

Fundación para el Desarrollo de las nuevas tecnologías del hidrógeno en Aragón

EL HIDRÓGENO, VECTOR ENERGÉTICO DE UN FUTURO NADA LEJANO

Luis Correas Usón

Dr. Ingeniero Industrial

Centro Politécnico Superior de Zaragoza

Ismael Aso Aguarta

Ingeniero Industrial

Centro Politécnico Superior de Zaragoza

Master Europeo de Energías Renovables
(Fundación CIRCE)

Recibido: 9/11/05

Aceptado: 9/1/06

Resumen

La situación actual de consumo desmesurado de energía nos está llevando a un punto de inflexión en la explotación de los recursos fósiles, los cuales están llegando a su punto de máxima extracción. Ante este panorama preocupante, en el que la energía juega un papel fundamental para el desarrollo y crecimiento de cualquier sociedad, se están abriendo nuevas vías para la búsqueda de nuevas fuentes energéticas, entre las cuales, el hidrógeno es la mejor situada y la más prometedora.

Palabras clave: Hidrógeno, pila de combustible, Nerst, IHER, energías renovables

Abstract

Nowadays the energy consumption and the population are growing; in contrast, the fossil resources are decreasing dramatically because of his use. Not too far away, will take place the situation in which, there will not be fossil fuels resources which support the society development. In this case the world will have to find new energy resources, and the best path in order to build a sustainability society for future generations, is to use

the hydrogen generated via renewable energy, to build the new era, which has been called since 1970 as the Hydrogen Economy.

Key words: Hydrogen, fuel cell, Nerst, Ither, Renewal energies

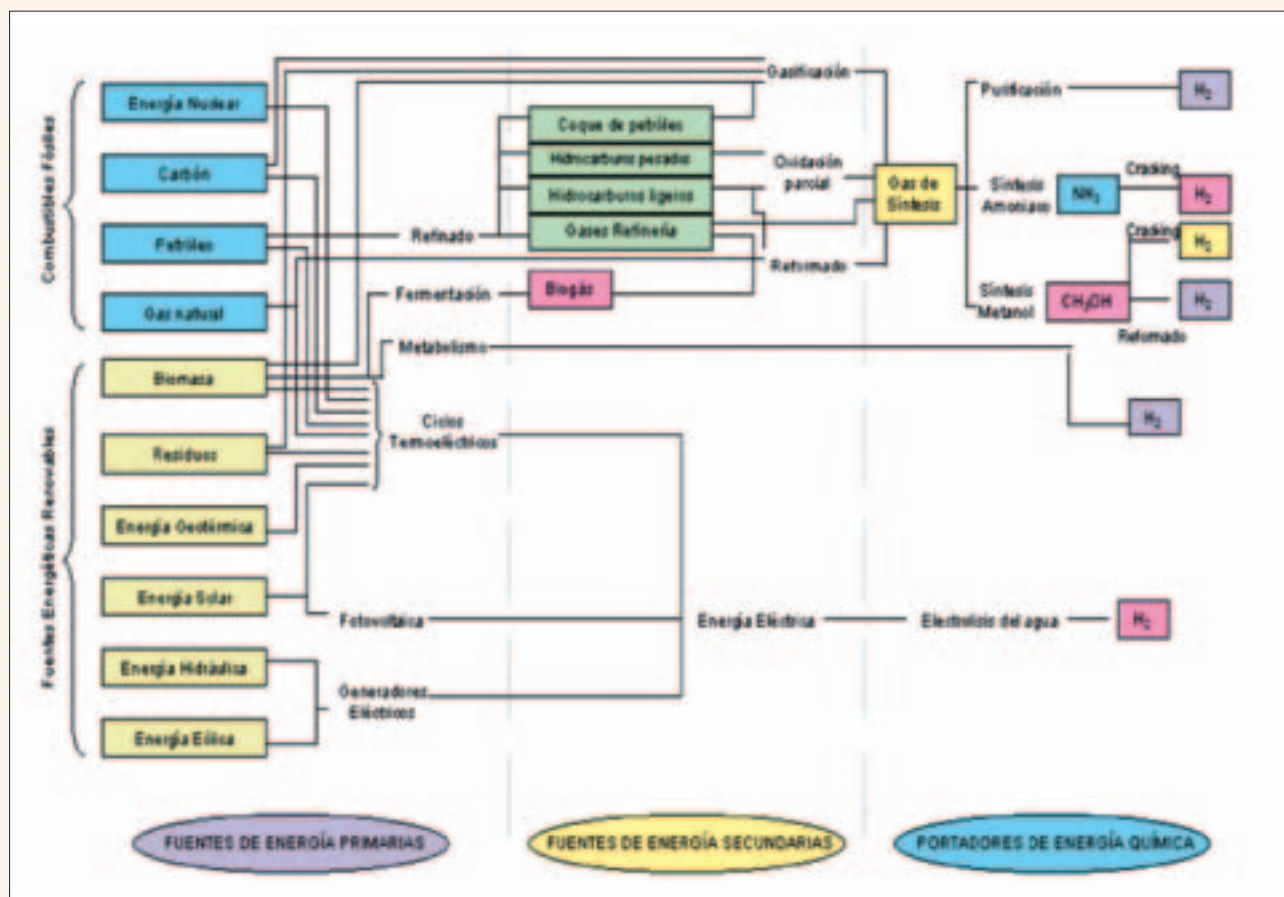
Actualmente se están invirtiendo gran cantidad de recursos para el desarrollo de lo que se conoce como "Economía del hidrógeno" [1]. También es de resaltar la profética visión de **Julio Verne** en *La isla misteriosa*: "Creo que un día el agua será un carburante que el hidrógeno y el oxígeno que la constituyen, utilizados solos o conjuntamente, proporcionarán una fuente inagotable de energía y de luz, con una intensidad que el carbón no puede; que, dado que las reservas de carbón se agotarán, nos calentaremos gracias al agua. El agua será el carbón del futuro".

