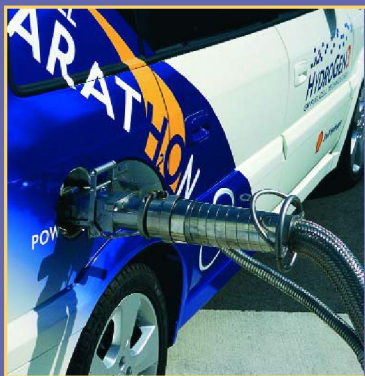


EL HIDRÓGENO Y LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

EL RECORRIDO DE LA ENERGÍA





contenido

Qué es y de dónde proviene el hidrógeno

- El combustible hidrógeno
- ¿Cómo obtener hidrógeno?
- Almacenamiento, transporte y distribución
- Situación actual y perspectiva del hidrógeno

Qué son y cómo funcionan las pilas de combustible

- Principio de funcionamiento
- Tipos de pilas de combustible

Las aplicaciones de las pilas de combustible

Aspectos medioambientales

- Situación preocupante para nuestro planeta
- ¿Qué pueden aportar las pilas de combustible?
- Datos comparativos

Estado actual y perspectivas de las pilas de combustible

- Las pilas de combustible en el mundo
- El hidrógeno y las pilas de combustible en la Comunidad de Castilla y León.
- Perspectivas de futuro

Glosario

Los nombres de la historia

Destacados investigadores de nuestro tiempo

Enlaces de interés

EDICIÓN PARA LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CASTILLA Y LEÓN

DIRECCIÓN Y EQUIPO DE TRABAJO:

© JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN

Consejería de Economía y Empleo - Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN)

COORDINACIÓN: FUNDACIÓN CIDAUT. Área de Energía y Medio Ambiente

Esta edición ha contado con el soporte de los programas europeos ALTENER y SAVE, de la Dirección General de Energía (DG XVII), de la Comisión Europea y la colaboración del Centre International des Energies Nouvelles CIEN y está basada en la obra elaborada por el Institut Catalán de Energia del Dpto. de Indústria, Comercio y Turismo de la Generalitat de Catalunya.

© DE LA EDICIÓN: Domènech e-learning multimedia, S.A. 

PRIMERA EDICIÓN: 2007

TIRADA: 1.500

EDITOR: E.i.S.E. Domènech, S.A.

DISEÑO: Domènech e-learning multimedia, S.A.

MAQUETACIÓN: Domènech e-learning multimedia, S.A.

IMPRESIÓN:

DEPÓSITO LEGAL:

Las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible tienen un gran potencial para convertirse en la base del sistema energético del futuro.

En el siglo XX, los combustibles fósiles contribuyeron al desarrollo de la sociedad tal y como hoy la conocemos, y trajeron nuevos desafíos de cuya solución puede depender el futuro de nuestro planeta. Se espera que las pilas de combustible y el hidrógeno introduzcan las soluciones que garantizan un desarrollo sostenible para la civilización del siglo XXI.



◆ QUÉ ES Y DE DÓNDE PROVIENE EL HIDRÓGENO

EL COMBUSTIBLE HIDRÓGENO

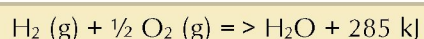
El hidrógeno es el elemento químico más simple de número atómico 1 (formado solamente por un protón y un electrón) y más abundante del universo formando parte de las estrellas y de los planetas gaseosos en su mayor proporción. En las estrellas se encuentra principalmente en estado plasma (estado de agregación de la materia con características propias).

El hidrógeno también aparece unido a otros elementos formando gran variedad de compuestos moleculares, como el agua (H₂O) y la mayoría de las sustancias orgánicas.

La molécula de hidrógeno es, en condiciones normales de presión y temperatura, un gas incoloro, inodoro, no tóxico e inflamable, con un punto de ebullición de -252,77°C y un punto de fusión de -259,13°C. Puede reaccionar con oxígeno (O₂) desprendiendo energía y formando agua. Esta reacción se conoce como combustión y en ella el hidrógeno es el combustible:

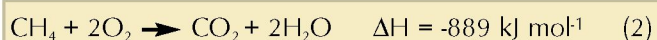


es decir, al realizarse la combustión del hidrógeno con oxígeno, a presión constante y cuando el agua formada ha condensado, se libera una cantidad de energía de 285 kJ por mol de hidrógeno (2 gramos), en condiciones estándar. Esta energía liberada se conoce como la entalpía de combustión. A partir de esos valores se pueden calcular los poderes caloríficos del hidrógeno (entalpía de combustión por unidad de masa), resultando ser el poder calorífico superior de 142,5 MJ/kg y el inferior (más importante en la práctica) de 120 MJ/kg



Esta reacción también puede verse como el proceso de formación del agua, proceso exotérmico en el que se liberan 285 kJ por mol de agua formada (18 gramos).

Hay otros materiales combustibles, como el carbón, gas natural, gasolina (GLP), que se conocen como combustibles fósiles porque provienen de compuestos formados de seres vivos (fauna y flora), hace millones de años. Todos ellos pueden reaccionar también con oxígeno y producir energía. Por ejemplo, para el gas natural (formado mayoritariamente por metano) sería:



A partir de los poderes caloríficos pueden establecerse equivalencias entre los combustibles. Así 1 kg de hidrógeno equivale a 2,78 kg de gasolina, a 2,80 kg de gasóleo y a unos 3 kg de gas natural.

Nuestro sistema energético actual se basa en la utilización de combustibles fósiles. Vivimos por ello en lo que se ha denominado la "sociedad de los combustibles fósiles". Gran parte de las actividades que lleva a cabo el ser humano son posibles gracias a la energía de estos combustibles; por ejemplo para el transporte (coches, aviones, barcos), la calefacción de edificios, el trabajo de las máquinas, en la industria, etc.

Hay dos razones principales por las que es deseable sustituir los combustibles fósiles por el hidrógeno:

1. La combustión del hidrógeno no contamina, sólo produce como subproducto agua (reacción 1), mientras que los combustibles fósiles liberan CO₂ (reacción 2) que queda en la atmósfera y es uno de los mayores responsables de lo que se denomina "efecto invernadero".
2. Las reservas de combustibles fósiles se agotarán tarde o temprano, mientras que el hidrógeno permanecerá inagotable.

Sin embargo, esta sustitución es complicada en el momento actual. En primer lugar, porque, a diferencia de los combustibles fósiles, el hidrógeno no se encuentra en estado puro en nuestro planeta, sino formando compuestos como el agua o la mayoría de los compuestos orgánicos; por lo tanto, es preciso desarrollar sistemas capaces de producirlo de manera eficiente.

Por otro lado, sería necesario habilitar nuevas infraestructuras para el suministro de hidrógeno; en otras palabras, habría que construir una completa red de estaciones de servicio de hidrógeno o "hidrogeneras", lo cual implica una fuerte inversión.

El hidrógeno, por tanto, no puede ser considerado como una fuente primaria de energía -como los combustibles fósiles-, sino un medio para transportar energía, por lo que se le denomina **vector energético***. De esta forma, el hidrógeno se transformará en energía eléctrica y térmica de una forma eficiente y limpia, mediante un proceso electroquímico conseguido en un equipo denominado "pila de combustible".

¿CÓMO OBTENER HIDRÓGENO?

Para obtener hidrógeno puro, es necesario extraerlo de los compuestos en los que se encuentra formando parte o combinado, principalmente el agua, los combustibles fósiles y la materia orgánica (biomasa).

A partir del agua: Electrolisis

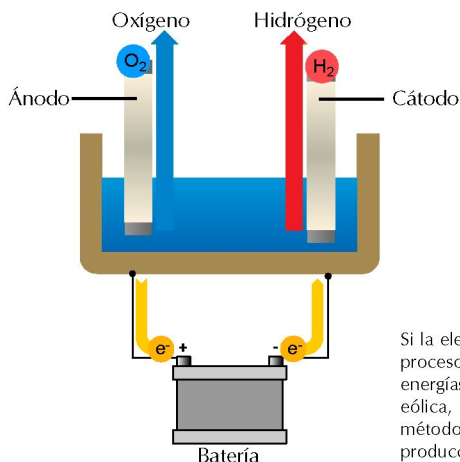
Mediante la **electrolisis***, el agua se descompone para formar hidrógeno y oxígeno (1).



Como puede observarse, en esta reacción se necesita un aporte energético (ΔH positiva), que será suministrado mediante energía eléctrica. El mecanismo de electrolisis es el siguiente: en una célula electroquímica hay dos **electrodos*** (**cátodo*** y **ánodo***) unidos por un medio conductor formado por iones H^+ (protones) disueltos en agua. El paso de corriente eléctrica entre cátodo y ánodo hace que el agua se disocie, formándose hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo.

