

Combustibles y vehículos alternativos

Combustibles y nuevas tecnologías de vehículos que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes



Este manual ha sido realizado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), para el proyecto TREATISE de la Comisión Europea, como adaptación del manual “Cleaner fuels & vehicles: A summary of road transport fuels and technologies from an environmental perspective” de *Energy Saving Trust*.

Octubre de 2005.



Agradecimiento a la Empresa Municipal de Transportes de Madrid (EMT) por la cesión de fotografías.

La responsabilidad del contenido de esta publicación recae exclusivamente sobre los autores. Éste no representa la opinión de la Comunidad. La Comisión Europea no se hace responsable del uso que pudiera hacerse de la información reflejada en este documento.

Producido en colaboración con los proyectos Comunitarios e-Atomium y Competence.



Presentación

El transporte por carretera

El Transporte por Carretera es un factor clave para el desarrollo social y económico y la cohesión de los distintos territorios. Sin embargo, tiene como contrapartida un elevado consumo energético y altos niveles de emisión de gases de efecto invernadero, además de producir congestión en las redes viarias y una elevada siniestralidad.

Los viajeros pueden aprovechar las ventajas que ofrece el transporte por carretera y reducir sustancialmente sus impactos negativos, ya sea siguiendo unos sencillos consejos referentes a la elección de vehículos más limpios, conduciendo de una manera más eficiente o usando alternativas al vehículo turismo de baja ocupación. En la mayoría de los casos, estas actuaciones conllevarán además un ahorro económico y una mejora del medio ambiente.

En España, estas actuaciones se contemplan en el Plan de Acción 2005-2007 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética, a través de distintas medidas encaminadas al logro de un transporte más eficiente y sostenible.

El Proyecto Treatise

El proyecto "TREATISE" se enmarca en el programa de Energía Inteligente para Europa (EIE) -subprograma STEER- de la Unión Europea, y tiene vigencia desde enero de 2005 hasta junio de 2007, proporcionando formación gratuita en materia de transporte sostenible a agencias de energía y otros agentes locales.

En el proyecto Treatise participan 7 países de la UE, a través de sus respectivas agencias nacionales de energía, que se citan a continuación:

EST (Energy Saving Trust), del Reino Unido;

SENER NOVEM, de Holanda;

VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek), de Bélgica;

CRES (Centre for Renewables Energy Sources), de Grecia;

MOTIVA (Motiva Oy), de Finlandia;

EVA (Energieverwertungsagentur), de Austria;

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), de España.

El proyecto cubre tres áreas específicas de formación:

- Vehículos y combustibles más limpios: compendio de las principales tecnologías de los vehículos y de los combustibles empleados, incluyendo ventajas, desventajas, disponibilidad y coste.
- Conducción eficiente: Técnicas de conducción -y los fundamentos técnicos- que dan lugar a una conducción más eficiente, sostenible y segura.
- Gestión de la movilidad: consejos prácticos acerca de cómo reducir la dependencia del vehículo turismo de baja ocupación.

Publicaciones Treatise

Esta publicación forma parte de una serie de tres manuales de referencia, producidos en el marco del proyecto Treatise, para tratar cada una de las tres áreas de formación mencionadas. Los manuales, así como un simulador de conducción eficiente y otras ayudas a la formación pueden ser descargados sin cargo alguno desde www.treatise.eu.com

Índice

● Gasolina y diésel	7
● Híbridos	12
● Gas licuado del petróleo (GLP)	16
● Gas natural	19
● Biocarburantes	23
● Biodiésel	24
● Bioetanol	26
● Biogás	29
● Vehículos de batería eléctrica	31
● Hidrógeno	34
● Vehículos con pila de combustible de H ₂	34
● Motores de combustión interna de H ₂	37

Gasolina y diésel

Introducción

En los últimos años los vehículos de gasolina y diésel han pasado a ser mucho más limpios en lo que a emisiones que afectan a la calidad del aire se refiere; es decir, contaminantes que repercuten sobre la salud humana. También ha habido mejoras, aunque menos significativas, en el consumo de combustible y, por consiguiente, en las emisiones de CO₂ de los vehículos de combustibles convencionales. Cada litro de gasolina consumido en un coche emite por el tubo de escape aproximadamente 2,3 kg de CO₂ y cada litro de gasóleo 2,6 kg (cerca de un 13% más).

Gran parte de los avances que se tratan en esta sección, como la reducción del tamaño, los catalizadores o los efectos de los equipos eléctricos y del aire acondicionado, son también de aplicación a los vehículos de combustibles alternativos y a los de tecnología híbrida.

Disminución y reducción del peso de los vehículos

Existen preferencias culturales arraigadas en las sociedades que asocian los coches con símbolos de estatus, reflejo de la personalidad, etc. y que llevan a que muchas personas sigan escogiendo coches mucho más grandes y con mucha más potencia de la necesaria y por tanto, también con mayor consumo. Resulta, por consiguiente, muy importante el animar a los compradores a que escojan coches más pequeños y de menor potencia.

Algunos fabricantes emplean materiales como el aluminio y aleaciones ligeras de éste para reducir el peso de los vehículos, pero en la mayoría de los casos, el ahorro de peso que se consigue con materiales más ligeros se ha compensado con creces con equipamientos adicionales, fundamentalmente de seguridad, como air-bags, barras laterales de seguridad y otros.

Los equipos eléctricos adicionales incrementan el consumo de combustible, ya que el alternador que recarga la batería del vehículo recibe la energía mecánica directamente del motor del coche. El aire acondicionado también supone un incremento en el consumo de carburante debido a la demanda suplementaria tanto mecánica como eléctrica. Una investigación publicada por ADEME en 2003 indica que el uso del aire acondicionado a máxima potencia supone alrededor del 25% del consumo de combustible del coche, y que este uso a lo largo de un año puede incrementar el consumo anual en un 5%.

Aunque en el campo de los vehículos industriales la reducción del consumo de combustible ha sido siempre una prioridad, puede esperarse también avances en este aspecto derivados de mejoras tecnológicas.