Un hecho que a estas alturas no se puede ignorar es la disminución de las reservas de combustibles fósiles y los problemas medioambientales asociados a su combustión. Como consecuencias más inmediatas, actualmente por cada millón de moléculas que respiramos 380 son de CO₂, mientras que en los tiempos de

Cervantes, la cantidad era de 300. En un principio, parece muy pequeña la proporción en volumen del CO₂ en la atmósfera, en torno al 0,038 %, y parece razonable también pensar que la variación de una cantidad tan pequeña no implique ninguna alteración en nuestro entorno.

Sin embargo, esta variación está llevando a lo que se ha conocido como efecto invernadero, en sí mismo no es malo (incluso es necesario) ya que, si no existiera este gas en la atmósfera junto a otros que tienen el mismo efecto, los cuales retienen la radiación de onda larga emitida por la Tierra para estar en equilibrio con la energía recibida por el Sol, la temperatura de la Tierra sería de unos 70 °C bajo cero. Pero el aumento en la concentración de CO₂ conlleva el que la Tierra acumule más energía, ya que retiene la energía emitida por la Tierra, situada ésta en la banda del infrarrojo, produciéndose el consiguiente calentamiento de la misma. Como se ha comentado, este gas no es el único que genera el efecto invernadero. Ya que hay otros que, aunque su emisión se realice en cantidades inferiores, son incluso más dañinos como el caso del CH₄ producido en





algunos procesos naturales como en la descomposición anaeróbica de la biomasa.

Revisando la actualidad nacional, podemos ver cómo el tema de la energía está presente en nuestras vidas todos los días. Se ha calculado que nos gastamos en torno a 800 € al año en la factura doméstica y más de 900 € en combustible de automóvil por familia. Son también numerosas las noticias sobre huelgas de los diversos sectores por el precio del combustible, empezando por los sectores del transporte, agricultura, pesca, etc. Esto es debido, en buena manera, a la subida del coste del barril de petróleo, que se sitúa actualmente entorno a los 62 \$, y los expertos estiman que se pueden llegar a alcanzar en un horizonte de dos años un coste de 100 \$.