Más adelante veremos otro tipo de células electroquímicas ("pilas de combustible") que actúan justamente a la inversa, consumiendo hidrógeno y oxígeno para producir electricidad y agua.

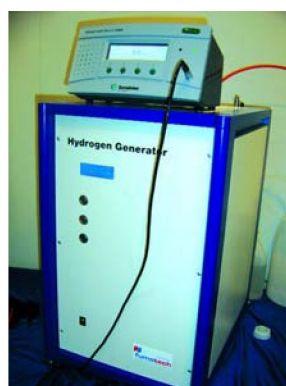
ESQUEMA DEL PROCESO DE ELECTROLISIS



Si la electricidad necesaria para el proceso se obtuviese a partir de energías renovables (fotovoltaica, eólica, hidráulica...), éste sería el método más conveniente para la producción de hidrógeno, porque sería limpio.



Planta industrial de reformado de gas natural



Electrolizador

A partir de combustibles fósiles

Como se ha dicho anteriormente, los combustibles fósiles son "portadores de hidrógeno", porque lo contienen en su molécula. Para obtenerlo como gas hidrógeno, bastaría con hacerlos reaccionar con agua utilizando un **catalizador*** para facilitar la reacción. Este proceso químico se denomina "**reformado*** con vapor de agua" y requiere aporte de energía porque es un proceso endotérmico, en el que se obtienen como productos principales hidrógeno y monóxido de carbono (CO).

Ese aporte de energía puede reducirse introduciendo oxígeno (o aire) al reactor al mismo tiempo que se alimenta el agua. De esta forma, el proceso se convierte en un proceso ligeramente exotérmico -desprende calor- que se denomina "reformado autotérmico". Además de hidrógeno y monóxido de carbono, también se puede formar dióxido de carbono (CO_2) por combustión con el oxígeno. El resultado final es una menor producción de hidrógeno, pero resulta de interés en algunos casos por el menor consumo energético.

Tanto en un caso como en otro, para obtener una corriente de hidrógeno puro es preciso llevar a cabo una serie de reacciones posteriores, como la reacción de desplazamiento del gas de agua, en la que el monóxido de carbono reacciona con agua para formar dióxido de carbono e hidrógeno. Para la última etapa de purificación se pueden utilizar tanto procesos químicos (oxidación selectiva), como físicos (separación por adsorción, métodos criogénicos, membranas de paladio), en función de la aplicación final en la que vaya a utilizarse el hidrógeno y el nivel de pureza que se necesite.

Actualmente, la mayor producción de hidrógeno a escala industrial se lleva a cabo mediante el reformado del gas natural.

A partir de biomasa

La biomasa es materia que proviene de los seres vivos, tanto vegetales (residuos forestales, agrícolas, cultivos energéticos...), como animales (purines, vísceras...) en la que abundan los compuestos hidrogenados. Cuando el tratamiento de la biomasa da lugar a la formación de gas, a este producto se le denomina biogás (proceso bioquímico), o bien, gas de gasificación o gas de síntesis (H_2 y CO_2) (proceso termoquímico).

Otros tratamientos de la biomasa dan lugar a la obtención de biocarburantes líquidos que pueden utilizarse también posteriormente como combustibles para la producción de H_2 más fácilmente transportables: es el caso del bioetanol o el biodiesel.

En todos los casos, junto con el hidrógeno se obtiene también dióxido de carbono pero, a diferencia de lo que ocurre con los combustibles fósiles, este CO_2 no supone un aumento de emisiones a la atmósfera, ya que forma parte del ecosistema, debido a que ha sido previamente fijado por la planta en el proceso de fotosíntesis.

ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

Los sistemas de almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno son esenciales para garantizar el suministro a los posibles usuarios finales.

Almacenamiento

Existen diversos sistemas de almacenamiento de hidrógeno. La elección del sistema más adecuado dependerá de la aplicación final en la que vaya a utilizarse. De manera resumida podemos citar los siguientes:

Almacenamiento a presión: Normalmente se almacena a una presión entre 200-350 bar en tanques o cilindros de acero. Como la cantidad de hidrógeno almacenado depende de la presión -cuanto mayor es la presión, más gas hidrógeno se almacena-, hoy en día se está trabajando en el desarrollo de materiales, como la fibra de carbono o aluminio, que tengan la capacidad de soportar una presión de hasta 700 bar. Este aspecto es especialmente importante para la aplicación en transporte.

Almacenamiento líquido: El hidrógeno pasa al estado líquido a una temperatura inferior a -253°C . Se utilizan tanques especiales ("**criogénicos**"), para mantener las bajas temperaturas. Este sistema sólo es utilizado cuando se necesita maximizar la capacidad de almacenamiento en un espacio reducido (por ejemplo, en algunas aplicaciones de transporte).

Hidruros metálicos: Diversos metales forman compuestos con el hidrógeno, conocidos como hidruros. La formación de estos compuestos es reversible, de forma que es posible volver fácilmente a tener el hidrógeno y el metal inicial. Este sistema ofrece una alta capacidad de almacenamiento y presenta diversas ventajas de seguridad y manipulación (almacenamiento sólido a presión y temperatura ambiente) frente a otros sistemas. Sus principales desventajas son el elevado peso de los equipos y su alto precio.

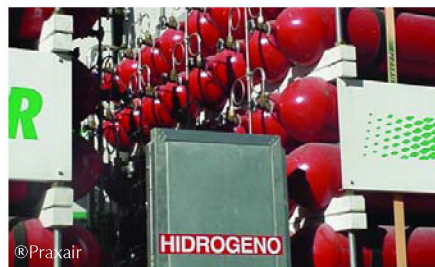
Nanotubos de carbono: Son estructuras de grafito, en forma de hexágonos de carbono, que se disponen formando tubos de diámetro muy pequeño (nanotubos), dentro de los cuales puede almacenarse gran cantidad de hidrógeno. Los investigadores están desarrollando diversos procedimientos y, aunque aún hay disparidad en los resultados, todos coinciden en el gran potencial del sistema.



©LINDE

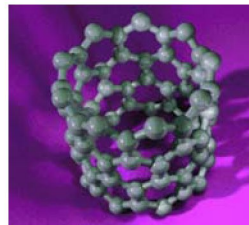
Instalación industrial de oxidación parcial de hidrocarburos pesados.

DIFERENTES SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



©Praxair

Tanques a presión

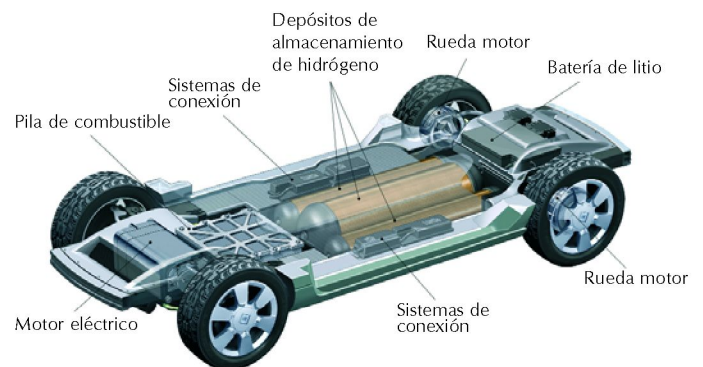


Nanotubos carbono

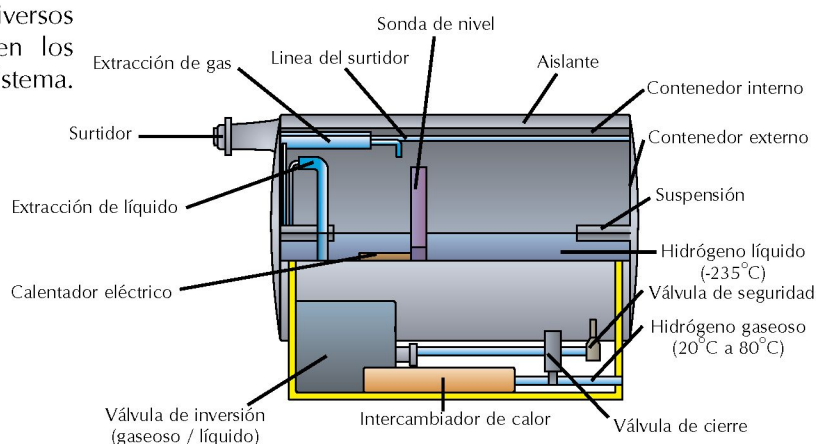


Hidruros metálicos

ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO EN UN AUTOMÓVIL



ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO LÍQUIDO



Fuente: Linde AG

Transporte

En principio, el hidrogeno puede ser transportado en estado gaseoso (a presión) o líquido (criogénico), pudiendo distribuirse a través de tuberías o mediante camiones, barcos o trenes, que incorporan alguno de los métodos de almacenamiento vistos con anterioridad.

