

HELIODORO CATALÁN
Dr. Ing. Agrónomo

ALTERNATIVAS AL MOTOR DE COMBUSTIÓN CONVENCIONAL

EL HIDRÓGENO

Son muchas las ventajas que ofrece el hidrógeno como fuente de energía alternativa al petróleo y sus derivados, entre ellas su abundancia y que no contamina. Pero también surgen otros factores que ralentizan un mayor desarrollo, como es el elevado coste de su extracción. Todo ello se analiza en este segundo artículo dedicado a las alternativas al motor de combustión convencional.



El hidrógeno, conocido ya como la próxima 'energía verde', es el elemento químico más abundante del universo y su uso no contamina, sólo produce calor y agua.

La historia sobre el uso del hidrógeno en los motores es de finales del siglo XIX, pero los problemas de almacenamiento, generación y manejo (tiene una violenta reacción con el O_2 del aire cuando está en fase gaseosa y con elevada concentración) lo relegaron. Sólo en los años 70 y gracias a la carrera espacial (URSS, USA) se utiliza el hidrógeno en los viajes espaciales con dos finalidades:

- En los motores de los cohetes que impulsan a las naves fuera de la atracción terrestre mediante reacciones exotérmicas en su reacción con el oxígeno.
- En la alimentación eléctrica de las naves a través de células de combustible, puesto que el H_2 puede emplearse para almacenar electricidad debido a la conversión del hidrógeno en energía eléctrica y viceversa según fenómenos de electrólisis.

VENTAJAS DEL HIDRÓGENO

- La disponibilidad de H_2 es ilimitada
- No contamina. La reacción para la producción de energía consiste en combinar hidrógeno y oxígeno para dar agua de forma electrolítica. No existen productos secundarios:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + Energía$$

La ventaja es incuestionable frente a las emisiones de un motor convencional: óxidos de nitrógeno (NO_x), sulfuros, ozono... Los vehículos con motor de H_2 se consideran vehículos Z.E.V. (vehículos de emisión cero).

- Es un elemento con una energía por unidad de masa 2.6 veces mayor que la de la gasolina. El rendimiento es superior al de un gasolina (el 70% frente al 20%), y son mas silenciosos

Según el Premio Nobel de Física, el italiano Carlo Rubbia, los fabricantes están convencidos de que la producción en serie hará competitivos a los coches de hidrógeno. Rubbia admite que el coste actual de los prototipos es *"prohibitivo"* pero que en el futuro cercano el precio de los nuevos motores puede dividirse por treinta.

INCONVENIENTES DEL HIDRÓGENO

- ¡La disponibilidad es infinita pero el alto coste de extracción es alto!

Un m^3 de hidrógeno tiene un valor energético de 11 750 kJ, y se precisa para su producción un aporte energético un 20% superior (14 100 kJ). Si se pretende producir el hidrógeno a través de energías limpias como la fotovoltáica se obtiene una valoración económica claramente negativa. El coste energético se sitúa entre 2.66 y 5.32 euros (sin considerar impuestos de ningún tipo), que es el triple a séxtuple de lo que se paga por litro de combustible (gasolina) con sus correspondientes impuestos.

- La reacción $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O +$ *Energía* está exenta de emisiones perniciosas, es una reacción de tipo exotérmico, libera calor, por lo que pueden aparecer dos problemas importantes: la detonación o la combustión indeseada.

El problema del autoencendido presenta el mismo mecanismo que para motores de gasolina: los gases de entrada encuentran una fuente de calor que es suficiente para iniciar el proceso de combustión de la mezcla mientras la válvula de admisión está todavía abierta. El hidrógeno agrava el autoencendido debido a su baja temperatura de combustión. La solución pasa por eliminar los puntos calientes de la cámara de combustión por medio de refrigeración de las válvulas mediante sodio y bujías construidas con materiales con grandes coeficientes de conductividad térmica.

- El almacenamiento es difícil, debe estar en estado líquido y eso significa temperatura muy baja. Las consecuencias pueden ser que si dejamos el coche expuesto al sol podemos perder combustible. El hidrógeno es un elemento con una densidad, en estado líquido, de 70 kg/m^3 y es menor a la de cualquier otra sustancia líquida pero también tiene un volumen cuatro veces mayor que el de la gasolina para la misma energía.
- Un problema derivado del anterior es la autonomía del vehículo. Por ejemplo el BMW 750 tiene una autonomía de 350 km con depósito criogénico. Este problema se intenta resolver con nuevos diseños de depósitos o mediante el uso de hidruros metálicos.
- La infraestructura actual de repostaje es mínima.



Mercedes-Benz fabrica autobuses de transporte público que utilizan hidrógeno para alimentar la pila de combustible que mueve el motor.