Las emisiones que afectan a la salud humana se han reducido mucho en los últimos años, pero las reducciones de CO₂ no han sido notables

El empleo de materiales ligeros en la construcción de los vehículos se ha compensado con el peso añadido de los equipamientos adicionales

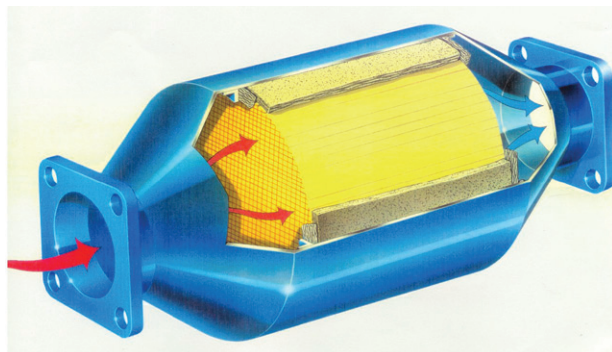
Gasolina y diésel

Tecnologías de automoción para reducir las emisiones y mantener la calidad del aire

Uno de los mayores avances en la reducción de emisiones de los vehículos ha sido la introducción de los catalizadores, cuya obligatoriedad entró en vigor en 1992 para los motores de gasolina.

Los catalizadores consiguen disminuir las emisiones de gases contaminantes

Los **catalizadores** van instalados entre el motor y el tubo de escape. Son estructuras cerámicas en forma de colmena con una capa de metales nobles, normalmente platino, rodio y/o paladio. Con este diseño en forma de colmena se consigue una relación muy alta entre la superficie y el volumen del catalizador, favoreciendo la reacción de los gases de escape del motor.



Catalizador

Los motores de gasolina (encendido por bujías) disponen de "catalizadores de tres vías", y se llaman así porque reducen las emisiones de tres contaminantes: CO, hidrocarburos y NO_x. Un catalizador de 3 vías consta en realidad de 2 partes diferenciadas: un catalizador de reducción que reduce el NO nocivo en N₂ y O₂ [$2\text{NO} > \text{N}_2 + \text{O}_2$] y un catalizador de oxidación que logra oxidar el CO y los hidrocarburos perjudiciales, transformándolos en CO₂¹ y H₂O.

Para que el catalizador de reducción funcione es necesario que el dosado (relación entre las masas de combustible y comburente (aire) que se introduce en los cilindros) sea muy próximo al estequiométrico, que es cuando esta relación es la justa para conseguir una combustión completa sin exceso de aire o de combustible. Para asegurarse de que se den estas condiciones de funcionamiento, se coloca un sensor de oxígeno antes del catalizador, conectado con una unidad de control electrónico que regula la cantidad de combustible a introducir en los cilindros en función de la información que le llega de éste sobre la cantidad de oxígeno en los gases de escape a la salida del motor.

Los motores diésel, en cambio, están diseñados para trabajar con exceso de aire; es decir, con un dosado inferior al estequiométrico, lo que imposibilita el funcionamiento de los catalizadores de reducción y por tanto estos motores sólo llevan catalizadores de oxidación. Por esta razón, estos motores tienen normalmente emisiones con mayores concentraciones de NO_x que los motores de gasolina.

La **recirculación de los gases de escape (EGR)** es una técnica con la que se consigue reducir las emisiones de NO_x del vehículo. Para entender su funcionamiento, es importante señalar que

La recirculación de los gases de escape (EGR) reduce las emisiones de NO_x al reducir la temperatura de llama

¹ Indudablemente el CO₂ contribuye al calentamiento global del planeta, pero las cantidades producidas por la oxidación del CO se consideran por lo general insignificantes.

Gasolina y diésel

el NO_x se forma cuando las altísimas temperaturas de la llama en la cámara del motor hacen que el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera se combinen, y recordar también que a mayor temperatura, más NO_x se forma.

En los motores con EGR se desvía parte de los gases de escape a la admisión del motor y puesto que estos gases tienen un contenido en oxígeno inferior al aire y contienen CO₂, H₂O y nitrógeno, se consigue reducir las temperaturas máximas de los gases en la combustión en los cilindros del motor al disponer de menos oxígeno. Esta reducción de la temperatura máxima hace, por tanto, que disminuya la formación de NO_x.

La EGR empezó a utilizarse en coches de gasolina de los EE.UU. en los años 70, antes de que la instalación de los catalizadores de tres vías la hicieran prescindible (ya que los catalizadores de 3 vías son muy efectivos para el NO_x - véase texto anterior). En Europa, la EGR se ha instalado en casi todos los coches y furgonetas diésel vendidos desde que el límite Euro II entrara en vigor en 1996 y en algunos de gasolina de elevadas prestaciones.

La EGR incrementa ligeramente el consumo de combustible, por lo que los fabricantes son reacios a instalar estos sistemas en vehículos industriales. Sin embargo, algunos de estos vehículos llevarán sistemas de EGR para poder cumplir la norma Euro IV.

La **reducción catalítica selectiva (SCR)** es una tecnología más eficiente incluso, en la reducción de emisiones de NO_x de los motores de gasóleo que la EGR. La SCR es un catalizador avanzado que elimina a posteriori el NO_x de los gases de escape, a diferencia de la EGR, que reduce la formación de NO_x. En este sistema se inyecta urea en los gases de escape aguas arriba del catalizador SCR, formándose amoníaco (NH₃), el cual reacciona con el NO y el NO₂ para dar N₂ y H₂O [4NO + 4NH₃ + O₂ ⇒ 4N₂ + 6H₂O].

La SCR es ya una tecnología comercial en grandes motores diésel estacionarios (donde las limitaciones de tamaño y peso son menos importantes) y se ha instalado en algunos vehículos industriales. La SCR tendrá un uso generalizado a partir de 2006 para cumplir con las rigurosas exigencias sobre los límites de NO_x en vehículos industriales diésel, establecidas en Euro IV y V.

Los **filtros diésel de partículas (DPFs)** eliminan las partículas de los gases de escape mediante un sistema de filtrado. Llegan a capturar el 90% de las partículas en forma de hollín que posteriormente eliminan mediante regeneración térmica para evitar que el filtro se sature y deje de funcionar.

Las temperaturas de los gases de escape de los motores diésel no son lo suficientemente altas para quemar el hollín, pero los DPFs solucionan este problema de dos maneras. Los **DPF "pasivos"** utilizan los catalizadores de oxidación para reducir la temperatura a la que se oxida el hollín, mientras que los **DPF "activos"** incrementan periódicamente la

La EGR se ha generalizado en coches y furgonetas diésel en Europa desde 1996

La EGR incrementa ligeramente el consumo de combustible

La SCR pasará a ser habitual en los vehículos industriales a partir de 2006

Los DPFs son muy efectivos a la hora de eliminar las partículas en forma de hollín

Gasolina y diésel

La eficiencia de los motores se ha incrementado notablemente en los últimos años. Los motores diésel se han visto especialmente beneficiados

Los avances incluyen sobrealimentación, inyección directa e inyección de combustible common rail

temperatura de los gases hasta alcanzar un valor suficiente para quemar las partículas retenidas en los filtros. Los métodos más usuales para subir la temperatura en un sistema activo son, o bien quemar más gasóleo, o utilizar un sistema de calentamiento eléctrico.