Distribución

La distribución es el proceso de puesta a disposición del usuario final del hidrógeno. Actualmente, se realiza desde tanques a presión en el punto de suministro. En el futuro, cuando se generalice el uso del hidrógeno en la llamada "sociedad del hidrógeno", se diseñarán sistemas de interconexión por tubería que lo hagan llegar a los hogares (similar a las actuales conexiones de gas natural), y también estaciones de servicio de hidrógeno "hidrogeneras", que permitirán una rápida recarga de cualquier vehículo propulsado por hidrógeno. A día de hoy, son muchos los proyectos que han avanzado estas soluciones. A modo de ejemplo, en el año 2005 hay instaladas más de 110 estaciones de servicio de hidrógeno en todo el mundo y más de 100 en proyecto.

DIFERENTES SISTEMAS DE TRANSPORTE

©Air Liquide



Transporte por tuberías



©Praxair

Transporte terrestre



Transporte marítimo

DIFERENTES ESTACIONES DE HIDRÓGENO O "HIDROGENERAS"



Hidrogenera en Berlín



Repostaje de un autobús en una hidrogenera

Situación Actual y Perspectivas del Hidrógeno

Las fluctuaciones en los precios del petróleo, la preocupación por el calentamiento global, y la creciente demanda de energía ha impulsado la búsqueda de alternativas que puedan hacer realidad la energía sostenible.

El hidrógeno se presenta como un vector energético flexible y respetuoso con el entorno, cuyo potencial no atañe únicamente a la reducción sustancial de las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) y consecuente mejora de la calidad del aire, sino que supone un sistema de suministro energético seguro y, en particular con unas consecuencias significativas en el sector transportes. Asimismo, los combustibles que contienen hidrógeno se pueden emplear en sistemas estacionarios de pila de combustible, proporcionando una amplia flexibilidad para el uso de las pilas de combustible como sistemas combinados de producción de calor y electricidad.

En los últimos años han surgido diversas iniciativas para el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno. Con este fin, el Departamento de Energía de los Estados Unidos ha destinado más de 1.700 millones de euros para los próximos cinco años y la Unión Europea, dentro del VI Programa Marco (2003-2006), unos 275 millones de euros, y en el VII Programa Marco (2007 - 2013) se dedicaran 2350 millones de euros para energía de los cuales unos 470 millones de euros serán para hidrógeno y pilas de combustible.

Las Iniciativas Tecnológicas Conjuntas o JTIs (Joint Technology Initiatives) serán el instrumento más innovador y ambicioso del VII Programa Marco. Para la JTI del Hidrógeno y Pilas de Combustible se estiman presupuestos muy elevados (sobre los 7 billones de euros).

Como principal objetivo se fija alcanzar la cuota del cinco por ciento en combustibles de hidrógeno en el transporte para el año 2020. En España, el Plan Nacional de I+D+I 2004-2007 también incluye apartados específicos para el desarrollo de este tipo de tecnologías y el nuevo Plan Nacional 2008-2011 concederá más importancia a la investigación en hidrógeno, su producción y sus aplicaciones.



Autobús con pila de combustible

Para el año 2050 se espera disponer de hidrógeno ampliamente y a un precio competitivo, en todas las naciones industrializadas. No sólo funcionará como combustible para el transporte, sino que se utilizará como un complemento al sistema de generación de electricidad partiendo de fuentes de energía renovables, con el objetivo de ajustar la generación a la demanda energética.

Los combustibles que contienen hidrógeno tendrán una importancia creciente en el sector estacionario (generación centralizada y distribuida), durante el desarrollo previsto de una extensa red de gasoductos que conectarán nuevos centros de producción de pequeña y gran escala. Se espera que el transporte de hidrógeno líquido y gaseoso por carretera y la producción de hidrógeno in situ prevalezcan en diferentes segmentos del mercado.

Para entonces, los sistemas de pila de combustible para aplicaciones portátiles, estacionarias y de transporte deberían ser tecnologías maduras y de producción competitiva. A pesar de que estas pilas consumirán hidrógeno predominantemente, no es probable que se alimenten únicamente con un solo combustible. Las pilas de combustible flexible también suponen un avance importante que se espera esté ampliamente disponible en combinación con sistemas de reformado para determinadas aplicaciones en el transporte.

La historia nos indica que las sustituciones del combustible primario, como por ejemplo el paso de la madera al carbón, del carbón al petróleo y de este último al gas natural, duran por lo menos entre 40 y 50 años, por lo que durante algunos años se solapan. No obstante, existen numerosas razones convincentes de perspectiva económica, geopolítica y medioambiental que nos indican que el hidrógeno podría desplazar a otros combustibles más rápidamente.

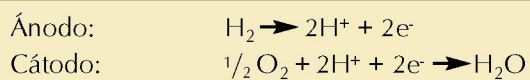


Hidrogenera de Madrid

QUÉ SON Y CÓMO FUNCIONAN LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Las pilas de combustible son dispositivos electroquímicos que transforman la energía química directamente en energía eléctrica. Aunque con diferencias según el tipo, la unidad fundamental de una pila de combustible se compone de dos electrodos conductores electrónicos separados por un electrolito conductor iónico. Los reactivos, oxígeno e hidrógeno, reaccionan de forma separada en cada electrodo:

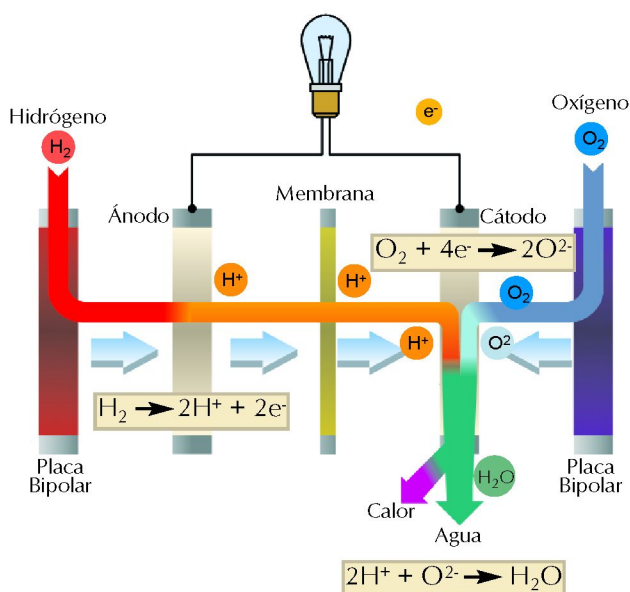


Para que estas reacciones tengan lugar es necesario que haya un catalizador tanto en el cátodo como en el ánodo. En total resulta la reacción del hidrógeno que ya hemos visto antes:



A nivel microscópico, lo que ocurre es que cada molécula de hidrógeno en el ánodo se convierte, con ayuda del catalizador en dos iones positivos de hidrógeno o protones ($2H^+$) y dos electrones (e^-). Ambos, electrones y protones, van al cátodo para reaccionar con moléculas de oxígeno y formar agua, pero siguen caminos distintos. Los protones pasan a través del electrolito mientras que los electrones lo hacen por un circuito eléctrico externo, generando así una corriente eléctrica.

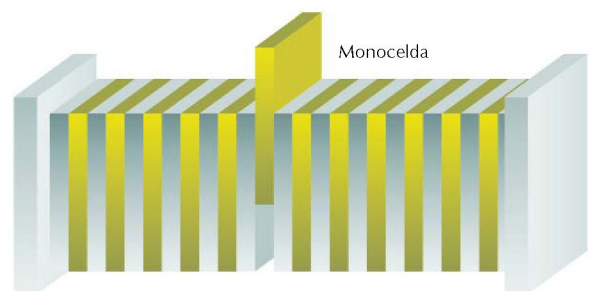
ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA PILA DE COMBUSTIBLE



En definitiva, en una pila de combustible tiene lugar la combinación del hidrógeno y el oxígeno, sin que las moléculas de hidrógeno y oxígeno entren en contacto, y la energía de la reacción da lugar a una corriente eléctrica: se ha producido electricidad.

Uniendo varias estructuras idénticas a la descrita (**monocelda***), es posible sumar potencias, dando lugar a lo que se conoce como un **"stack"**. Finalmente, es necesaria una estructura que posibilite la circulación y suministro de los gases, disipe el calor generado e incorpore los terminales para utilizar la electricidad producida.

