA. Universidad de Antioquia. ealternativa.ingenieria@udea.edu.co.

Introducción [1, 2, 4]

En vista de que el consumo de energía es cada día más alto y teniendo en cuenta que las fuentes de energía convencionales se obtienen de recursos naturales no renovables, los cuales son los principales causantes de la contaminación ambiental, surge la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía que además de abastecer la demanda no contaminen el ambiente.

Los problemas ocasionados por el uso de combustibles fósiles en la generación de energía se deben a las altas concentraciones de contaminantes que se generan por la quema incompleta de estos combustibles. Dichos contaminantes son los monóxidos de carbono, dióxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y otros que están generando una gran contaminación ambiental. Debido a la necesidad que se tiene actualmente de reducir el nivel de contaminantes presentes en la atmósfera, ya que éstos son los principales causantes de problemas como el efecto de invernadero, la variación de los regímenes climatológicos, entre otros que están afectando seriamente a la humanidad, surge la necesidad de buscar nuevas soluciones que contribuyan a la solución de estos problemas sin recurrir a limitaciones en la producción de energía.

Teniendo en cuenta que los beneficios e intereses de las fuentes alternas de energía como solución energética van más allá de la reducción de costos únicamente, se presenta además que el mayor uso de éstas brindan la oportunidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles como también de disminuir la contaminación ambiental, debido a que causa un efecto notablemente menor sobre el medio ambiente.

De lo expuesto anteriormente se llega a la conclusión de que una buena solución se encuentra en cambiar de base energética utilizando un combustible con el cual se puedan eliminar o reducir notablemente las emisiones de contaminantes a la atmósfera y esto es precisamente lo que se lograría con el uso de una fuente alterna de

energía. El combustible que se propone como solución es el hidrógeno.

Se ha seleccionado al hidrógeno como el combustible que puede dar solución a dichos problemas debido a que es un combustible limpio, apto para el transporte y la calefacción y con el tiempo podría servir también para producir electricidad (y calor como subproducto) en quemadores de combustible de alto rendimiento. El hidrógeno proporciona un medio ventajoso de almacenar la energía, y cuesta menos transportar hidrógeno por tuberías que transmitir electricidad por cables. Las instalaciones de producción de hidrógeno se pueden ubicar donde la producción de éste sea más barata, aun cuando tales lugares queden lejos de los puntos donde se usa.

Comparado con los combustibles fósiles, les lleva en ventaja su casi inocuidad para el ambiente. Cuando el hidrógeno se quema, se convierte en agua. No produce monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre o hidrocarburos ni deja materia particulada. Los únicos contaminantes son óxidos de nitrógeno que pueden reducirse a niveles muy bajos. El hidrógeno constituirá también un combustible atractivo donde y cuando la escasez de suelo y agua limiten las posibilidades de los combustibles procedentes de la biomasa.

Una de las grandes ventajas del hidrógeno radica en que la electricidad que alimenta la electrólisis se puede producir a partir de energías renovables (biomasa, hidráulica, eólica y solar) y entonces se obtendrá un combustible limpio con un proceso de producción también limpio.

Pero sin duda, la principal ventaja del hidrógeno es la posibilidad de usarlo como combustible para todo tipo de vehículos de automoción, ya sean terrestres, marítimos o aéreos.

El hidrógeno [3, 4, 5, 7]

El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo, pero muy raramente se encuentra en

forma pura en la tierra. Pero como constituyente de la molécula del agua, H₂O, está casi por todas partes disponible en la superficie terrestre. También se encuentra en abundancia en las moléculas de combustibles fósiles y muchas otras sustancias. Como el hidrógeno no es un combustible primario, se debe suministrar energía para extraerlo de su fuente. Puede producirse a partir del agua utilizando energías no convencionales (energía solar, energía eólica, minihidráulicas) y el resultado de su combustión y producción de electricidad es agua, lo que cierra un ciclo en concordancia con los principios de la naturaleza. En la figura 1 se puede observar el ciclo ideal del hidrógeno.