Los DPFs, por ahora, sólo lo llevan algunos vehículos nuevos, pero cada vez se están extendiendo más, aunque algunos fabricantes prefieren otras soluciones anticontaminación, porque los DPFs no solucionan el problema de la partículas pequeñas, que son las más dañinas para la salud.

La instalación de los DPFs a los vehículos ya existentes es muy complicada y no es una práctica habitual.

Incremento de la eficiencia del motor

Los vehículos de combustibles convencionales (gasolina y gasóleo) también se han beneficiado del **incremento de la eficiencia de los motores** en los últimos años. Estos beneficios se han centrado especialmente en los motores diésel, y esto, junto con el menor precio del gasóleo frente a las gasolinas, ha contribuido a la creciente popularidad de los coches con motor diésel en la mayor parte de Europa en los últimos diez años.

Desde principios de los 90, casi todos los motores diésel son sobrealimentados, lo que aumenta su eficiencia y su potencia.

La **inyección directa (DI)**, presente en todos los motores de camiones, se ha popularizado en los vehículos turismo diésel desde los últimos años de la década pasada. Con la DI, el combustible se inyecta directamente en la cámara de combustión, en vez de en una pre-cámara. Los motores de inyección directa son más eficientes que los de inyección indirecta y por lo tanto, consumen menos combustible y reducen las emisiones de CO₂, pero emiten más partículas y son normalmente más ruidosos. También existen algunos motores de gasolina de inyección directa, aunque su número sigue siendo relativamente escaso.

En la inyección directa **common rail** existe un conducto de alimentación de combustible a muy alta presión común para todos los cilindros y en la inyección directa con **inyector unitario**, la alta presión se genera en cada inyector en el instante de la inyección del combustible. En ambos casos, la alta presión de inyección del combustible en la cámara de combustión facilita mejor su atomización consiguiendo una combustión más eficiente y reduciendo las emisiones de partículas. Además, los solenoides de cada uno de los cilindros controlan con mucha precisión la cantidad y el momento justo de la inyección de combustible, lo que se suma a la eficiencia general del motor.

Combustibles con niveles bajos de azufre

Los **combustibles con niveles bajos de azufre** son aquellos con un máximo de 50 ppm (partes por millón en masa) de azufre. Su utilización reduce las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y también, aunque en menor porcentaje, las emisiones de partículas en el caso de los motores diésel.

Gasolina y diésel

Además, dado que el azufre en los combustibles reduce la efectividad de los catalizadores de tres vías, de los catalizadores de NO_x y de las SCR, el uso de estos combustibles de bajo contenido en azufre también permite utilizar motores con nuevas tecnologías para reducir las emisiones de CO, de hidrocarburos y de NO_x.

En los últimos 6 ó 7 años, el **contenido de azufre** de la gasolina y del gasóleo de automoción en la UE se ha reducido desde unas 500 ppm (partes por millón), a un valor máximo de 50 ppm. La legislación europea reducirá el nivel máximo legal a 10 ppm para antes del año 2009. Los combustibles con ≤10 ppm se les denomina usualmente como "combustibles sin azufre". En la actualidad, estos combustibles sin azufre empiezan a comercializarse en las estaciones de servicio.

Esta reducción del contenido de azufre de los combustibles ha supuesto grandes beneficios para la calidad del aire, aunque el proceso de eliminación del azufre utilice energía y ello se suma en cierto modo a las emisiones de CO₂ generadas en el proceso de fabricación de los combustibles.

Prestaciones desde el punto de vista ambiental

Los vehículos actuales de gasolina son mucho más limpios medioambientalmente que sus antecesores de hace tan sólo unos años.

Los vehículos diésel también son ahora mucho más limpios que lo eran en el pasado, aunque la mayoría de ellos siguen emitiendo niveles de NO_x y de partículas más altos que los de gasolina. Los motores diésel, sin embargo, emiten algo menos de CO₂ que los de gasolina para la misma potencia, con lo cual, en muchos casos, un diésel con sistemas adecuados para reducir las emisiones de partículas y de NO_x se perfila como una buena solución desde un punto de vista medioambiental. La evolución prevista de los motores de gasolina para reducir su consumo en los próximos años igualará estas tendencias.

Tanto los motores de gasolina como los diésel son adecuados para su empleo en sistemas híbridos (véase la sección siguiente de esta publicación), incrementándose notablemente la eficiencia global del sistema de propulsión y consiguientemente, reduciéndose las emisiones de CO₂.

Los motores de gasolina y diésel también pueden funcionar con biocombustibles (véase la sección de biocombustibles de esta publicación), y ofrecen la posibilidad de reducir más las emisiones netas de CO₂.

La legislación comunitaria exige en la actualidad que toda la gasolina y el gasóleo que se comercialice en la UE tengan bajo contenido en azufre (≤ 50 ppm)

Los diésel siguen produciendo un considerable número de partículas y de NO_x, a menos que cuenten con tratamiento posterior incorporado

Tanto los motores de gasolina como los diésel son adecuados para sistemas híbridos

Híbridos

Los híbridos tienen motores térmicos y motores eléctricos, y son más limpios que los vehículos convencionales

Introducción

Un vehículo híbrido tiene tanto un motor de combustión interna como un motor eléctrico. Los vehículos con sistema de propulsión híbrido son más limpios y eficientes que los convencionales y sus costes de funcionamiento son inferiores, aunque su adquisición sea más cara. La idea es “gestionar” las energías mecánicas y eléctricas en el sistema de propulsión de forma adecuada, conjugando un motor térmico, un motor eléctrico, un generador eléctrico y un sistema de acumulación de electricidad (baterías). Para propulsar las ruedas se emplean el motor térmico y el eléctrico, bien simultáneamente o bien cada uno por su parte según las necesidades. El motor térmico se detiene en las paradas del vehículo, el motor eléctrico ayuda al térmico en los arranques y aceleraciones y el generador recarga baterías en las frenadas y retenciones. La mayor ventaja de los híbridos está en condiciones de uso en las que hay importantes variaciones de velocidad, como es la ciudad o la utilización fuera de carretera.

La conducción de los coches híbridos no es más difícil que la de los convencionales: se conectan automáticamente a los distintos modos, nunca tienen que enchufarse a la red y tienen transmisión automática.