STACK O "APILAMIENTO" DE CELDAS DE COMBUSTIBLE



La tecnología de las pilas de combustible presenta las siguientes ventajas frente a otros sistemas tradicionales:

- Alta eficiencia energética: Las pilas de combustible tienen mayor eficiencia que otras formas de conversión de energía, como los motores de combustión.
- Bajo nivel de contaminación medioambiental: Al funcionar con hidrógeno como combustible, el proceso electroquímico no produce emisión de gases contaminantes (óxidos de nitrógeno y azufre, hidrocarburos insaturados, etc.). Tampoco hay **contaminación acústica***, ya que al no haber partes móviles, las pilas de combustible no producen ruido.
- Carácter modular: La disponibilidad de las pilas de combustible como módulos independientes supone una ventaja adicional, ya que un cambio de escala en la potencia requerida se consigue fácilmente mediante la interconexión de módulos.
- Flexibilidad de operación: Una pila de combustible puede funcionar con alto rendimiento y sin interrupción en un amplio rango de potencias suministradas. Esto no ocurre así con otros métodos de conversión de energía.

TIPOS DE PILAS DE COMBUSTIBLE

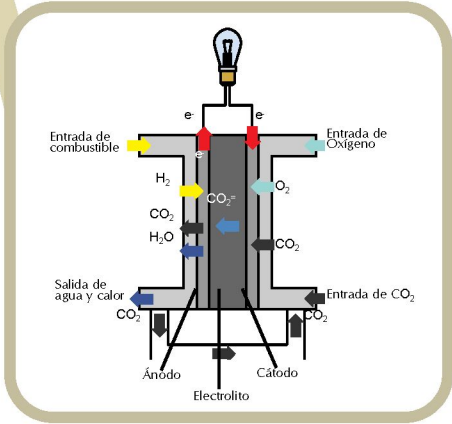
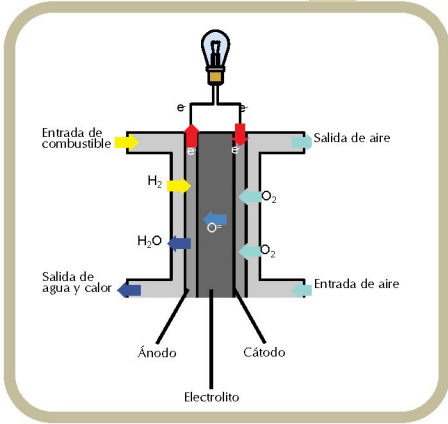
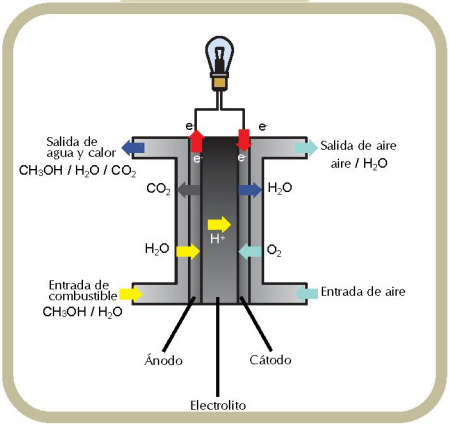
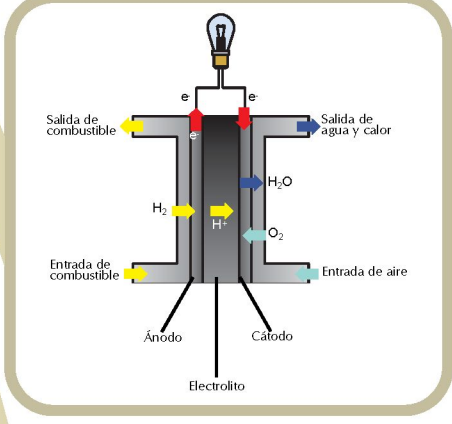
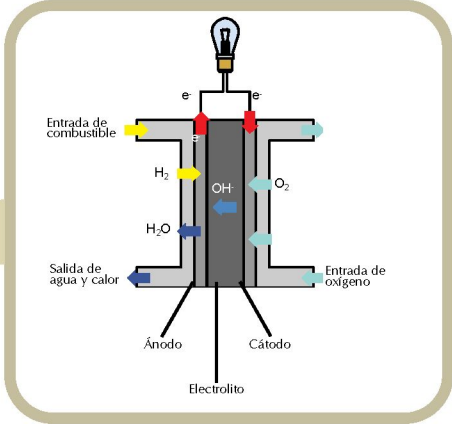
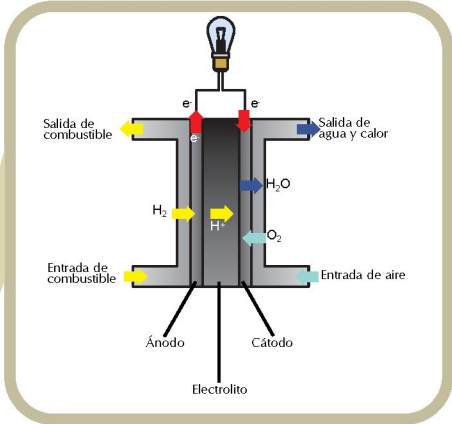
Existen diferentes tipos de pilas de combustible con distintas características de operación (temperatura de trabajo, combustible utilizado...), aunque su clasificación atiende al tipo de electrolito que emplean:

- Pilas de combustible poliméricas (PEMFC)*
- Pilas de combustible alcalinas (AFC)*
- Pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC)*
- Pilas de combustible de carbonatos fundidos (MCFC)*
- Pilas de combustible de óxidos sólidos (SOFC)*
- Pilas de combustible de metanol directo (DMFC)*

En el cuadro adjunto se resumen las principales características de los distintos tipos de pilas de combustible.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

	Electrolito	Tª trabajo	Combustible	Ventajas	Aplicaciones	Esquema
PEMFC	Membrana de polímero sólido	60-80°C	Hidrógeno	Baja Tª Arranque rápido Baja corrosión y mantenimiento	Transporte Portátiles Residencial	
AFC	Solución alcalina	100 -120°C	Hidrógeno	Mayor eficiencia Reacción catódica más rápida	Espaciales	
PAFC	Ácido fosfórico	200-250°C	Hidrógeno Gas natural	Acepta H2 con 1% CO	Generación eléctrica distribuida Automoción	
MCFC	Carbonatos fundidos	600 - 700°C	Gas natural	Reformado interno Cogeneración*	Generación eléctrica	
SOFC	Material cerámico	800 - 1000°C	Gas natural	Reformado interno Cogeneración	Generación eléctrica	
DMFC	Membrana de polímero	50-120°C	Metanol	No necesita reformador de combustible	Portátiles	



◆ LAS APLICACIONES DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

El importante desarrollo experimentado por las pilas de combustible en los últimos años ha permitido que esta tecnología sea utilizada en una gran cantidad de aplicaciones. Las más destacadas son:

Transporte: Las principales marcas de automóviles, Ford, General Motors, Toyota, Daimler-Chrysler entre otras, ensayan ya prototipos previos a la comercialización que funcionan con una pila de combustible tipo PEMFC. También se está estudiando la utilización de pilas de combustible tipo SOFC como unidades auxiliares de potencia. Se espera que estos automóviles puedan adquirirse en el plazo de dos a tres años y vayan sustituyendo progresivamente a los coches con motor de combustión interna. Para el año 2020, se espera que aproximadamente el 10% de los vehículos en el mundo lleven una pila de combustible.

APLICACIONES DE TRANSPORTE



Aplicaciones portátiles: El uso de una pequeña pila de combustible (recargada con cartuchos de combustible; por ejemplo metanol) como fuente de energía para pequeños dispositivos electrónicos, en lugar de las tradicionales baterías, ofrece grandes ventajas en el aumento de la autonomía de los equipos.

APLICACIONES PORTÁTILES



©Toshiba



©Smart Fuel Cell



©Powerpac



©MTI

Residencial: El hecho de que las pilas de combustible desprendan calor durante su funcionamiento, además de su reducido tamaño y posibilidad de escalado, las hacen perfectas para ser utilizadas en aplicaciones residenciales, donde cada familia pueda tener calor y electricidad en su casa.

APLICACIONES RESIDENCIALES



©UTC



©Mitsubishi



©Axane



©Sulzer Hexis

Generación eléctrica: La posibilidad de escalado de esta tecnología permitirá la producción de energía eléctrica en grandes potencias. Además, el uso de pilas de combustible de alta temperatura facilitará el aprovechamiento del calor residual para combinarlo con otras tecnologías, aumentando así el rendimiento global.

APLICACIONES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA



©MTU



©Ballard

ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

Las pilas de combustible y el hidrógeno son una respuesta a los problemas de contaminación que se plantean hoy día.