La fórmula indica que se trata de un vehículo propulsado por hidrógeno.

USO DEL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE

De dos formas podemos usar el hidrógeno como combustible: o bien como combustible alternativo a los derivados del petróleo y usado en los motores convencionales, o bien en las células de combustible para producir electricidad.

La pila de combustible

El físico inglés William Grove sentó en 1839 las bases teóricas de este invento, pero la carrera espacial primero y los fabricantes de coches en los 90 la convierten en alternativa a la combustión convencional.

La pila de combustible opera como una batería, generando electrici-

dad sin ninguna combustión. Es un sistema basado en un proceso químico inverso a la electrólisis y en el cual hidrógeno y oxígeno reaccionan para provocar la electricidad que propulsará el vehículo. El proceso es básicamente sencillo: el hidrógeno reacciona con el oxígeno para crear electricidad que a su vez la transforma en energía cinética gracias a un motor eléctrico. La gran ventaja es que no se agota y producirá energía mientras se le provea de combustible.

El oxigeno se recoge del aire, mientras que el hidrógeno viaja almacenado en estado líquido o gaseoso.

La pila de hidrógeno comparte las virtudes de ruido y limpieza de los coches eléctricos sin detrimento de autonomía y prestaciones. Por contra, la mayor dificultad para su posible utilización universal es que se necesitarán grandes inversiones, así como la connivencia de muchos intereses para construir la infraestructura necesaria para la fabricación del hidrógeno y su posterior red de suministro.

Dos ejemplos de vehículos con pila de combustible son el Mercedes Clase A y el Hydrogen 1 de General Motors, un Zafira de cinco plazas. Ambos se encuentran en fase de pruebas en condiciones reales.

El Cobra 427 de 1965 ostenta el honor de ser el coche más rápido del mundo alimentado con hidrógeno. Alcanza con sus más de 300 caballos casi 190 kilómetros por hora. La persona que ha hecho posible este récord se llama James Heffel, es ingeniero de la Universidad de California, y también un 'loco' de los coches, que ha dotado a este clásico deportivo de una pila de combustible para demostrar que su pasión por las cuatro ruedas no está reñida con el respeto por la naturaleza.

Hidrógeno en motores convencionales

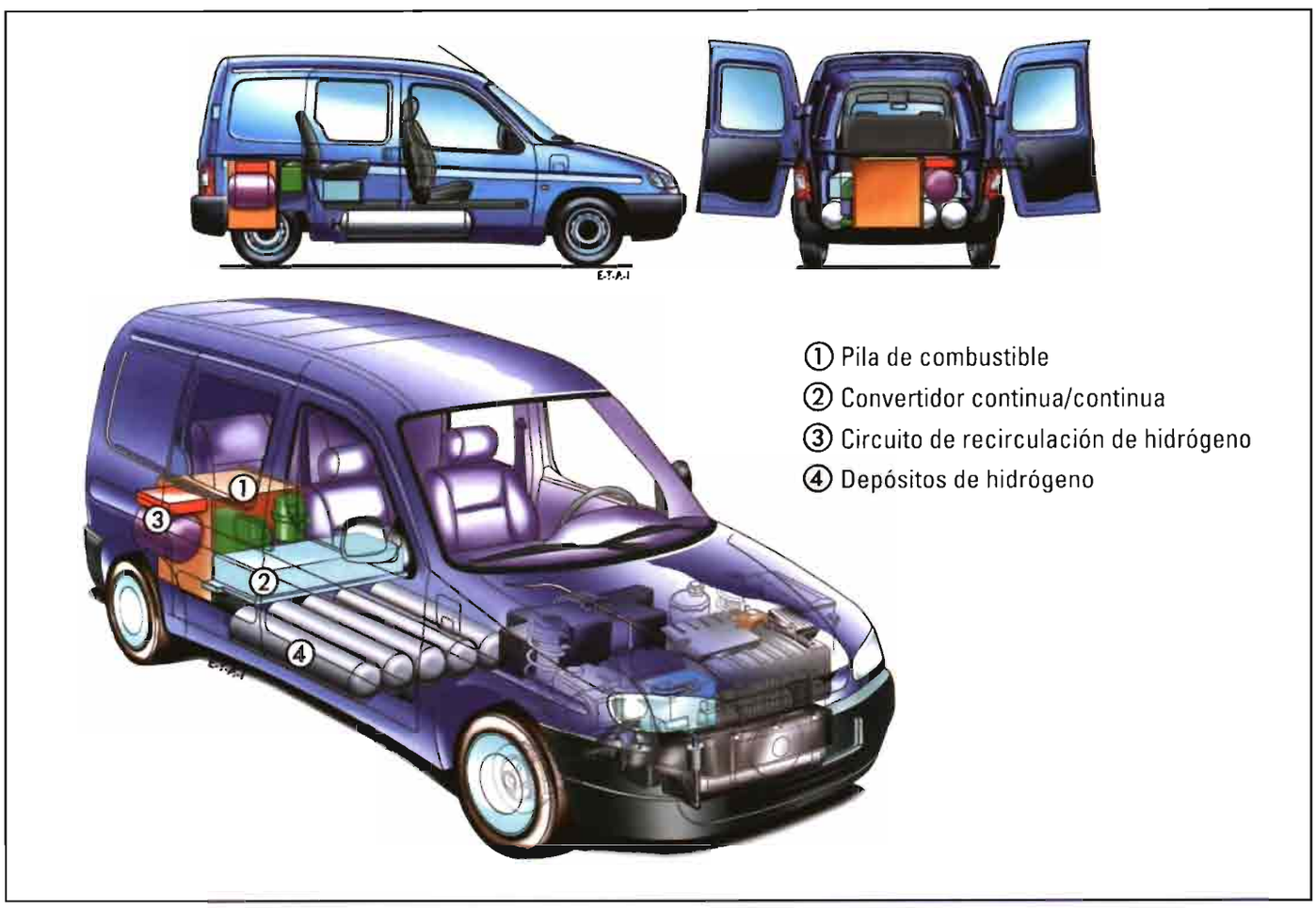
El motor alimentado con hidrógeno es una alternativa viable para limitar las emisiones en futuras plantas motrices híbridas.