Toyota Prius: primer coche híbrido producido en serie

Desde principios del siglo XX se plantearon los

sistemas de propulsión híbridos eléctricos – térmicos para incrementar la potencia, pero hubo que esperar hasta el año 1997 para que Toyota introdujera la primera producción en serie de vehículos híbridos, con su modelo *Prius* en el mercado japonés, a la que luego siguió la del Honda *Insight* en 1999. Todos los fabricantes han desarrollado sus modelos híbridos y disponen de modelos capaces de introducirse en el mercado cuando éste lo demande. En muchos países hay subvenciones y ayudas para este tipo de vehículos, lo que ha contribuido a su popularidad y ha originado largas listas de espera para adquirir varios de estos modelos tanto en EE.UU. como en Europa.

Hoy en día, los coches híbridos disponibles funcionan con motores de gasolina y eléctricos, porque se han desarrollado inicialmente para los mercados japoneses y americanos, además de que los motores diésel son más caros y supondrían un recargo en el precio de los híbridos. Es muy probable que a partir de principios de 2006 empiecen a comercializarse los primeros turismos híbridos diésel-eléctricos, ligeramente más eficientes.

Previsiblemente en breve plazo comenzarán a comercializarse los primeros turismos híbridos diésel-eléctricos

Híbridos

Tecnologías híbridas

Los sistemas híbridos, que varían mucho en coste, complejidad y eficiencia, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Híbridos stop-start: Tienen un motor eléctrico que sirve para arrancar el motor de combustión cuando éste está parado, de forma tal que el motor de combustión se apaga de forma automática cuando el vehículo se detiene (ej.: en un semáforo) y vuelve a encenderse cuando el conductor pisa el acelerador gracias a este motor eléctrico. Generalmente, no se consideran verdaderos vehículos híbridos dado que sus motores eléctricos no propulsan el vehículo. Esta tecnología proporciona un ahorro de combustible en torno al 10% en tráfico urbano, y cuenta con la ventaja de ser relativamente económica.

Híbridos ligeros: el motor eléctrico tiene la función de proporcionar potencia extra a la del motor de combustión en determinadas condiciones (aceleraciones, subidas, etc.), siendo el motor térmico la fuente principal de energía. El motor eléctrico, por tanto, no puede propulsar el vehículo por sí sólo. Tienen la función "stop-start" y la función de freno regenerativo que transforma la energía de la frenada en energía eléctrica, que sirve para recargar las baterías. Un ejemplo de este tipo de tecnología es la IMA (Integrated Motor Assist) de Honda, que utiliza en varios modelos, como el *Civic*, *Insight* y *Accord*.

Híbridos puros: Estos vehículos están dotados de un sistema de control capaz de seleccionar en cada momento la fuente de energía más eficiente, eligiendo entre el motor eléctrico, el motor térmico o una combinación de ambos. De esta forma, se logra que el motor de combustión funcione el mayor tiempo posible en su régimen de máximo rendimiento. Así, por ejemplo, durante los arranques, el motor de combustión está parado y funciona únicamente el motor eléctrico con la energía almacenada en las baterías, aprovechando el alto par que proporciona este motor en estas condiciones. Este sistema también aprovecha las frenadas para recargar las baterías. Un ejemplo de este tipo de tecnología es el "Hybrid Synergy Drive" de Toyota, que emplea en el modelo *Prius*.

También, la casa Lexus en su modelo de tracción a las cuatro ruedas *RX400h*, emplea un sistema híbrido parecido, pero con dos motores eléctricos, uno para las ruedas delanteras y otro para las traseras.

Aunque ninguno de los híbridos disponibles en la actualidad puede recargar sus baterías externamente, puede que dentro de algunos años sí existan **híbridos plug-in** que lo permitan. Para ello, deberán disponer de baterías más grandes que las de los híbridos actuales, lo que les proporcionará una autonomía eléctrica mucho mayor.

Los motores híbridos "stop-start" se apagan automáticamente cuando el coche está parado

Los motores eléctricos de los "híbridos ligeros" proporcionan potencia extra al motor térmico. También cuentan con el "frenado regenerativo"

Los "híbridos puros" pueden propulsarse con su motor térmico, su motor eléctrico o simultáneamente con ambos

Híbridos

Los híbridos puros y los ligeros consiguen ahorros significativos de combustible y evitar cantidades importantes de emisiones de CO₂

Los vehículos híbridos emiten menos CO₂ que sus equivalentes convencionales

Las ventas de los vehículos híbridos siguen siendo escasas en comparación con los vehículos convencionales por su elevado coste, aunque actualmente están limitadas más por el suministro que por la demanda

Comercialización de híbridos

La comercialización de vehículos híbridos está muy ligada a la demanda del mercado y a los precios de venta admisibles. Actualmente existen cuatro tendencias de mercado de vehículos con sistemas de propulsión híbrida más o menos pura: vehículos pequeños de uso urbano y poca potencia como el Honda *Insight* o el Smart; berlinas de tamaño medio y uso mixto urbano y extraurbano como el Toyota *Prius* y el Honda *Civic*; grandes vehículos todo-terreno (SUV: Sport Utility Vehicle) o Pick-ups, donde la propulsión híbrida permite incrementos de potencia manteniendo en lo posible sus consumos; y vehículos deportivos en los que se trata también de incrementar la potencia sin penalizar demasiado el consumo.

Prestaciones desde el punto de vista ambiental

Los vehículos híbridos pequeños como el Honda *Insight* tienen emisiones de CO₂ de 80 g/km, menores que cualquier coche con motor de combustión interna alternativo disponible en el mercado, y el Toyota *Prius*, con 104 g/km, es el de menor emisión de todos los turismos berlinas de cinco plazas fabricados en serie. La introducción en el mercado de este tipo de vehículos ayudará a cumplir el acuerdo europeo de 140 g/km de media de los vehículos vendidos en el año 2008. Con lo cual, es fácil ver porqué los híbridos han generado tanta expectación en los ámbitos ecologistas y en el mundo del motor en los últimos 8 años. En cuanto a las otras emisiones reguladas (CO, HC, NO_x y partículas), los vehículos híbridos son muy atractivos para su empleo en el espacio urbano por la reducción potencial de contaminación urbana si se extiende su uso en este ámbito.

Economía

Los vehículos híbridos tienen en el mercado precios superiores a sus equivalentes no-híbridos, pero conllevan un importante ahorro de combustible. En la mayoría de los países de la UE, al igual que en muchos estados y ciudades de los EE.UU. estos vehículos cuentan con ayudas para su compra y/o reducción de impuestos respecto a sus homólogos con sistema de propulsión convencional y similares prestaciones.