SITUACIÓN PREOCUPANTE PARA NUESTRO PLANETA

La contaminación que la actividad humana genera se manifiesta de diferentes formas, con aumentos de temperatura (entre 0,3 y 0,6°C los últimos 50 años en Europa) o a través del crecimiento del nivel del mar (entre 10 y 25 cm en los últimos 100 años). Todo ello se debe a la utilización excesiva de los combustibles fósiles como fuente de energía. La combustión de carbón, petróleo o gas natural emite a la atmósfera gases nocivos y generadores del efecto invernadero.



Estos problemas se agravan si además se tiene en cuenta que el consumo energético mundial aumenta drásticamente, impulsado principalmente por economías emergentes como las de China e India; estimándose que, hacia el año 2050, se duplicará la energía consumida en nuestro planeta. Si a esto le sumamos que las reservas existentes de petróleo se están reduciendo y que en muchas ocasiones se encuentran en regiones conflictivas, es fácil vislumbrar una situación complicada a medio-largo plazo para el panorama energético mundial.

¿QUÉ PUEDEN APORTAR LAS PILAS DE COMBUSTIBLE?

Por los motivos mencionados anteriormente, las pilas de combustible y la utilización del hidrógeno pueden ser una solución al problema medioambiental; principalmente, porque alcanzan eficiencias altas con niveles de contaminación bajos.

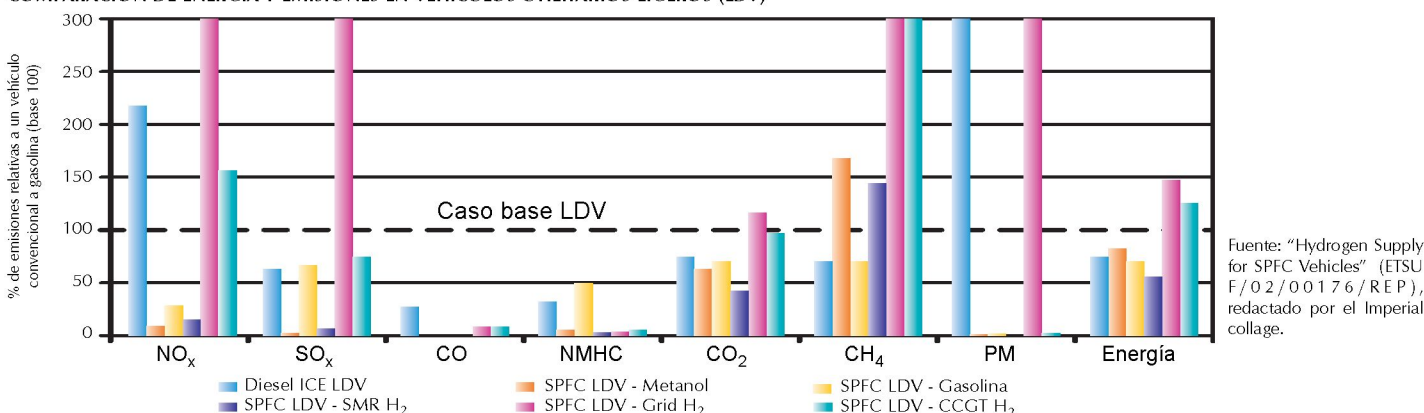
Su utilización generalizada depende aún de avances en determinados ámbitos de su tecnología. Es preciso aumentar la durabilidad media de sus componentes, disminuir los costes de fabricación y conseguir una buena infraestructura de fabricación y distribución del hidrógeno. En estos logros reside el que sea factible la transición de una economía basada en los combustibles fósiles hacia una economía basada en el hidrógeno como combustible, la denominada "**Economía del hidrógeno***".

DATOS COMPARATIVOS

El interés de las pilas de combustible se desprende del análisis de algunos datos sobre las emisiones de las distintas formas de energía. La gráfica presenta las emisiones desde el proceso de extracción de la materia prima hasta su utilización en los vehículos utilitarios ligeros.

En muchas ocasiones, las tecnologías más respetuosas con el medioambiente son las menos viables económicamente, por lo que es imprescindible encontrar un equilibrio que permita evolucionar desde prototipos de investigación hacia productos de mercado.

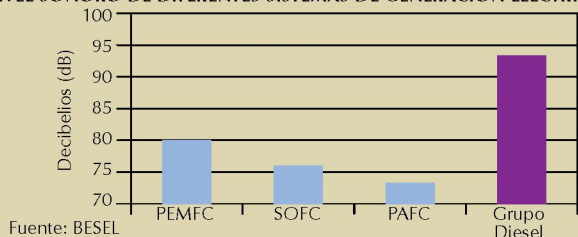
COMPARACIÓN DE ENERGÍA Y EMISIONES EN VEHÍCULOS UTILITARIOS LIGEROS (LDV)



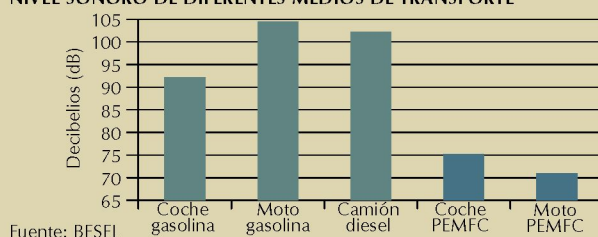
Contaminación acústica

Para analizar el impacto medioambiental de una tecnología, no sólo se deben considerar las emisiones que ésta pueda producir. Por ejemplo, la contaminación acústica es uno de los mayores problemas que afrontan las ciudades hoy en día. En este aspecto, las pilas de combustible tienen también un mejor comportamiento.

NIVEL SONORO DE DIFERENTES SISTEMAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA



NIVEL SONORO DE DIFERENTES MEDIOS DE TRANSPORTE



ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

LAS PILAS DE COMBUSTIBLE EN EL MUNDO

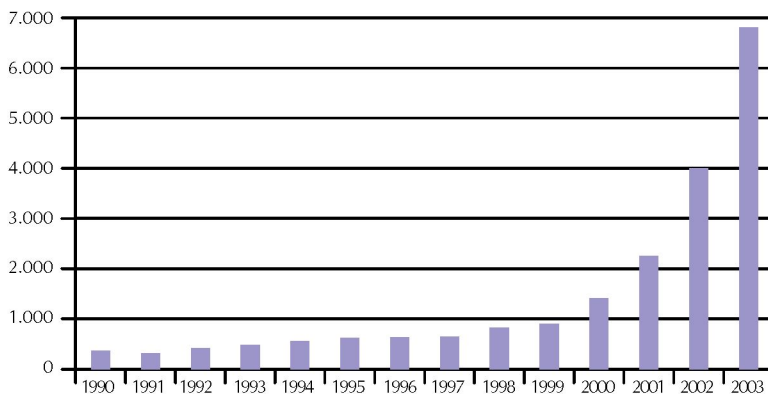
El principio de funcionamiento de las pilas de combustible fue descubierto en 1839 por Sir William Grove y posteriormente, en la década de los 60, la NASA aceleró su desarrollo para proporcionar energía eléctrica a las naves espaciales Apollo y Gemini. Sin embargo, el gran desarrollo de esta tecnología a escala mundial se ha producido en los últimos 5 años.

Actualmente, hay más de 6.800 pilas de combustible instaladas en el mundo, lo que supone un incremento del 300% en los últimos dos años. Dentro de las tecnologías utilizadas, el 72% de las pilas de combustible instaladas son de tipo PEM, lo que consolida esta tecnología como la más prometedora para un gran número de aplicaciones.

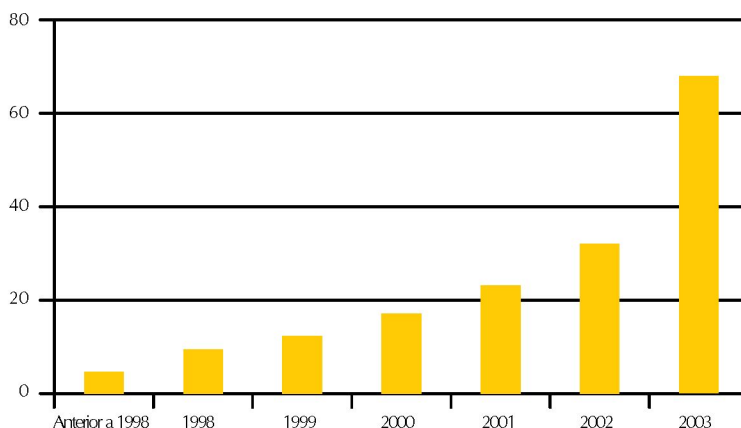
Para que los vehículos dotados con pila de combustible puedan incorporarse a la vida cotidiana, es imprescindible contar con una red de estaciones de servicio de hidrógeno (hidrogeneras). Las principales ciudades del mundo cuentan ya con algún prototipo de estación (entre ellas Madrid y Barcelona) y su número va incrementándose día a día. Sin embargo, se calcula que para que se pueda garantizar el funcionamiento de los vehículos de hidrógeno previstos por los principales fabricantes en la próxima década, al menos el 5% de las estaciones de servicio convencionales debería contar con algún dispensador de hidrógeno.