El sector de la minería también está sufriendo un cambio importante, pendiente de la reconversión debido a la entrada en vigor a principios de año del *Protocolo de Kyoto*. Una posible solución que se está estudiando es la gasificación del carbón con la captura de CO_2 en la precombustión y

un uso posterior de ese gas de síntesis en una pila de combustible.

A todo esto hay que sumar un año en el que las precipitaciones han sido escasas, lo que ha llevado a que los embalses nacionales estén en niveles alarmantes. Las previsiones de subida del precio del gas natural que se estiman en un 8 %, no vaticinan un marco estable, lo cual afectará sensiblemente, entre otros, a la rentabilidad de los ciclos combinados.

Ante este panorama energético un tanto desolador, surge el hidrógeno como posible solución firme. Al hidrógeno se le conoce como vector energético ya que actúa como transportador de la misma, ya que consume energía para su producción y posteriormente puede ser utilizado en multitud de aplicaciones. El siglo XIX fue la época del carbón, el XX la del petróleo y del gas natural, y el XXI promete ser el del hidrógeno. Estamos inmersos en un proceso de descarbonización, que se inició con el uso como fuente de energía primaria de la madera, y finalizará inexorablemente con el uso del hidrógeno.

Origen y propiedades

El hidrógeno (del griego *hydor*, agua y *gennasin*, generar) fue reconocido como un elemento químico en 1776 por **Henry Cavendish**; más tarde, **Antoine Lavoisier** le daría el nombre por el que lo conocemos. Es el elemento más abundante, constituyendo el 75% de la masa y el 90% de los átomos del Universo. Aunque se encuentra en abundancia en las estrellas y en los planetas gigantes gaseosos, en la atmósfera terrestre se encuentra tan sólo una fracción de 1 ppm en volumen.

El hidrógeno es un elemento químico de número atómico 1. A temperatura ambiente es un gas diatómico inflamable, incoloro e inodoro y es el elemento químico más ligero y más abundante del Universo, estando las estrellas durante la mayor parte de su vida formadas mayormente por este elemento en estado de plasma. Aparece, además, en multitud de sustancias como, por ejemplo, el agua y los compuestos orgánicos y es capaz de reaccionar con la mayoría de los elementos. El núcleo del isótopo más abundante está formado por un solo

protón. Además, existen otros dos isótopos: el deuterio, que tiene un neutrón, y el tritio que tiene dos.

Producción

Se producen cada año aproximadamente 400.000 millones de metros cúbicos de hidrógeno, lo que supone un potencial energético equivalente al 10 % del petróleo consumido. La mayor parte es producida y utilizada por la industria petroquímica y por la de abonos nitrogenados. Además se emplea en la industrial espacial. La fuente más común de hidrógeno es el agua. Otras fuentes son la mayor parte de los compuestos orgánicos, incluyendo todas las formas de vida conocidas, los combustibles fósiles y el gas natural. El metano, producto de la descomposición orgánica, está adquiriendo una creciente importancia como fuente de hidrógeno. Actualmente el 75 % de la producción mundial del hidrógeno se realiza a partir de gas natural mediante el proceso conocido como reformado con vapor de agua, y tan sólo un 4 %, se obtiene a partir de la electrólisis del agua. En la figura adjunta se puede ver un esquema de los múltiples métodos para la obtención de hidrógeno.

Seguridad y almacenamiento

Unos de los aspectos más problemáticos que presenta el hidrógeno es su almacenamiento, aunque industrias y expertos tienen claro que no es más peligroso que otros combustibles que utilizamos a diario. Seguro que el que más o el que menos ha oído el suceso del desastre del dirigible *Hindenburg*, en 1937, que se estrelló antes de aterrizar en Nueva Jersey en medio de una tormenta eléctrica. Del centenar de personas que viajaban a bordo, 36 de ellos murieron, la mayoría al arrojararse por la borda. El mundo entero culpó al hidrógeno de la tragedia. Hasta que, en 1997, **Addison Bain**, un científico de la **NASA** jubilado, hizo públicas las conclusiones de años de investigación: para aumentar la resistencia de la lona de algodón del *zeppelin* se había aplicado un compuesto que contenía, entre otras sustancias, polvo de aluminio,

un material altamente inflamable e inextinguible. Las conclusiones de Bain exculpan definitivamente al hidrógeno pero el daño a su imagen causado por 60 años de asociación a la tragedia, todavía no se ha reparado.