Existen dos tipos básicos de motor de combustión que emplean hidrógeno como combustible: el de combustión de hidrógeno de cuatro tiempos (similar al de combustión interna) y el motor Wankel.

MOTORES DE HIDRÓGENO

- El motor Wankel da buenos resultados con el hidrógeno pues no da problemas de autoencendido (la cámara ya está vacía, con gases de escape lejos, cuando entran los gases nuevos), es un motor con una relación



potencia/peso de 0.34 kg por caballo (extremadamente bajo frente a un motor convencional, 2.72 kg/CV). El problema de este motor es la lubricación. Los motores rotativos no incorporan válvulas. Además cada tiempo se realiza en un punto distinto del motor. Por ello resultan adecuados para consumir hidrógeno como combustible, expulsando a la atmósfera como producto de la combustión vapor de agua. Se inyecta agua conjuntamente con H_2 en la cámara de combustión. En cada explosión, la ignición convierte el agua pulverizada en vapor a alta presión. Al contrario que en los motores convencionales, se pretende conseguir que la potencia sea proporcionada por la expansión del vapor de agua en mayor medida que por la combustión del hidrógeno. El agua se convierte en vapor a una temperatura aproximada de 400°C, expandiendo su volumen 1 700 veces y ejerciendo una tremenda presión. Esta presión es elástica, al contrario que en los motores convencionales donde se realiza en forma de golpe de martillo. En el motor diésel, la temperatura del aire llega a alcanzar temperaturas superiores a los 1 000°C cuando el émbolo alcanza el P.M.S., lo que disminuye el rendimiento final debido a la extrema compresión a que se somete al aire.



Honda es otro de los fabricantes que ha probado vehículos que utilizan el hidrógeno como fuente de energía.

En el motor rotativo alimentado con hidrógeno/vapor estos inconvenientes se eliminan, debido a que el movimiento del rotor es circular y en una sola dirección.

La compañía que más horas de desarrollo ha empleado en este motor es Mazda, incluso ha construido coches de competición con este motor. Sus modelos, HR-X1, HR-X2, MX-5 se comparan en la Tabla 1 con sus equivalentes en gasolina.

- El motor de 4T (ciclo Otto) puede ser usado con hidrógeno para conseguir un rendimiento energético mayor que el equivalente en gasolina y totalmente ecológico. Tienen prestaciones muy similares a los convencionales de gasolina (Tabla 2).

Respecto a la inyección del combustible, se puede optar por inyectar el hidrógeno a temperatura ambiente, por ejemplo el BMW 750 hL, o criogenizado, por ejemplo el nuevo Mini. El criogenizado tiene la ventaja de que debido a la baja temperatura se aumenta el volumen que entra, aumentando la potencia y el rendimiento del motor. En realidad los coches de hidrógeno funcionan con sistemas híbridos, capaces de funcionar tanto con gasolina 95 ó 98 octanos como con hidrógeno.

ALMACENAMIENTO DEL HIDRÓGENO

Una de las grandes dificultades, hoy en gran medida resuelta, del uso del H_2 es el almacenamiento, bien como líquido, en estado gaseoso (tanques de alta presión) o en forma de hidruro.