EVOLUCIÓN DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE INSTALADAS EN EL MUNDO



EVOLUCIÓN DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO DE HIDRÓGENO (HIDROGENERAS)



EL HIDRÓGENO Y LAS PILAS DE COMBUSTIBLE EN LA COMUNIDAD DE CASTILLA Y LEÓN

En Castilla y León se han venido desarrollando diversos proyectos relacionados con el hidrógeno y las pilas de combustible. El desarrollo de éstos proyectos ha tenido el apoyo del EREN. A continuación se presentan los proyectos más destacados que se han desarrollado en la Comunidad, así como algunos de los que se desarrollan actualmente.

AEROPILA: Sistema continuo de generación energética combinando energías renovables (eólica y fotovoltaica).

El objetivo de este proyecto era construir un sistema compacto de generación continua dónde se integran un aerogenerador, paneles solares fotovoltaicos y una Pila de Combustible. Los sistemas renovables proporcionan la energía demandada por la carga y los excedentes se utilizarán para electrolizar agua y almacenar hidrógeno. Cuando las energías renovables no estén disponibles, el sistema utilizará el hidrógeno almacenado en una Pila tipo PEM para suministrar la energía necesaria. La instalación se encuentra en el Parque Tecnológico de Boecillo - VALLADOLID en operación desde el año 2005. Liderado por BESEL, ha contado con la colaboración de CARTIF, CIEMAT, CARBUROS METÁLICOS y ENERMAN



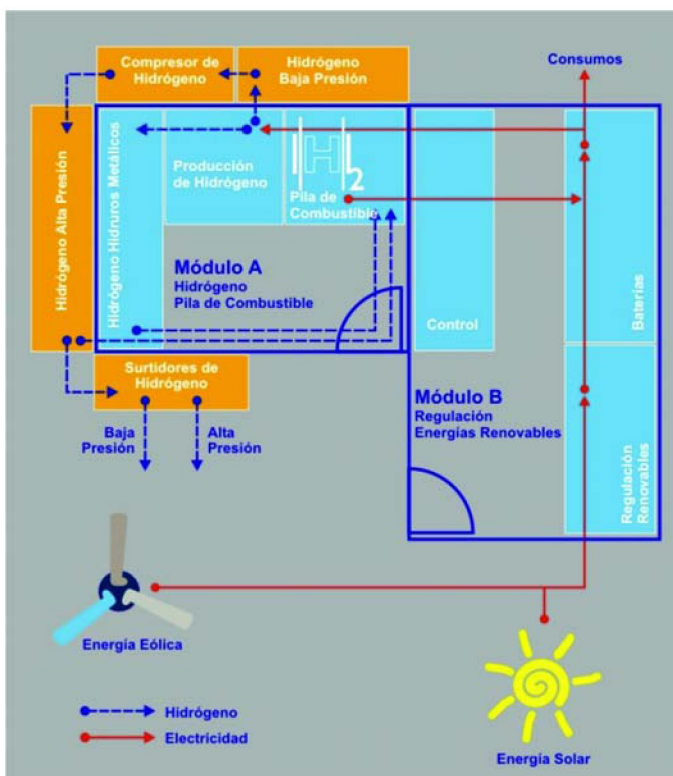
Instalación de Proyecto Aeropila.

HYCHAIN. A European pathway to deploy the hydrogen economy through early adaptors niche markets Fuel Cell applications in the transport sector. Implantación a pequeña escala de la Economía del Hidrógeno, creando las bases para demostración en masa.

En este proyecto participan 4 regiones europeas: Grenoble (Francia), Ruhr (Alemania), Lombardía (Italia) y Castilla y León (España)



Incorporación de flotas de vehículos con pila de combustible de baja potencia (hasta 10 kW), en nichos de mercado seleccionados dentro de cuatro regiones europeas (en Francia, España, Alemania e Italia). "Módulos de potencia" genéricos, basados en pilas de combustible de fabricación europea, Desarrollo de una micro-infraestructura que incluirá la logística del hidrógeno, mantenimiento, monitorización, formación, así como acciones horizontales como la normativa, el impacto ambiental, la seguridad, la contribución a las políticas europeas, etc.



Plano de la instalación del Proyecto Aeropila.

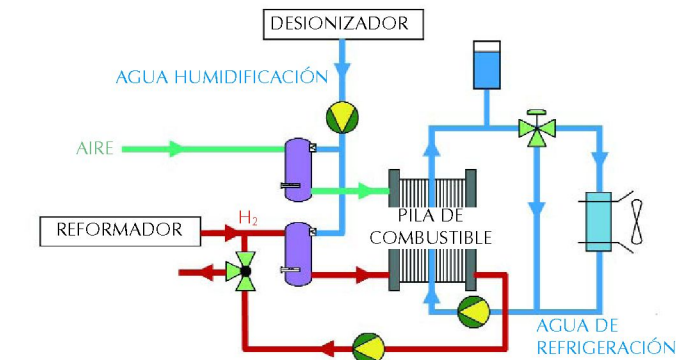
PILEREN: Demostración sobre la utilización de una pila de combustible en el sector residencial. Este proyecto se ha desarrollado en colaboración con el INTA y el EREN. Fue el primer proyecto en España para demostrar la viabilidad de las pilas de combustible poliméricas (PEMFC) como generadores de energía térmica y eléctrica en una vivienda tipo. Se diseñó un banco de ensayo para caracterizar pilas de combustible poliméricas en condiciones de corriente continua y alterna, un sistema de control y regulación y registro de la instalación completa. Se obtuvieron las curvas de funcionamiento de la pila de combustible y de la instalación completa utilizando un banco en el que estaban contenidas las cargas eléctricas que se pueden encontrar en una vivienda (electrodomésticos, televisión, cafetera,...). Las cargas se controlaban mediante un programa que las iba accionando automáticamente en función de la hora diaria para simular la demanda de una vivienda tipo real. La instalación estuvo funcionando bajo esta demanda durante 200 h.



Banco de ensayos

Banco de cargas eléctricas

COPICO-GAS: "Desarrollo de un sistema de cogeneración doméstica con tecnología de pila de combustible". Este proyecto ha sido desarrollado de forma conjunta entre CIDAUT y PYGSUR (Grupo BITREBOL) y ha sido subvencionado con ayudas del plan nacional PROFIT y ayudas ADE. Este proyecto ha consistido en la integración de un reformador para la producción de hidrógeno a partir de gas natural y de una pila de combustible polimérica para la producción de energía eléctrica y térmica. Ha sido un proyecto de demostración en donde la energía eléctrica ha sido volcada y consumida en una red local. El sistema de humidificación de la pila de combustible ha sido desarrollado en CIDAUT.



Esquema del subsistema de la pila de combustible

REFORDI: "Desarrollo y construcción de un reformador diesel". Este Proyecto, se ha desarrollado en colaboración con el INTA, el Instituto de Catálisis y Petroquímica del CSIC y el AICIA. El objetivo fundamental del proyecto es el diseño y construcción de un prototipo de reformador de 5 kW para obtener hidrógeno a partir de diesel. El CIDAUT ha participado en este Proyecto en el diseño, construcción e integración de la cámara de mezcla, reactores, intercambiadores de calor y del sistema de control.