Actualmente, los costes de producción de estos vehículos son bastante altos, sobre todo por el coste de las baterías y los motores eléctricos, aunque se espera que bajen a medida que los niveles de venta y fabricación de estos vehículos aumenten.

Penetración del mercado

Las ventas de los vehículos híbridos siguen siendo escasas en comparación con los vehículos convencionales por su elevado coste, aunque actualmente están limitadas más por el suministro que por la demanda. Con lo cual, hay listas de espera para la mayoría de los modelos de EE.UU. y de los mercados europeos. A corto y medio plazo se espera que estas tecnologías vayan ganando cada vez más cuota de mercado, con lo que los precios de venta previsiblemente se reducirán.

Híbridos

Situación en España

El número de vehículos híbridos comercializados en España durante el año 2005 alcanzó el millar, correspondientes a fabricantes japoneses.

La Junta de Castilla y León, a través del Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN), subvenciona la diferencia en el precio de compra de automóviles, furgonetas y motocicletas de propulsión híbrida por empresas, particulares, asociaciones sin ánimo de lucro y entidades locales de Castilla y León con un importe máximo para el año 2005 de 4.800 € por cada automóvil o furgoneta y de 1050 para motocicletas.

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) proporciona también ayudas dentro de su línea de financiación ICO-IDAE para el año 2005 a la adquisición de vehículos limpios o alternativos, incluidos los híbridos, para uso en flotas de administraciones públicas o para servicio público.

Gas Licuado del Petróleo (GLP)

El GLP es una mezcla de propano y butano

Los vehículos a GLP son similares a los de gasolina, pero tienen sistemas de almacenamiento y alimentación de combustible diferentes

La mayoría de los vehículos a GLP en Europa son modelos bicomcombustible y por tanto, tienen depósitos de gasolina y de GLP

La potencia y el rendimiento de los coches a GLP son parecidos a los de sus equivalentes de gasolina

Introducción

El GLP, o gas licuado de petróleo, es una mezcla de propano (C_3H_8) y de butano (C_4H_{10}). La proporción de ambos gases varía en función del país y del tipo de vehículo; así por ejemplo, en España el GLP de automoción para vehículos turismo tiene normalmente una composición volumétrica de 30% de propano y 70% de butano, mientras que el GLP para vehículos monocombustible, como autobuses, tiene 70% de propano y 30% de butano. Los GLP se extraen a partir de los procesos de refinación (45% de la producción mundial de GLP en los últimos 2 años) y de los yacimientos de gas natural húmedo (55% restante).

Vehículos a GLP

Los vehículos a GLP son similares a sus equivalentes de gasolina, pero difieren en los sistemas de almacenamiento y alimentación de combustible al motor. La mayoría de los conductores no notarían la diferencia entre un coche que funcione con gasolina y otro que lo haga con GLP. El GLP es un gas en condiciones normales de presión, pero se licua al someterlo a una presión relativamente baja (unos 10 bares). El almacenamiento del GLP en los vehículos se hace en estado líquido, aunque su combustión en el motor se realiza en estado gaseoso.



Repostaje de GLP

La mayoría de los coches a GLP en Europa son bicomcombustible: tienen depósitos de GLP y de gasolina, y pueden cambiar de combustible con sólo apretar un botón, con lo que se aumenta la autonomía de los vehículos al eliminar el problema de quedarse sin combustible y de no encontrar una estación de servicio de GLP. Sin embargo, existen también vehículos monocombustible a GLP con la ventaja frente a los bicomcombustible de tener mejor rendimiento y menores emisiones contaminantes.

El rendimiento y la potencia de los coches a GLP son parecidos a los de sus equivalentes de gasolina, y a la hora de conducir se aprecian pocas diferencias entre ambos.

La mayoría de los depósitos de GLP son cilíndricos y se ubican en el maletero del coche o en el cuerpo principal de una furgoneta, pero como contrapartida, se compromete el espacio de carga. Una alternativa es un depósito toroidal (forma de donut), diseñado para que quepa en el espacio de la rueda de repuesto, aunque en ese caso la rueda de repuesto se lleva en el maletero y el espacio útil de éste se ve reducido. Sin embargo, en algunos países se puede llevar un kit de

Gas Licuado del Petróleo

Normalmente, la capacidad de los depósitos instalados en los vehículos turismo oscila entre los 40 y 50 litros, y los que van en las furgonetas muchas veces superan los 80 litros. Los autobuses a GLP, sin embargo, suelen tener depósitos de mucha más capacidad fijados en el techo.

La mayoría de los vehículos a gasolina pueden transformarse para que puedan funcionar también con GLP, mientras que en los diésel no es económicamente viable, por las dificultades técnicas que entraña el instalar bujías o cambiar la relación de compresión, además de otros cambios necesarios.

Seguridad del vehículo a GLP

Los vehículos a GLP que se compran al fabricante tienen que cumplir con estándares muy elevados de calidad y seguridad. Los vehículos a GLP cumplen muchos requisitos de seguridad en relación al combustible, como son que el depósito del GLP tenga la resistencia necesaria para aguantar el impacto del vehículo en caso de accidente; una válvula de escape de presión del GLP en el depósito por si éste sufriera un recalentamiento; o que las conducciones de GLP sean de materiales apropiados y vayan a un distancia mínima de seguridad de los conductos de gases de escape.

Prestaciones desde el punto de vista ambiental

Los vehículos GLP presentan unas emisiones contaminantes de NO_x, CO, HC y partículas inferiores a los de los carburantes convencionales (gasolinas y gasóleos) y unas emisiones de CO₂ inferiores a los de gasolina y similares a las del gasóleo.

Economía

El coste en combustible de estos motores es aproximadamente un 30% inferior a un vehículo de gasolina, e igual o un poco inferior a un vehículo diésel. Sin embargo, la evolución mundial al alza de los precios de los carburantes de los últimos años y la que se espera en el futuro está siendo más acusada en los destilados medios del petróleo (gasóleos y querosenos) que en las gasolinas y GLPs, por lo que los vehículos a GLP pueden ser cada vez más competitivos en términos económicos que los diésel.

El coste aproximado de transformación de un vehículo de gasolina a un vehículo bicomcombustible de GLP y gasolina es de aproximadamente 1.400 € (sin IVA) más los gastos de tramitación, que rondan los 500 € (sin IVA).