El hidrógeno presenta buenas propiedades de transporte y almacenamiento comparado con la electricidad. Sin embargo, no existe un método que resuelva totalmente el problema de su almacenamiento, el cual está relacionado con sus propiedades físico-químicas.

Actualmente existen varias vías de almacenamiento de hidrógeno.

- Una es el almacenamiento como gas en contenedores a presión. La baja densidad del hidrógeno gaseoso conlleva grandes volúmenes y altas presiones para lograr un almacenamiento eficaz. A pequeña escala, el almacenamiento se realiza en recipientes de media-alta presión. Para la acumulación de grandes cantidades, una alternativa de futuro podría ser el almacenamiento subterráneo en cavernas y minas abandonadas.

- La segunda vía de almacenamiento es como sólido formando hidruros metálicos: Los hidruros son aleaciones metálicas con capacidad para almacenar y liberar hidrógeno con gran seguridad. Permiten almacenar más hidrógeno por unidad de volumen que en forma líquida pero su principal inconveniente es su elevado peso.

- La tercera es el almacenamiento en nanotubos de carbono: Los nanotubos son láminas de grafito enrolladas formando un cilindro de diámetro nanométrico capaz de almacenar hidrógeno. Los avances que se consigan en esta nueva tecnología, aún en fase de investigación, resultarán decisivos para conseguir el almacenamiento de grandes cantidades de hidrógeno de forma segura.

- La cuarta es el almacenamiento como líquido en depósitos criogénicos: Se requieren volúmenes inferiores pero se consumen grandes cantidades de energía en el proceso de licuado, que supone el 30-40 % de la energía que se utiliza en la producción.

El desarrollo de estaciones de servicio de hidrógeno supondrá uno de los pasos más importantes para el uso generalizado de esta nueva fuente energética. Las zonas más idóneas para la creación de estas infraestructuras son las de una población pequeña y concentrada en el entorno de una gran ciudad y que cuenten con importantes recursos renovables, ya que de esta forma se reduce el número de "hidrogeneras" a construir y se disminuyen los costes.

Aplicaciones

Las aplicaciones del hidrógeno son innumerables. Industrialmente se precisan grandes cantidades, principalmente en el proceso **Haber** para la obtención de amoníaco, en la hidrogenación de grasas y aceites y en la obtención de metanol. Otros usos que pueden citarse son:

- Producción de ácido clorhídrico, combustible para cohetes y para la reducción de minerales metálicos.

- En estado líquido se emplea en aplicaciones criogénicas incluyendo la investigación de la superconductividad.

- Empleado antaño por su ligereza como gas de relleno en globos y *zeppelines*, tras el citado desastre del *Hindenburg* se abandonó su uso por su gran inflamabilidad.

- Uno de sus isótopos, el radiactivo tritio, se produce en las reacciones nucleares y se emplea en la construcción de bombas de hidrógeno. También se emplea como fuente de radiación en pinturas luminosas y como marcador en Ciencias biológicas.

- El deuterio, el otro isótopo, se emplea en aplicaciones nucleares como moderador, como constituyente del agua pesada.

La aplicación del hidrógeno que actualmente está cobrando más auge es su empleo en pilas de combustibles. A pesar de su aureola de tecnología avanzada e innovadora, las pilas de combustible realmente se conocen desde hace más de 150 años siendo consideradas a principios del siglo XIX como una mera curiosidad. Las pilas de combustible han sido objeto de intensos estudios de Investigación y Desarrollo, especialmente desde la

II Guerra Mundial. Deben su origen a los experimentos llevados a cabo por el abogado inglés **William Grove** en 1893, a través de sus estudios y experimentos en los que dio en llamar *Grove cell*.

Descripción, clasificación, funcionamiento y aplicaciones de las pilas

Como ya es conocido, una pila de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte directamente la energía química en eléctrica con alta eficiencia (45-65%) y baja emisión de sustancias contaminantes. Una pila de combustible está constituida por diversas celdas de combustible individuales conectadas eléctricamente.