Prototipo de reformador de diesel

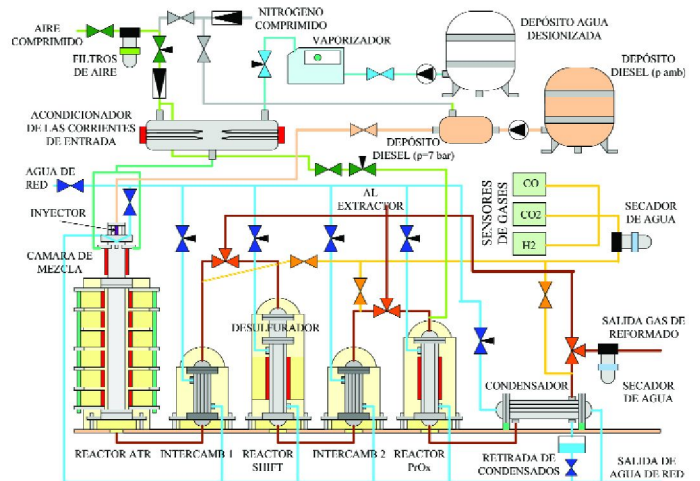


Diagrama simplificado del proceso de reformado de diesel

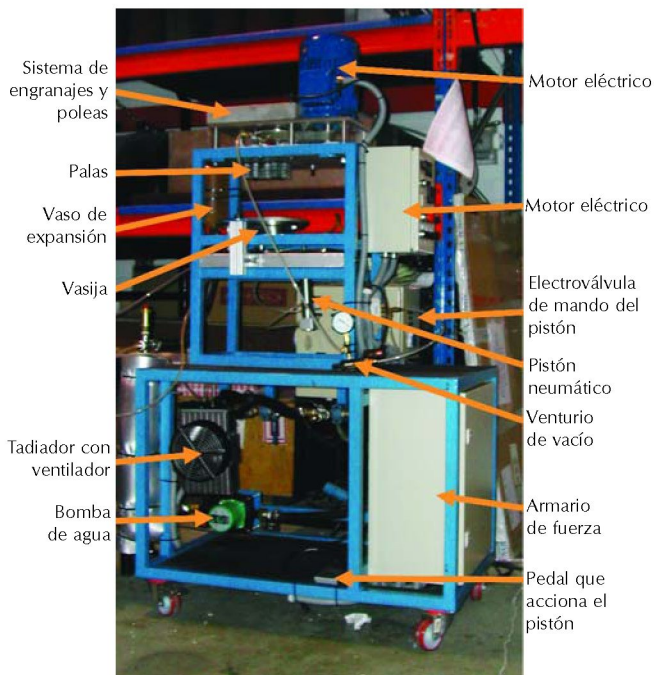


Sistema Integrado Reformador-Pila de combustible

Nuevos Diseños, Materiales y Tecnologías para Pilas de Combustible tipo PEM: El objetivo es investigar en nuevos diseños, materiales y tecnologías de conformado de componentes de pilas de combustible tipo PEM que contribuyan a hacer viable desde un punto de vista teórico y tecnológico este tipo de pilas de combustible. El trabajo realizado en este proyecto se concentra en el desarrollo de:

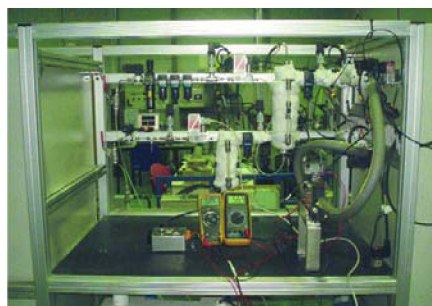
- Electrodo más baratos y eficientes en los que se reduzca la cantidad de platino a emplear.
- Composites basados en materiales carbonosos que abaraten los costes de desarrollo de las placas bipolares.

Se ha diseñado una mezcladora de termoestables

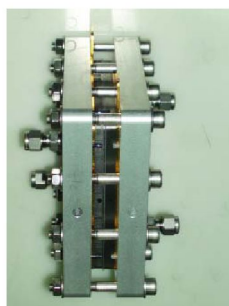


Mezcladora de termoestables para placas bipolares.

También se ha desarrollado una instalación de caracterización de pilas de combustible, con todos los elementos necesarios para llevar los gases de reacción a las condiciones de caudal, presión, humedad y temperatura requeridas por las monoceldas. El objetivo de esta instalación es la caracterización de pilas de combustible, de manera que se pueda validar las MEAs desarrolladas en CIDAUT comparándolas con las MEAs comerciales.



Banco de ensayos de mono-celda PEM

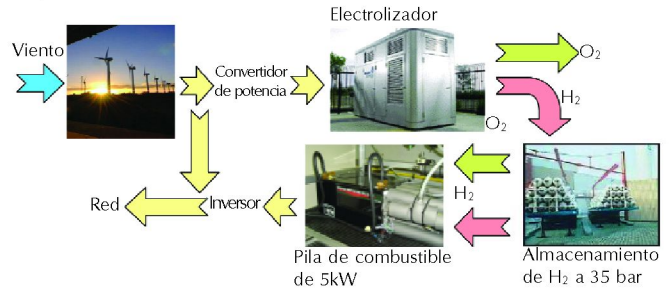


Mono celda PEM

AERO PILA (COLLOSA-CIDAUT) Desarrollo de un sistema piloto basado en tecnologías del hidrógeno que permita diferir en el tiempo la generación eléctrica eólica y su volcado a la red.

El objetivo del proyecto ha sido el desarrollo de conocimiento práctico que permita diferir en el tiempo la producción y el suministro de energía eléctrica de origen eólico mediante la utilización de un sistema de almacenamiento energético basado en hidrógeno.

ESQUEMA DEL SISTEMA DEL PROYECTO AERO PILA



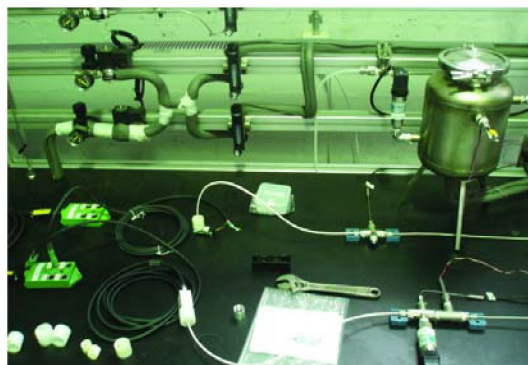
En Castilla y León se realiza parte del proyecto europeo STORHY (Hydrogen Storage Systems for Automotive Application) participan 31 entidades de diferentes países europeos. Este Proyecto está incluido dentro del Sexto Programa Marco. CIDAUT es el líder del WP4: "Crash Behaviour" y su principal tarea en el proyecto es la definición de los espacios de supervivencia en relación con el tipo de vehículo y el sistema de almacenamiento seleccionado.



Sistema de pila de combustible. Proyecto Aero Pila

Electrolizador Accagen. Proyecto Aero Pila

CIDAUT también participa en el WP2 del Subproyecto Safety Aspects and Requirements (SAR) cuyo objetivo es establecimiento de las bases para la definición de nuevos estándares en el programa de ensayos para el uso de sensores de hidrógeno en vehículos y estaciones de llenado. CIDAUT ha realizado la construcción de una instalación experimental para ensayar diversas condiciones ambientales y de funcionamiento de sensores de detección de hidrógeno en aire, tales como: tiempo de respuesta y recuperación, estabilidad a largo plazo, influencia de la temperatura, influencia de la humedad, influencia de la presión. En esta parte del proyecto también participa JRC.



Detalle del banco de ensayos de sensores de H₂. Proyecto STORHY



Banco de ensayos de sensores de H₂. Proyecto STORHY



Electrolizador Hart 250 de David Fuel Cells Components.

La empresa David Fuel Cell Components, ubicada en Segovia, ha orientado su actividad empresarial hacia la fabricación de reformadores, electrolizadores, catalizadores y nuevas membranas, desarrollo de materiales y ensamblaje de pilas de combustible. David FCC es la primera empresa española, que fabricará las MEA's para las pilas de combustible de polímeros (PEM). Este tipo de Pila de Combustible es la que cuenta con las mejores perspectivas de comercialización. Los planes de DAVIDFCC son, basándose en sus patentes, fabricar componentes de altas prestaciones técnicas y durabilidad comprobada a precios muy competitivos.

PERSPECTIVAS DE FUTURO

El uso de los combustibles fósiles revierte en un fuerte impacto medioambiental en nuestro planeta. La contaminación atmosférica, el cambio climático, la lluvia ácida o el propio agotamiento de los recursos petrolíferos son razones de peso para hacer que la política energética camine hacia nuevos campos poco explorados: hacer del hidrógeno el combustible del futuro.

Esta alternativa puede ser viable una vez superados algunos retos tecnológicos que se plantean, para los que se requerirá acelerar en el esfuerzo de investigación y desarrollo llevado a cabo en los últimos años.

Citas

"El hidrógeno y las pilas de combustible son potencialmente capaces de reducir la dependencia de la Unión Europea respecto al petróleo y de contribuir, al mismo tiempo, al desarrollo sostenible. Son fundamentales para conseguir el objetivo de la Unión consistente en sustituir, antes de 2020, el 20% de los combustibles de vehículos por combustibles alternativos tales como el hidrógeno."

D^a. Loyola Palacio: Comisaria de Transporte CE

"Las pilas de combustible son la opción más prometedora de futuro para el sector de la automoción. La carrera ha comenzado."

D. Juergen Hubbert. DaimlerChrysler

"Propongo que demos la oportunidad a la Economía del Hidrógeno y las pilas de combustible de la misma forma que nuestros antecesores apostaron por la industria del automóvil siglos atrás."