El hidrógeno puede utilizarse para producir calor y electricidad con altas eficiencias, así como para la cocción de alimentos y para el transporte, es decir, para todas las necesidades energéticas de la sociedad.

Dentro de los procesos de obtención de hidrógeno se pueden distinguir dos tipos de producción: la que usa una producción y transporte primario de energía y la que usa un transporte secundario de energía. La producción primaria de energía actualmente supone la producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles por medio de reacciones del gas natural así como también la oxidación parcial de petróleo y carbón. Conjuntamente con estos procesos hay otros en fase de investigación y desarrollo. El principal es la gasificación de biomasa, pero también merece ser mencionada la producción directa de

hidrógeno a partir de algas sometidas a radiación solar. La electricidad es actualmente el único transportador de energía secundaria usado para producir hidrógeno por electrólisis de agua. La electrólisis del agua es independiente de la energía primaria usada para su generación así que cualquier sector industrial que produzca hidrógeno debería de basarse en ella.

Propiedades del hidrógeno [2, 6, 7]

El hidrógeno es un gas incoloro e inodoro. Su densidad es de 0,0899 g/l. Hierve a -255,77 °C. El hidrógeno líquido tiene una densidad de 70,99 g/l. Con estas propiedades, el hidrógeno tiene la más alta relación peso energía de todos los combustibles. Como muestra de esto se puede decir que 1 kg de hidrógeno contiene la misma cantidad de energía que 2,1 kg de gas natural o 2,8 kg de gasolina.

El hidrógeno se quema en el aire a concentraciones 4 a 75% en volumen (el metano quema en concentraciones de 5,3-15% y el propano a 2,1-9,5% en volumen). La energía mínima requerida para la ignición de una mezcla estequiométrica de hidrógeno/oxígeno es de 0,02 mJ, para el metano es de 0,29 mJ y para el propano es de 0,26 mJ. La combustión del hidrógeno con el aire bajo condiciones apropiadas en motores de combustión interna o en turbinas de gas da como resultado emisiones muy bajas o despreciables de gases contaminantes.

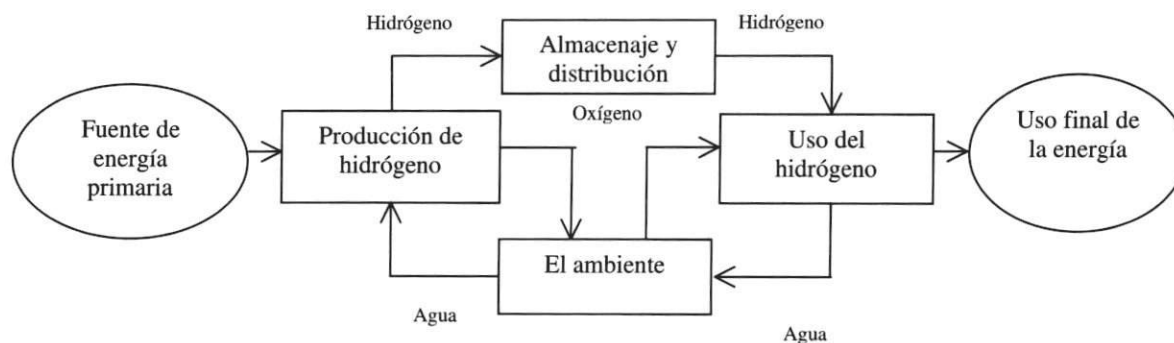


Figura 1 Ciclo ideal del hidrógeno

Puesto que tanto el hidrógeno como el gas natural son más ligeros que el aire estos se elevan considerablemente rápido. Los vapores de propano o petróleo son más pesados que el aire y se quedan en el suelo, provocando mayores posibilidades de explosión. La tabla 1 muestra una comparación energética entre el hidrógeno y otras formas de energía.