- Se pueden usar tanques criogénicos en los cuales el hidrógeno está en fase líquida. De esta forma, en un depósito de volumen similar a los de gasolina actuales, en los coches se puede transportar el hidrógeno con una autonomía aproximadamente la mitad que con hidrocarburo. Para conseguir el estado líquido se requieren temperaturas extremas (–253°C). Esto implica que el tanque debe estar aislado para evitar aumentos de la temperatura, además debe existir salida de hidrógeno eva-

Tabla 1

Mazda	Gasolina	Hidrógeno	Eléctrico
Potencia (CV)	120	110	
Velocidad máxima (km/h)	183	150	110
Tiempo de 0-100 km/h (s)	9.4	13.0	21.5
Tiempo en repostar	3 min	15 min	horas

Tabla 2

BMW	750 IL	750 hL
Combustible	Gasolina 98	H_2
Cilindros/cilindrada	12 (5 379)	
Potencia (CV)	243	204
$V_{máx}$ (km/h)	250	226
0-100 km/h (seg)	6.8	9.6



Hoy en día se sigue investigando para mejorar el rendimiento de este tipo de vehículos.

porado para evitar peligrosos aumentos de presión. Para que el hidrógeno no reaccione con el oxígeno del aire se le hace pasar por un catalizador que lo oxida. La autonomía de estos depósitos está en el orden de los 400 km.

Según el fabricante BMW es capaz de mantener 2 semanas el hidrógeno a la misma temperatura, y pasado este plazo se empieza a evaporar a un ritmo de 0.8% del depósito al día. Su depósito, en el 750 Hl, son dos capas de acero separadas por una cámara de vacío, donde existen además 70 capas de material aislante, además en el exterior lleva un aislante, de 3 cm, que según el fabricante actúa como una capa de 4 m de grosor de estireno. De esta forma consigue que el aumento de la temperatura por día sea de 1°C (aumento de presión de 1 bar/día). Cuando la sobrepresión es de 4 bar, se abren una válvula. En caso de accidente grave, con fuego o perforación del tanque, se asegura que la rotura sea por un lugar determinado.

- Otra tecnología es la de los depósitos de alta presión, realizados en fibra de carbono, en este caso la autonomía es de unos 250 km. El gran inconveniente es su elevado volumen, aunque puede ser viable para vehículos pesados, en turismos lo hace inviable. En cálculos aproximados para un depósito que cubriese una distancia de 900 km, con un motor de combustión convencional llevaría a la necesidad de un tanque de una tonelada de peso. Aunque como el hidrógeno tiene rendimientos superiores a la gasolina y se espera que se avance muchísimo en su tecnología podríamos suponer una reducción de peso a la mitad. Aún así sigue siendo excesivo para un vehículo tal y como hoy lo concebimos.
- Otro método de almacenamiento es optar por los hidruros metálicos, a base de sodio o litio. Existen metales que tienen tendencia a combinarse con el hidrógeno pero con enlaces atómicos débiles que pueden romperse con un poco de calor. El proceso es totalmente reversible, de forma que se puede rellenar el depósito cuantas veces se quiera. La principal ventaja es que se pueden conseguir densidades de hidrógeno dentro del metal mayores que la del hidrógeno líquido, además este es un método muy seguro (más que un depósito convencional de gasolina). Su mayor problema es el elevado peso que provocará una reducción de la relación potencia/peso del automóvil. Además, a la hora de repostar tardamos un tiempo considerable (unos 15 minutos). De acuerdo con los cálculos para un motor de combustión de hidrógeno, se precisarían unos 300 kilos para almacenar el equivalente en combustible para un recorrido de 100 km. Aquí igualmente el aumento de eficacia permite que esos 300 kilos hagan viable un recorrido de 250 km, con lo cual con un tanque de peso de 600 kilos se alcanzarían autonomías de 500 km, con dimensiones razonables que se pueden integrar sin problemas en el diseño de un coche medio tipo.

Como vemos, se consiguen autonomías que permiten un uso conocido del vehículo, puesto que no debemos olvidar aquello de una pausa al menos cada tres horas, que permitiría holgadamente repostar. Un ejemplo es el prototipo Necar IV de Mercedes, basado en una carrocería de la clase A, con una autonomía de 450 km.

En cualquier caso el problema de este tipo de depósitos tecnológicos es el precio.■

Direcciones web relacionadas

Energy&Environment Directorate	http://en-env.llnl.gov
Hydrogen Powered Rotaries	http://www.monito.com/wankel/hydrogen.html
Página oficial BMW	http://www.bmw.com
Página oficial Toyota	http://toyota.es/showroom/Prius
European Hydrogen Association	http://www.h2euro.org
Technology to Transform	http://www.fuelcellstore.com
Asociación Española del Hidrógeno	http://www.aeh2.org