D. Abraham Spencer. Secretario de Estado de Energía de E.E.U.U

"Yo creo que el agua algún día será empleada como combustible y que el hidrógeno y el oxígeno que la constituyen, usados de forma individual o conjunta, originarán una fuente inagotable de luz y calor."

Julio Verne

Hidrogenera de EHEC de Air Liquide



GLOSARIO

Ánodo	Electrodo de la pila de combustible en el que tiene lugar la reacción de oxidación. Es el electrodo capaz de emitir electrones al circuito eléctrico.	Pila de combustible polimérica (PEMFC)	Tipo de pila de combustible que utiliza una membrana polimérica como electrolito. Funciona a bajas temperaturas, entre 25-90°C.
Catalizador	Sustancia química que acelera la velocidad de una reacción sin consumirse. En una pila de combustible se pone el catalizador en los electrodos (ánodo y cátodo) para acelerar las reacciones de oxidación del hidrógeno (en el ánodo) y de reducción de oxígeno (en el cátodo).	Pila de combustible de metanol directo (DMFC)	Tipo de pila de combustible que utiliza metanol (CH_3OH) como combustible, el cual se oxida directamente en el ánodo sin proceso previo de reformado para convertirlo en hidrógeno.
Cátodo	Electrodo de la pila de combustible en el que tiene lugar la reacción de reducción. Es el electrodo al que llegan electrones del circuito eléctrico.	Pila de combustible alcalina (AFC)	Tipo de pila de combustible que utiliza una solución alcalina, generalmente hidróxido potásico (KOH), como electrolito.
Cogeneración	Aprovechamiento simultáneo de la energía eléctrica y el calor que se generan en un proceso.	Pila de combustible de ácido fosfórico (PAFC)	Tipo de pila de combustible cuyo electrolito consiste en ácido fosfórico concentrado (H_3PO_4), a través del cual los protones migran desde el ánodo hacia el cátodo; opera a temperaturas comprendidas entre 160 y 220°C.
Contaminación acústica	Es la emisión de ruidos al entorno.	Pila de combustible de carbonatos fundidos (MCFC)	Tipo de pila de combustible que utiliza carbonatos alcalinos (Li_2CO_3 , Na_2CO_3 y/o K_2CO_3) fundidos como electrolito. Sus temperaturas de operación están típicamente en torno a los 650°C y pueden reformar internamente el combustible.
Economía del hidrógeno	Visión de futuro en la que el hidrógeno sustituye al petróleo y demás combustibles fósiles a nivel mundial.	Pila de combustible de óxido sólido (SOFC)	Tipo de pila de combustible que emplea un óxido sólido como electrolito. Funciona a altas temperaturas (800-1000°C) y pueden reformar internamente el combustible.
Electrodo	Componente de una pila de combustible donde tienen lugar las reacciones electroquímicas. Cada pila de combustible tiene dos tipos de electrodos, ánodo y cátodo.	Reformado	Proceso para producir una corriente gaseosa rica en hidrógeno a partir de un combustible (gas natural, gasolina, biogás, bioetanol, etc.). Esta corriente es utilizada como combustible en una pila de combustible. Puede tener lugar en la misma celda (reformado interno) o en un sistema externo (reformador).
Electrolisis	Proceso que utiliza la electricidad para llevar a cabo una reacción química. Especial interés tiene la electrolisis del agua para producir hidrógeno.	"Stack"	Apilamiento o conjunto de celdas conectadas en serie.
Monocelda	Unidad estructural de una pila de combustible, formada por un ánodo y un cátodo separados por un electrolito. La pila de combustible se construye mediante apilamiento en serie de varias monoceldas, de forma que el voltaje total es la suma de los voltajes individuales.	Vector energético	Se aplica a un medio material o compuesto químico que es capaz de almacenar y transportar fácilmente la energía. Por ejemplo, el hidrógeno.
Pila de combustible (FC)	Dispositivo electroquímico que convierte directamente la energía química de un combustible en energía eléctrica mientras que se suministre combustible (hidrógeno o compuestos ricos en hidrógeno, como alcoholes o hidrocarburos) y oxidante (oxígeno o aire) a sus electrodos.		

LOS NOMBRES DE LA HISTORIA DESTACADOS INVESTIGADORES DE NUESTRO TIEMPO

Sir William Robert Grove (1811-1896)

Abogado y científico inglés, fue el precursor y padre de las pilas de combustible. Grove sumergió dos electrodos de platino, a los que se les había adherido un depósito sellado de oxígeno e hidrógeno respectivamente, en una disolución de ácido sulfúrico, observando como se producía una corriente eléctrica continua a la vez que disminuían los niveles de oxígeno e hidrógeno. A su descubrimiento le denominó "Pila de Gas".

Friedrich Wilhelm Ostwald (1853-1932)

Químico y físico alemán, definió, a partir de sus estudios y experimentos, la relación existente entre electrodos, electrolito, agentes reductor y oxidante, aniones y cationes dentro del funcionamiento de una pila de combustible.

Emil Baur (1873-1944)

Científico suizo precursor de las Pilas de Combustible de Óxidos Sólidos, lideró un grupo de trabajo que desarrolló numerosos proyectos de investigación sobre diferentes tipos de pilas, especialmente las de alta temperatura.

Francis Thomas Bacon (1904-1992)

Científico británico inventor de las Pilas de Combustible Alcalinas, construyó en 1959 una pila de 5.000 W que alimentaba a una máquina de soldadura.

Willard Thomas Grubb

Científico americano que trabajaba para la empresa General Electric, desarrolló la primera Pila de Combustible de Intercambio Protónico (PEM), además de ser el encargado de diseñar para la NASA una pila alcalina para su uso en el espacio.

Leonard Niedrach

Científico de General Electric que mejoró la Pila de Grubb añadiendo deposiciones de platino en los electrodos, dando lugar a la Pila Alcalina Grubb-Niedrach. Esta pila formó parte del proyecto espacial Géminis, convirtiéndose en la primera aplicación comercial de las pilas de combustible.

Harry Karl Ihrig

Científico alemán creador del primer vehículo propulsado por pila de combustible, un tractor de 20 CV de potencia que incorporaba una pila de 15 KW.

Karl Kordesch

Científico austriaco afincado en EEUU, construyó el primer coche que funcionaba con una pila alcalina, que usó durante tres años. La mayor parte de las pilas alcalinas se basan en sus patentes.

ENLACES DE INTERÉS

APPICE Asociación Española de Pilas de Combustible
<http://www.appice.es>

Hychain - Hydrogen challenge
<http://www.hychain.org>

Asociación Española del Hidrógeno
<http://www.aeh2.org>

Fuel cell today
<http://www.fuelcelltoday.com>

Plataforma europea H₂
<http://www.hfpeurope.org>

Plataforma española H₂
<http://www.ptehpc.org>

Foro del Hidrógeno y las Pilas de Combustible
<http://www.hforo.org>

Pilas de combustible
<http://www.pilasde.com>

The European Thematic Network on Hydrogen
<http://www.hynet.info>

Hy-net: European hydrogen and fuel cell technology platform
<http://forum.europa.eu.int/Public/irc/rtd/eurhydrofuelcellplat/home>

Cordis: Sustainable development, global change and ecosystems
<http://www.cordis.lu/sustdev>

Fuel Cell Today
<http://www.fuelcelltoday.com>

The Online Fuel Cell Information Resource
<http://www.fuelcells.org>

Hydrogen Safety Report
<http://www.hydrogensafety.info>

Asociación Europea del Hidrógeno
<http://www.h2euro.org>

The National Hydrogen Institute of Australia
<http://www.hydrogen.asn.au/>

California Fuel Cell Partnership - Driving for the future
<http://www.fuelcellpartnership.org>

Partnership for Advancing The Transition to Hydrogen
<http://www.hpath.org>

National Hydrogen Association
<http://www.hydrogenus.com>

CIEMAT - Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
<http://www.ciemat.es>

Fundación para el desarrollo de las nuevas tecnologías del hidrógeno en Aragón
<http://www.hidrogenoaragon.org>

IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
<http://www.idae.es>

CSIC - Consejo Superior de Investigaciones Científicas
<http://www.csic.es>

CENER - Centro Nacional de Energías Renovables
<http://www.cener.com>

Club Español de la Energía
<http://www.enerclub.es>

International Energy Agency
<http://www.iea.org>

Segundo Encuentro Europeo del Hidrógeno
<http://ehc.info/>

Arno A.Evers Fair-PR
<http://www.fair-pr.com/>

Proyecto europeo Hyways
<http://www.hyways.de>

Red Hy-co
<http://www.hy-co-era.net>