Cada celda está constituida por dos electrodos separados por un electrolito. La energía eléctrica se genera combinando H_2 (combustible) y O_2 (oxidante) mediante una reacción electro-química sin combustión, generando como único subproductos calor y agua.

El criterio más corriente para clasificar las pilas de combustible es en función del tipo de electrolito que utilizan. Así tendremos pilas de combustible que funcionan a diferentes temperaturas, que necesitan mayor o menor pureza del hidrógeno suministrado y que resultan más o menos adecuadas para ciertas aplicaciones.

Al igual que el límite máximo de rendimiento para las transformaciones de energía térmica en mecánica viene marcado por el ciclo de **Carnot**, el rendimiento máximo alcanzable por una pila de combustible también tiene unos límites máximos alcanzables.

Las reacciones químicas que se dan en una pila, progresan en la dirección que minimiza la

Tipo	Electrolito	Temperatura de operación (°C)	Aplicaciones	Ventajas	Inconvenientes
Membrana Polimérica (PEMFC)	Polímero sólido	60-100	Vehículos. Portátiles. Generación estacionaria.	Electrolito sólido reduce corrosión y mantenimiento. Baja temperatura. Arranque rápido.	Catalizadores costosos. Sensible a impurezas en H_2 u otro combustible.
Alcalina (AFC)	Solución acuosa de hidróxido de potasio	90-100	Espacio. Militar	Reacción catódica más rápida en electrolito alcalino. Mayor eficiencia.	Muy sensible a impurezas.
Ácido Fosfórico (PAFC)	Ácido fosfórico líquido	175-200	Generación estacionaria. Portátiles.	65% de eficiencia en cogeneración. Acepta H_2 impuro.	Catalizador de platino. Baja corriente y potencia. Gran peso y volumen.
Carbonatos Fundidos (MCFC)	Solución líquida de litio, sodio y potasio	600-1000	Generación estacionaria	Ventajas por alta temperatura: mayor eficiencia, catalizadores más baratos.	Corrosión debido al tipo de electrolito. Baja vida útil.
Óxidos Sólidos (SOFC)	Óxido de Zirconio sólido con adiciones de litio	600-1000	Generación estacionaria	Ventajas por alta temperatura. Ventajas por electrolito sólido.	Corrosión debido a altas temperaturas. Baja vida útil.

energía libre de Gibbs, $G = H - TS$, donde G es la energía libre de **Gibbs**, H es la entalpía, T es la temperatura, y S es la entropía. Una reacción química a temperatura y presión constante cumple la expresión $\Delta G = \Delta H - T \Delta S$, siendo $\Delta G < 0$, para cumplir el segundo principio de la Termodinámica. En equilibrio químico, se cumple que $\Delta G = 0$, y el máximo trabajo realizable, o como comúnmente se conoce a la exergía, $W_{\max} = n_e F U$, siendo n_e el número de electrones intercambiados (en una pila con hidrógeno puro n_e toma el valor de 2 ya que $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$), F es la Constante de **Faraday**, y U es el máximo voltaje a circuito abierto.

La reacción que tiene lugar en una pila es: $H_2 + 1/2 O_2 \Rightarrow H_2O + \text{electricidad} + \text{calor}$. Las variaciones de entalpía y entropía de la reacción son [3]:

Pero h_f y s dependen de la temperatura y por lo tanto también $-\Delta G$, y $W_{\max}$, y, por lo tanto, hay que integrar

$$h_f = h_{f,0} + \int_0^T c_p dT, \quad c_p(H_2) = 56.505 - 22.22T^{-0.75} + 116.5T^{-1} - 560.7T^{-1.5}$$

Lo mismo ocurre para las entropías y para la capacidad calorífica del O_2 y del H_2O . Por ejemplo, una célula de hidrógeno funcionando a 200 °C tiene una $\Delta G = -220$ kJ, y $U=1,14$ V, en la Tabla adjunta se muestran los valores para otras temperaturas. Se aprecia cómo el

voltaje a circuito abierto baja al aumentar la temperatura.