Situación en España

Los consumidores de GLP de automoción en España hasta ahora son vehículos de servicio público, principalmente taxis, pero también autobuses urbanos y flotas de carretillas elevadoras (GLP envasado en botellas de 12 kg de capacidad).

Los depósitos de GLP son normalmente de forma cilíndrica o toroidal

La mayoría de los vehículos de gasolina pueden transformarse a GLP, pero no así los diésel

Las ventas totales de GLP de automoción en España durante el año 2004 fueron aproximadamente de 18.000 toneladas y el número de vehículos existentes de 4.000

Gas Licuado del Petróleo

Los vehículos a GLP presentan ventajas medioambientales, con emisiones inferiores de contaminantes que sus análogos de gasolina y gasóleo

Desde el pasado día 17 de julio de 2003, la reglamentación española permite la conversión a GLP de cualquier vehículo de gasolina, con independencia de su uso, eliminando así la restricción que hasta esa fecha limitaba dicha operación a los vehículos taxi.

El 31 de diciembre de 2002 se publicó una modificación de la Ley de Impuestos Especiales, que redujo el impuesto especial de hidrocarburos (IEH) sobre el GLP para su uso en automoción en vehículos privados, pasando de 795 €/tonelada a 125 €/tonelada. En el caso de los vehículos de servicio público, se mantuvo un IEH reducido de 57,47 €/tonelada. Pero, recientemente, la Ley 22/2005 de 18 de noviembre, por la que se incorporan al ordenamiento jurídico español diversas directivas comunitarias en materia de fiscalidad de productos energéticos, ha vuelto a bajar el IEH sobre el GLP para su uso en automoción en vehículos privados, igualándolo al de vehículos de servicio público; es decir, 57,47 €/tonelada.

En la actualidad, el número de empresas suministradoras de GLP de automoción en España es de 5, existiendo un total de 36 estaciones de servicio que ofrecen este carburante.

Las ventas totales de GLP de automoción en España durante el año 2004 fueron aproximadamente de 18.000 toneladas, y el número de vehículos existentes de 4.000.

Es de destacar la ciudad de Valladolid, donde su empresa de autobuses urbanos cuenta en su flota con 100 autobuses funcionando con GLP.

Gas Natural

Introducción

El gas natural usado en la automoción está compuesto, mayoritariamente, por metano y es el mismo gas que el de la red de suministro con el que está familiarizada la mayoría de la gente para su uso doméstico en cocinas y calefacción. Concretamente, y siendo más precisos, se compone de entre 83 y 98% de metano (según la procedencia), junto con otros gases, como son etano, propano y butano, principalmente.

El gas natural es un combustible fósil extraído de yacimientos que no en todos los casos están asociados a los del petróleo. Es la energía de origen fósil que plantea el menor impacto ambiental negativo, tanto por las propias características del producto, como por las tecnologías disponibles para su utilización.

El biogás, equiparable al gas natural, procede de la digestión anaeróbica de materiales orgánicos, estando compuesto también mayoritariamente por metano. Se puede encontrar más información sobre el biogás en la sección de biocombustibles de este informe.

Vehículos a Gas Natural

La mayoría de los vehículos a gas natural (VGN) funcionan con motores de combustión interna de encendido provocado con bujías (aunque los modelos de doble combustible emplean motores diésel- véase más abajo) y son similares a los vehículos a gasolina, difiriendo de estos en los mecanismos de almacenamiento y alimentación del combustible.

Dado que el gas natural no se licua por compresión, tiene que almacenarse en los vehículos como gas natural comprimido a alta presión (GNC), normalmente a 200 bares, o como gas natural licuado (GNL) por debajo de -160°C . El GNL puede ser más ventajoso en aquellos casos en que se necesite mayor autonomía en el vehículo y se disponga del combustible en esta fase líquida, como es el caso de España, donde más de la mitad de las entradas de gas al sistema se producen en estado líquido. Sin embargo, es el GNC la opción más extendida a día de hoy.

Los depósitos de combustible de GNC tienen que ser capaces de soportar presiones por encima de 200 bares. Tradicionalmente se han fabricado en acero, aunque en la actualidad se han introducido otros materiales como metales más ligeros y fibras, lo que ha permitido reducir notablemente el peso de los mismos, manteniendo la misma seguridad. Los depósitos de GNL son más ligeros, pero son muy voluminosos al tener que contar con un aislamiento suficiente que evite que el GNL se caliente y pase a fase gaseosa.

El gas natural está constituido básicamente por metano y se extrae de grandes cámaras subterráneas

El combustible se almacena a bordo como gas natural comprimido (GNC) o gas natural licuado (GNL)

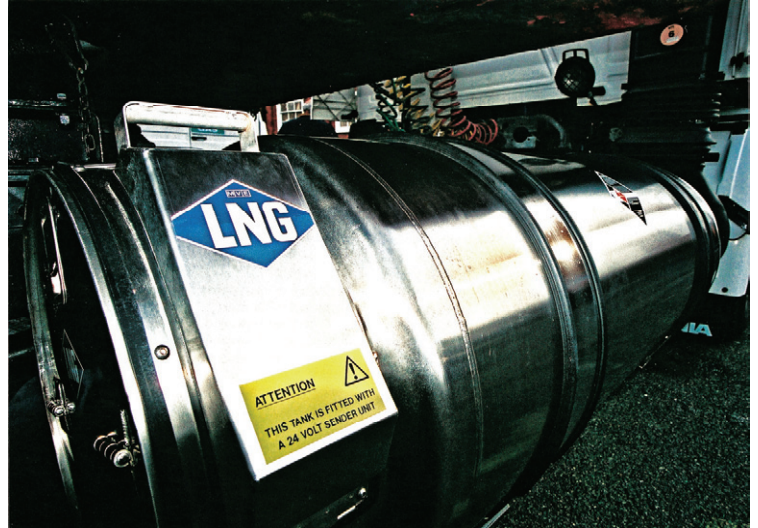
El GNC es actualmente la opción más extendida

Gas Natural

Los VGN monocombustible están optimizados para funcionar con GN, lo que implica mejores rendimientos y emisiones inferiores de gases contaminantes

Los VGN de doble combustible funcionan con una mezcla de GN y gasóleo

El gas natural en la automoción se aplica tanto a vehículos pesados (camiones y autobuses) como a ligeros (turismos). Dependiendo del país, está más desarrollado un segmento que otro, fundamentalmente debido a motivos logísticos, estratégicos o fiscales propios del país. Así por ejemplo, en Alemania existen



Tanque de GNL

más vehículos a gas natural

ligeros que pesados. Sin embargo, de forma general, en una fase inicial, y hasta que exista una red de puntos de suministros razonable, el gas natural se introduce con más facilidad en flotas cautivas de vehículos pesados (autobuses urbanos y camiones de recogida de basuras), que realizan recorridos diarios y vuelven a la misma base, en donde se instala la infraestructura de carga. En España, por ejemplo, la fiscalidad más beneficiosa que se aplica a los vehículos que prestan un servicio público ha favorecido hasta ahora el segmento de los vehículos pesados.