Obtención de hidrógeno por electrólisis del agua [2, 4, 5]

La electrólisis del agua en su forma convencional, electrólisis alcalina, ha estado en uso comercial desde hace unos ochenta años. Hasta el final del decenio de 1980, sólo una minúscula porción de hidrógeno de la producción total era obtenida directamente por la electrólisis.

La descomposición de agua por la electrólisis consiste en dos reacciones parciales que tienen lugar en los electrodos. Los electrodos se separan por un electrolito conductor. El hidrógeno se produce

en el electrodo negativo (cátodo) y el oxígeno en el electrodo positivo (ánodo). El intercambio de carga se produce mediante la corriente de iones. A fin de guardar los gases producidos aislados, las dos áreas de reacción están separadas por un ion separador de conducción (el diafragma). La energía para la separación de agua se suministra en forma de electricidad. El proceso de la electrólisis se muestra en la figura 2.

La eficiencia de energías comunes para la electrólisis son del 65%, aunque actualmente es posible alcanzar eficiencias del 80-85%. El principal problema de la obtención de hidrógeno a partir de la descomposición electroquímica del agua es el alto costo energético, por lo que se precisa contar con fuentes primarias accesibles, de bajo costo y preferiblemente no fósil.

Celdas de combustibles [2, 3, 5, 9]

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos de conversión directa de la

Tabla 1 Evaluación energética del hidrógeno [2]

<i>Medios de energía</i>	<i>Formas de almacenamiento</i>	<i>Densidad de energía gravimétrica [kWh/kg]</i>	<i>Densidad de energía volumétrica [kWh/l]</i>
Hidrógeno	Gas (20 MPa)	33,3	0,53
	Gas (24,8 MPa)	33,3	0,64
	Gas (30 MPa)	33,3	0,75
	Líquido (-273 °C)	33,3	2,36
	Hidruro metálico	0,58	3,18
Gas natural	Gas (20 MPa)	13,9	2,58
	Gas (24,8 Mpa)	13,9	3,01
	Gas (30 MPa)	13,9	3,38
	Líquido (-162°C)	13,9	5,8
LPG (propano)	Líquido	12,9	25,9
Metanol	Líquido	5,6	4,42
Gasolina	Líquido	12,7	8,76
Diesel	Líquido	11,6	9,7
Electricidad	Acumulador de plomo (químico)	0,03	0,09

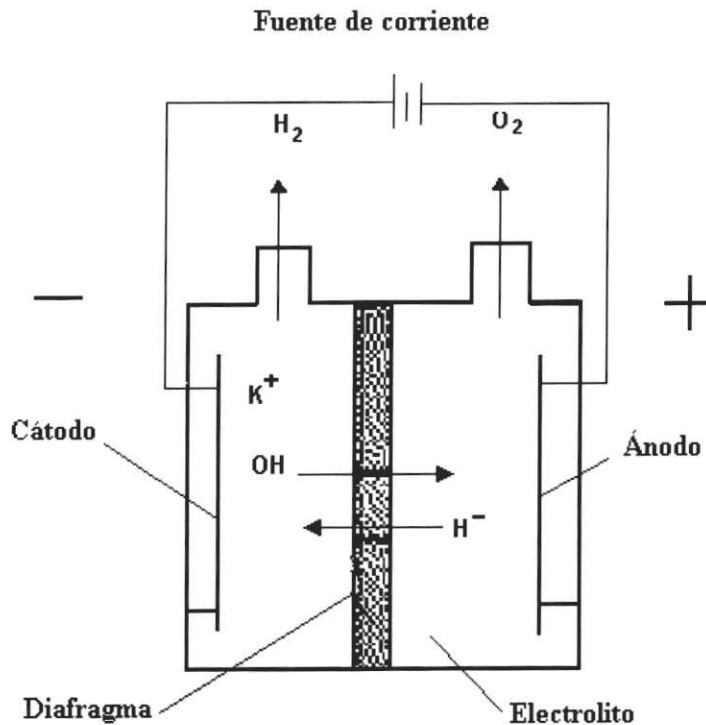


Figura 2 Celda electrolítica

energía química en energía eléctrica y calor. En principio, una celda de combustible opera como una batería, pero a diferencia de ésta, una celda de combustible no se agota ni requiere recarga. Ésta producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le provea de combustible. El único subproducto que se genera es agua. La salida de una celda de combustible es potencia CD de bajo voltaje y alta corriente.