Otra variable que influye en el funcionamiento de la celda es la presión de los gases. Casi siempre la presión en el ánodo es igual a la del cátodo "P", de forma que $P_{H_2} = \alpha P$, $P_{O_2} = \beta P$, $P_{H_2O} = \delta P$, la influencia de la tensión de la celda en función de la presión es:

$$U = U^0 + \frac{RT}{2F} \ln\left(\frac{\alpha\beta^{1/2}}{\delta}\right) + \frac{RT}{4F} \ln(P)$$

Por ejemplo, en una SOFC (Pila de óxido sólido) trabajando a 1.000 °C, $\Delta V = 0,027 \ln(P_1/P_2)$, en una de ácido fosfórico a 200 °C, $\Delta V = 0,01 \ln(P_1/P_2)$, en la práctica $\Delta V = 0,063 \ln(P_1/P_2)$. A baja temperatura, el beneficio de incrementar P es mayor que el que da la ecuación de **Nerst** porque se reducen las pérdidas en el cátodo.

Una vez introducida la Termodinámica de los procesos químicos que intervienen en la reacción que tiene lugar en una pila de combustible, se define el rendimiento de la pila como:

$$\eta = \Delta g / \Delta h \approx 0.8 - 0.95$$

Incluso la definición de eficiencia termodinámica es ambigua y en analogía a lo que sucede con los poderes caloríficos, que se define uno superior y otro inferior, en función de que se esté considerando el agua como vapor o como líquido, cuya diferencia radica en el calor latente, se definen dos valores de rendimiento para las

$$\Delta h_f = (h_f)_{H_2O} - (h_f)_{H_2} - \frac{1}{2} (h_f)_{O_2}, \quad \Delta s = (s)_{H_2O} - (s)_{H_2} - \frac{1}{2} (s)_{O_2}$$

0 °C	H_f (kJ mol ⁻¹)	S (J mol ⁻¹ K ⁻¹)
H_2O (líquido)	-285,83	70,05
H_2O (gas)	-241,83	188,83
H_2	0	130,59
O	0	205,14

pilas el HHV (*Higher Heating Value*) y el LHV (*Lower Heating Value*), por lo general se suele usar el HHV, en analogía al PCS.

Una vez planteados los límites de rendimiento de las pilas y la influencia de parámetros tan importantes como la temperatura y las presiones de trabajo, se pasa a presentar la curva de comportamiento de una pila real, la cual se muestra en la figura siguiente.

$$U = U_e - \eta^A - \eta^c - IR_c$$

Cuando se solicita corriente a una pila, aparecen pérdidas irreversibles que reducen el rendimiento. Dichas pérdidas son por activación, pérdidas óhmicas y pérdidas por el transporte de los gases.

La polarización por activación está ligada a la cinética de la reacción y a bajas intensidades a la cinética de los electrodos, dichas pérdidas son más importantes en el cátodo y se pueden disminuir mediante el aumento de la temperatura de trabajo, por ejemplo a 80 °C la densidad de corriente es de 0,1 mA cm⁻², mientras que a 800 °C es de 10 mA cm⁻², también se puede reducir utilizando un catalizador más efectivo, incrementando la rugosidad del electrodo, aumentando la concentración de los reactivos o incrementando la presión.

Las pérdidas óhmicas dependen de la conductividad del electrolito, de la permeabilidad de los diafragmas de las celdas, de la distancia entre electrodos y de la densidad de corriente.

Temperatura °C	Δh_f (kJ mol ⁻¹)	Δs (kJ mol ⁻¹ K ⁻¹)	Δg (kJ mol ⁻¹)
100	-242.6	-0.0466	-225.2
300	-244.5	-0.0507	-215.4
500	-246.2	-0.0533	-205
700	-247.6	-0.0549	-194.2
900	-248.8	-0.0561	-183.1

Las pérdidas por transporte son las asociadas al intercambio de masa y de la concentración. La expresión final que reúne toda las pérdidas se muestra a continuación, en donde cada uno de los parámetros r , i_n , i_0 , m y n , son características de cada una de las pilas. Los parámetros para dos modelos en concreto son:

Las principales aplicaciones del uso de las pilas de combustibles se pueden englobar dentro de tres grandes grupos: [2]

- Aplicaciones estacionarias: Generación eléctrica distribuida y cogeneración.
- Aplicaciones móviles: Motores de vehículos de transporte terrestre, marítimo y aéreo.
- Aplicaciones portátiles: Fuente de alimentación para teléfonos móviles y ordenadores.