Sistemas y tecnologías de gas natural

Hay tres tecnologías del gas natural en la automoción: los VGN monocombustible, que emplean únicamente gas natural como carburante; los vehículos bicombustible, que pueden optar entre gas natural y gasolina; y los VGN a doble combustible, que funcionan con una mezcla de gas natural y gasóleo, cuyas proporciones relativas van cambiando en función de la velocidad del motor y de la carga.

Los VGN **monocombustible** pueden optimizarse para que funcionen con GN utilizando relaciones de compresión superiores, lo que generalmente implica mejores rendimientos. Esto es posible porque el GN tiene un octanaje mayor que el de la gasolina o el gasóleo. Los VGN especializados pueden además llevar catalizadores diseñados especialmente para oxidar el metano, siendo estos más eficientes que los catalizadores de gasolina o gasóleo, lo que implica emisiones inferiores de metano. La mayoría de los VGN en Europa son monocombustibles.

Muchos VGN de baja potencia (coches y furgonetas) tienen motores **bicombustible**, lo que aumenta su autonomía al eliminar el problema de quedarse sin combustible y de no encontrar una estación de servicio de GN. Este aspecto, es generalmente más problemático en vehículos de poca potencia, ya que siguen patrones de utilización menos predecibles que los camiones o los autobuses, y porque particularmente, los vehículos turismo no pueden albergar grandes depósitos de combustible. Sin embargo, el funcionamiento de los motores bicombustible no puede optimizarse como en los monocombustible, siendo sus emisiones contaminantes y de CO₂ superiores a estos últimos.

Gas Natural

Los motores a **doble combustible** se benefician de la mayor eficiencia de los motores diésel a cargas parciales. En este tipo de motores el gasóleo prende por compresión y actúa como ignición piloto para que se inflame el gas natural. A bajas cargas (p. ej., cuando el motor está al ralentí) los motores a doble combustible funcionan mayoritariamente o totalmente con gasóleo, pero con cargas mayores utilizan una mezcla de ambos combustibles, hasta una proporción de 80-90% de gas natural a cargas altas.

Prestaciones desde el punto de vista ambiental

Los vehículos a gas natural pueden considerarse bastante limpios, respecto a las emisiones atmosféricas que afectan a la salud humana, como el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los hidrocarburos (HC) y las partículas. Las emisiones tan reducidas de estos motores suponen una clara ventaja cuando los VGN sustituyen a los diésel, que es generalmente el caso de vehículos industriales.

El metano es un importante gas de efecto invernadero. Como se dijo anteriormente, los VGN monocombustible suelen llevar catalizadores de tres vías diseñados específicamente para oxidar y eliminar los niveles relativamente altos de metano libre que suelen emitir sus motores, evitando el efecto invernadero. Sin embargo, estos catalizadores no pueden instalarse en los VGN a doble combustible.

Los VGN funcionando a cargas razonablemente altas tienen unas emisiones de CO₂ casi un 20% inferiores a las de sus equivalentes de gasolina, y entre 5 y 10% en comparación con sus análogos diésel. En el ámbito urbano, sin embargo, debido al mejor rendimiento de los motores diésel a bajas cargas, esta ventaja de los VGN se ve invalidada, y las emisiones de CO₂ en este caso son similares en ambos motores.

Economía

Al igual que con otros vehículos de combustible alternativo, los VGN se caracterizan por costes de inversión más altos pero inferiores en combustible, frente a los vehículos de carburantes convencionales. Esto hace que la rentabilidad de la instalación y en muchos casos el precio de venta estén muy ligados al número de vehículos y al consumo.

Penetración del mercado

Según la Asociación Internacional de Vehículos a Gas Natural, hay cerca de cuatro millones de VGN en todo el mundo, de los cuales 1,4 millones están en Argentina y 1 millón en Brasil. La flota de Italia con 420.000 VGN es con mucho la mayor de Europa, seguida de la de Alemania con 27.000 e Irlanda con 10.000.

Alemania, Francia, Suiza y el Reino Unido han diseñado y puesto en marcha programas específicos de desarrollo del VGN para vehículos ligeros.

Los VGN normalmente producen menos contaminación que los vehículos de gasolina o diésel

Hay cerca de 4 millones de VGN en todo el mundo

Gas Natural

En la actualidad, existen numerosas ciudades en España que utilizan el gas natural comprimido para servicios de transporte urbano y recogida de basuras

Prácticamente todos los principales fabricantes disponen de vehículos a gas natural, como Fiat, Citroën, Opel, Mercedes-Benz, Ford, Iveco, Volkswagen y Volvo.

Situación en España

El empleo de gas natural como carburante en España comenzó en la década de los años 90, con la introducción de la tecnología de gas natural comprimido (GNC) en las flotas de autobuses urbanos de varias ciudades españolas.

Por el momento, Madrid, Barcelona, Sevilla, Málaga, Valencia, Burgos y Salamanca son las ciudades que ya hacen uso del gas natural comprimido en los servicios de transporte urbano de viajeros. Además, en Madrid, Alcobendas, Pozuelo, Barcelona, El Prat, Tarragona, Reus, Oviedo y Vigo, las empresas adjudicatarias de los servicios de recogida de basuras disponen actualmente de camiones a gas natural comprimido.

Actualmente el número de vehículos funcionando a GNC en España es de 865, de los cuales, 480 son camiones de recogida de basuras, 344 autobuses urbanos, 33 carretillas elevadoras, 6 vehículos ligeros y 2 microbuses. Por otro lado, el empleo de Gas Natural Licuado (GNL) como carburante en España es mucho más reducido, limitándose a 22 camiones de recogida de basura y a 7 camiones cisterna.



Autobús urbano a gas natural en Madrid

Previsiblemente, en un futuro próximo el número de vehículos a GNC se verá incrementado en 361 unidades más, debido a los planes existentes de ampliación de flotas de autobuses a gas natural de varias ciudades.