Las características más destacadas de las celdas de combustible son:

- No produce contaminación ni consume recursos naturales. El hidrógeno se toma del agua y luego se oxida y se devuelve al agua. No hay productos secundarios ni tóxicos de ningún tipo que puedan producirse en este proceso.
- Alta eficiencia. Las celdas de combustible convierten la energía química directamente a electricidad con mayor eficiencia que ningún otro sistema de energía.

- Funcionamiento silencioso. En funcionamiento normal, la celda de combustible es casi absolutamente silenciosa.
- Larga vida y poco mantenimiento. Aunque las celdas de combustible todavía no han comprobado la extensión de su vida útil, probablemente tendrán una vida significativamente más larga que las máquinas que reemplacen.
- Modulares. Se puede elaborar las celdas de combustible en cualquier tamaño.

Funcionamiento de una celda de combustible [3, 4, 5, 9]

Una celda de combustible consiste en un electrodo catalizador activo de combustible (ánodo) y el oxidante (cátodo) y un electrolito para conducir los iones entre los dos electrodos. Los iones de hidrógeno y oxígeno se combinan para formar agua y producir un flujo de electrones de ánodo a cátodo, generando una corriente eléctrica. El

proceso es prácticamente el inverso a la electrólisis. El gas hidrógeno se divide en electrones y protones (iones positivos de hidrógeno) en el ánodo. La membrana electrolítica permite sólo el paso de los protones hacia el cátodo. Debido a que los electrones no pueden pasar a través de la membrana, se ven forzados a salir del ánodo por un circuito externo como forma de corriente eléctrica. Luego, a medida que pasa el oxígeno por el cátodo, éste permite que el oxígeno, los protones y electrones se combinen formando agua. En la figura 3 se puede observar una representación esquemática de una celda de combustible.

Las ventajas y desventajas de las celdas de combustibles [3, 4, 5]

Como ventajas se tienen las siguientes:

En la utilización de pilas de combustible para generación de electricidad en los sectores industrial y residencial, la reducción de emisiones frente a las centrales térmicas tradicionales puede ser del orden del 30% en emisiones de CO_2 , y de unos dos o tres órdenes de magnitud en óxidos de nitrógeno y de azufre, monóxido de carbono y partículas si se emplea hidrógeno obtenido a partir de gas natural. Otra importante ventaja de las

pilas de combustible es su elevado rendimiento (superior al 50%) que se traduce en un menor consumo de combustible. En el sector del transporte, la utilización de pilas de combustible en sistemas avanzados de propulsión que sustituyen el motor de combustión permite obtener vehículos de emisión nula si se emplea hidrógeno como combustible, con disminución en la contaminación acústica y mejora de la eficiencia energética del sistema. Las celdas de combustible pueden ser conectadas entre sí, de manera similar a lo que se hace con las baterías comunes, con el fin de obtener las condiciones de voltaje o corriente deseadas.

Como desventajas:

Elevados costos de los catalizadores, membranas y sistema adicional, elevado gasto de energía en la licuefacción del hidrógeno, elevado precio del hidrógeno puro, enormes tanques de almacenamiento de gases de elevado peso y degradación de los electrodos con el uso.