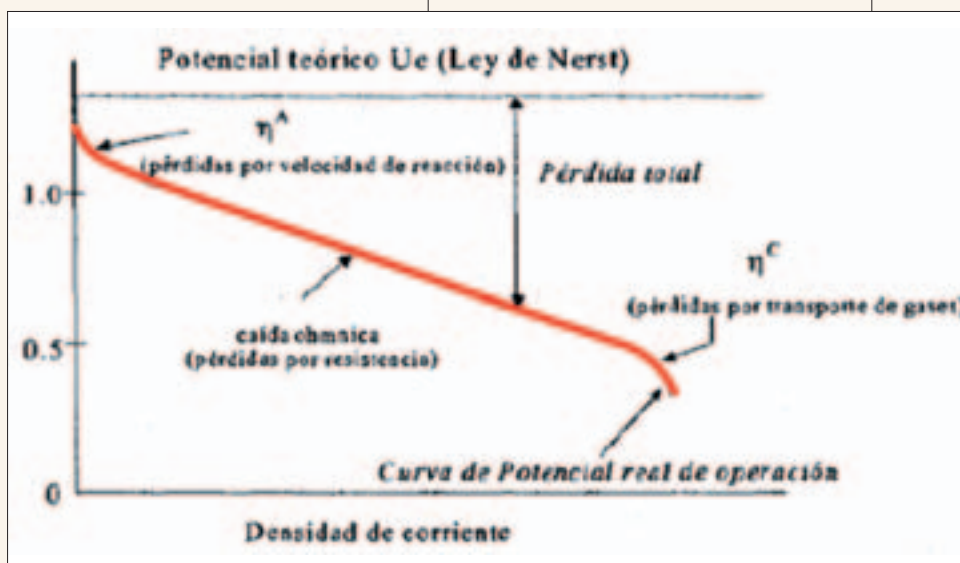
Frente al sistema convencional de distribución de energía formado por grandes centrales y largas redes de transporte, la generación eléctrica distribuida consiste en disponer de

múltiples centrales de pequeño tamaño (<30 MW) instaladas en las propias zonas residenciales e industriales, junto a los puntos de consumo. Las principales ventajas de la generación distribuida son:

- Buena combinación con energías renovables, pilas de combustible, y microturbinas de gas, por lo que resulta ventajosa para el medio ambiente.
- Abaratamiento de los costes de instalación y distribución.
- Reducción de las pérdidas de las líneas de transporte y aumento de la eficiencia.
- Complemento y apoyo a la generación centralizada, mejorando la calidad del suministro.

Los principales fabricantes de automóviles ya han investigado y desarrollado diversos prototipos de vehículos con pilas de combustible. La tecnología más utilizada es la de membrana polimérica (PEMFC) con una potencia de 50 – 100 kW. En la mayoría de los prototipos se ha experimentado con diversos tipos de combustible (metanol, etanol, hidrógeno gas/líquido, etc.). Hay que destacar que solamente el hidrógeno garantiza vehículos de emisión cero. No obstante, aunque se suministre otro combustible a la pila, las emisiones son muy inferiores a las de un vehículo convencional.

Los vehículos movidos con pilas de combustible conllevan un espectacular aumento del rendimiento. Frente a un 15-20% en los vehículos actuales, los nuevos pueden alcanzar una



$$U = U_e - ir - A \ln(i) + m \exp(ni)$$

Constantes	Ballard Mark V PEMFC a 70 °C	SOFC (alta temperatura)
U_e	1.031	1.01
$r(k\Omega \text{ cm}^{-2})$	$2.45 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-3}$
A (V)	0.03	0.002
m (V)	$2.11 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$
n ($\text{cm}^2 \text{ mA}^{-1}$)	$8 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$

eficiencia del 45-50%. Actualmente los vehículos de flota representan la mejor manera de ganar experiencia real mientras continúa el perfeccionamiento tecnológico de los vehículos. Además, así se evita el problema de la prácticamente nula infraestructura existente para el suministro de combustible ya que la mayor parte de las

rollero de las tecnologías del hidrógeno

En enero de 2004, la Comisión Europea, siguiendo las recomendaciones del *High Level Group* puso en marcha la Plataforma de la Tecnología de la Célula de Combustible y del Hidrógeno Europea (*European Hydrogen & Fuel Cell Technology Platform* (HFP)) para que determinara una es-

implica la introducción de las PYMES en el mundo del hidrógeno y el objetivo del segundo es la construcción de un laboratorio de ensayos a escala real de producción de hidrógeno mediante la electrólisis del agua, a partir de dos recursos naturales como son el sol y el viento, a través de la energía fotovoltaica y la eólica respectivamente.

Comentarios finales

Con este artículo se ha pretendido realizar una visión muy general del mundo del hidrógeno en el que nos estamos sumergiendo, entrando más profundamente en los principios básicos de funcionamiento de las pilas de combustible. La Era del hidrógeno se está fraguando en la actualidad y, para poder llegar a los objetivos perseguidos, será necesaria la interven-

Costes objetivo de las pilas de combustible según el tipo de aplicación

Segmento de mercado	Capacidad típica (MW)	Coste inicial de entrada (\$/kW)	Coste sostenido (\$/kW)
Cogeneración comercial	0.2 – 2	1.500 – 2.000	800 – 1.300
Cogeneración industrial	5 – 200	1.000 – 1.200	800 – 1.000
Generación distribuida	50 – 20	1.300 – 1.500	800 – 1.300
Repowering	50 – 500	1.100 – 1.500	800 – 1.100
Generación centralizada	100 – 500	900 – 1.100	700 – 900

flotas son abastecidas y mantenidas desde una única estación de servicio centralizada.

Visión europea y apoyo al desarrollo del hidrógeno en Aragón

Desde la Unión Europea, se ha apostado por el hidrógeno y las celdas de combustible como la clave para una producción eficiente y limpia de energía y calor en el siglo XXI. La Comisión Europea estudió en 2002 el desarrollo de la tecnología basada en el hidrógeno en el Grupo "*High Level Group for Hydrogen and Fuel Cells Technologies*", que presentó sus conclusiones en la Conferencia *The Hydrogen Economy, A Bridge to Sustainable Energy* en 2003. Este informe supone la base de las propuestas que desde entonces ha lanzado la Comisión Europea en la dirección del desa-

trategia efectiva hacia la economía del hidrógeno. Dicha estrategia se describe en dos informes dados a conocer en 2005, uno sobre la agenda de investigación estratégica y otro sobre las estrategias para el despegue de la tecnología.

Con el fin de dar los primeros pasos hacia la Economía del hidrógeno, el **Departamento de Comercio, Industria y Turismo de Aragón** ha promovido el nacimiento de la **Fundación para el Desarrollo de Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón**. Actualmente la Fundación está promoviendo entre otras actividades dos proyectos muy ambiciosos desde su concepción, como son el EDHa, "*Estrategia y Desarrollo de oportunidades del Hidrógeno para las PYMES aragonesas*", y el IHER, "*Infraestructura tecnológica para el hidrógeno y energías renovables*". El primero

ción y el compromiso de todos los sectores, empezando desde los ingenieros, empresarios, políticos y acabando en la concienciación social de que el mundo en el que vivimos no es sostenible a corto plazo.

Bibliografía

- [1] Rifkin, J. *La economía del hidrógeno. La creación de la red energética mundial y la redistribución del poder en la Tierra*. Barcelona, Editorial Paidós, 2002 ISBN 84-493-1280-9
- [2] Zabalza Ignacio, Valero Capiella Antonio, Scarpellini Sabina. *Hidrógeno y pilas de combustible. Estado de la técnica y posibilidades en Aragón*. Litocian S.L 2005. ISBN 84-609-4322-4
- [3] Larminie James, Dicks Andrew. *Fuell Cell Systems Explain*. Wiley 2003. ISBN 0 470 84857 X ■