Conclusiones

La fuente primaria de contaminantes del aire es el consumo de combustibles fósiles en el transporte, en la producción de energía eléctrica y calor, por esta razón el hombre busca otras

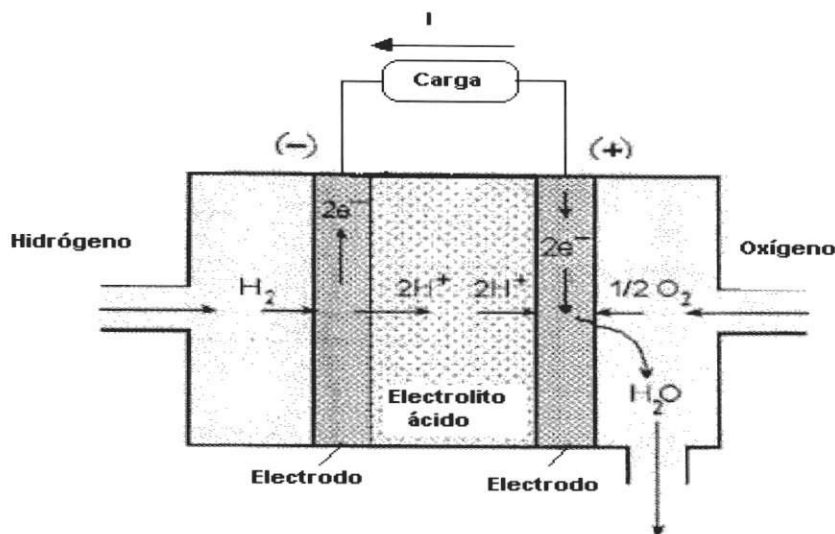


Figura 3 Celda de combustible

fuentes energéticas que disminuyan la producción de tales contaminantes sin sacrificar la producción de energía. El hidrógeno es una de estas fuentes ya que además de tener la más alta relación peso energía de todos los combustibles no produce prácticamente contaminación durante su utilización.

El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo, pero muy raramente se halla en forma pura en la tierra, se encuentra como constituyente del agua, de las moléculas de combustibles fósiles y muchas otras sustancias. Como el hidrógeno no es un combustible primario, se requiere un consumo energético para su obtención, ya sea a partir de los combustibles fósiles y de la electrólisis del agua.

El hidrógeno puede satisfacer necesidades energéticas de la sociedad mediante su empleo en celdas de combustible de diferentes tipos para el transporte o para la generación de energía eléctrica. Estas transforman directamente la energía química almacenada en la molécula de H₂ en energía eléctrica.

Referencias

1. "Hydrogen. The Fuel for The Future". U.S. Department of Energy. Marzo de 1995. <http://www.eren.doe.gov/hydrogen/rdrmp.htm> Fichero: Hydrofut.pdf.
2. Carbonero, F. *et al.* "Hidrogeno, energia de futuro". <http://www.uco.es/p52camaf/trabajos/hidrogeno/hidrogen.html>.
3. Quiceno, C. *et al.* "Generador prototipo de energía eléctrica mediante paneles solares"-hidrógeno-celda de combustible". ENERCOL. XIV conferencia energética colombiana. 27, 28 y 29 de agosto de 1997. Bogotá, Colombia.
4. Albaladero, M.J. *et al.* *Situación actual de las pilas de Combustible*. Ingeniería Química. Marzo, 1997.
5. Gautier, J.L. *Conversión electroquímica de energía*. Contribuciones científicas y tecnológicas 111. Abril, 1996.
6. Miller, E. *et al.* *Photoelectrochemical hydrogen production photoelectrochemical hydrogen production*. Hawaii natural energy institute. Proceedings of the 2000 Hydrogen Program Review
7. *Hydrogen. The Fuel for The Future*. U.S. Department of Energy. <http://www.eren.doe.gov/hydrogen/rdrmp.htm> .Fichero: Hydrofut.pdf.
8. Fuel Cell Handbook (Fifth Edition) By EG&G Services Parsons, Inc. Science Applications International Corporation Under Contract No. DE-AM26-99FT40575 U.S. Department of Energy. October 2000.
9. Montes M. "Situación actual y expectativas de los generadores electroquímicos". Ingeniería Química Nº. 368. Mayo, 2000.