Recientemente, la Ley 22/2005 de 18 de noviembre, por la que se incorporan al ordenamiento jurídico español diversas

directivas comunitarias en materia de fiscalidad de productos energéticos, estableció un impuesto para el gas natural en su uso como carburante de 1,15 €/GJ, lo que previsiblemente permitiría un desarrollo razonable del uso del gas natural como carburante en el segmento de vehículos ligeros.

Biocarburantes

Introducción

Los biocombustibles son aquellos combustibles producidos a partir de la biomasa y que son considerados, por tanto, una energía renovable. Los biocombustibles se pueden presentar tanto en forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales) como líquida (bioalcoholes, biodiésel) y gaseosa (biogás, hidrógeno).

Dentro de los biocombustibles, los biocarburantes abarcan al subgrupo caracterizado por la posibilidad de su aplicación a los actuales motores de combustión interna (motores diésel y gasolina). Son, en general, de naturaleza líquida. Los biocarburantes en uso proceden de materias primas vegetales, a través de reacciones físico-químicas.

Los biocarburantes han alcanzado mucha relevancia en los últimos años. Las razones principales para fomentar su uso son:

- Contribuyen a la seguridad del suministro energético.
- Contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Promueven un uso mayor de energías renovables.
- Diversifican las economías agrícolas logrando nuevos mercados.

En base a estas consideraciones, la Comisión Europea emitió una Directiva sobre Biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte en 2003, que exige que los Estados Miembros establezcan objetivos indicativos para las ventas de éstos en 2005 y 2010. Como valor de referencia para estos objetivos, la Directiva fijaba el valor del 2%, calculado sobre la base del contenido energético, de toda la gasolina y todo el gasóleo de automoción, a más tardar el 31 de diciembre de 2005, y del 5,75% a más tardar el 31 de diciembre de 2010.

Los biocarburantes principales son el biodiésel y el bioetanol. El biodiésel es una alternativa al gasóleo, mientras que el bioetanol es un aditivo o sustituto de la gasolina. Los biocarburantes pueden usarse en todo tipo de vehículos, bien sean coches, furgonetas, autobuses, camiones o vehículos agrícolas.

Los biocarburantes en España

En España, desde el 1 de enero de 2003, los biocarburantes gozan de un tipo impositivo especial de 0 €.

Se estima que para el año 2005, el consumo de biocarburantes en España será cercano a los 300 ktep, lo que supone triplicar el consumo existente en 2003.

Los biocarburantes principales son el biodiésel y el bioetanol

Una directiva comunitaria establece objetivos para el uso de biocarburantes

Biocarburantes

Biodiésel

La producción de biodiésel

El biodiésel es el nombre general empleado para referirse a los ésteres metílicos. El biodiésel se obtiene a partir de semillas oleaginosas mediante esterificación de los aceites vírgenes extraídos principalmente de colza, girasol, palma y soja, pero también de aceites vegetales usados y de grasas animales. El aceite de colza es la materia prima más extendida en Europa para la producción de biodiésel. Estos aceites, sometidos al proceso químico de esterificación, son transformados en ésteres metílicos, con características combustibles muy parecidas a las del gasóleo.



El girasol como una de las fuentes de producción de biodiésel

Europa es el mayor productor de biodiésel del mundo. La producción europea total en 2004 se estima en más de 1,5 millones de toneladas, con Alemania, Francia e Italia como productores comunitarios más importantes, seguidos de la República Checa y Austria, con producciones también destacables.

Los aceites vegetales vírgenes utilizados en la fabricación de biodiésel proceden de cosechas agrícolas que utilizan técnicas de cultivo convencionales. Estos cultivos energéticos suponen un desarrollo agrícola alternativo, favoreciendo el desarrollo poblacional en el ámbito rural al mantener los niveles de trabajo y renta y fomentando la creación de industrias agrarias.

La tecnología de fabricación del biodiésel a partir de aceites vegetales está bastante desarrollada y como se ha mencionado anteriormente, este biocarburante puede obtenerse también a partir de aceites reciclados, lo que implica un beneficio medioambiental importante al transformar un residuo contaminante en un combustible similar al gasóleo.

Mezclas y garantías de los motores

El biodiésel puede emplearse como combustible único sustituyendo al gasóleo por completo o puede mezclarse con él en distintas proporciones en motores de encendido provocado (MEP) o diésel. Lo más frecuente es mezclarlo con gasóleo, siendo la mezcla más habitual la de 5% de biodiésel y 95% de gasóleo.

El biodiésel se obtiene a partir de aceites vegetales vírgenes, pero también de aceites vegetales usados y de grasas animales

La tecnología para producir biodiésel está disponible comercialmente

El biodiésel se usa normalmente en una mezcla al 5% con gasóleo fósil

Biocarburantes

Las propiedades físicas y químicas del biodiésel son muy similares a las del gasóleo, por lo que los motores diésel convencionales no necesitan modificaciones para poder utilizar mezclas al 5%. De hecho, la mayoría de los motores diésel modernos podrían funcionar con mezclas de hasta un 30%, aunque muchos fabricantes de motores sólo ofrecen garantías a sus motores para mezclas de hasta el 5% de biodiésel. Con mezclas superiores al 30% en volumen pueden surgir algunos problemas en motores diésel convencionales por el deterioro de las juntas de caucho y por la posible obstrucción de los inyectores. Es importante que el biodiésel sea de una calidad suficientemente alta. La norma europea para el gasóleo EN 590 permite hasta un 5% de biodiésel, y este último debe cumplir con la norma europea de calidad EN 14214.

Economía y disponibilidad

El coste de producción de biodiésel a partir de semillas oleaginosas es sensiblemente más elevado que el gasóleo derivado de crudo. El coste real depende de los costes relativos de las materias primas del biodiésel y del crudo. El biodiésel gravado con todos los impuestos de carburantes resulta muy caro y se necesita una reducción impositiva para que sea competitivo. Esos recortes impositivos son habituales en los países de la Unión Europea, aunque la producción de este biocarburante está todavía poco desarrollada en algunos países europeos.

El biodiésel producido a partir de residuos vegetales oleaginosos se beneficia de los precios relativamente bajos de estos, lo que hace que su fabricación resulte económica con los incentivos fiscales actuales. Sin embargo, el suministro limitado de estos residuos y los problemas sobre la calidad del combustible producido pueden limitar la contribución que pudiera suponer el empleo de estas materias primas.

Beneficios medioambientales

La ventaja principal de utilizar biodiésel como combustible de automoción es que reduce las emisiones netas de gases de efecto invernadero en comparación con el empleo de gasóleo fósil. La utilización de biodiésel puro al 100% (bastante infrecuente) reduciría las emisiones netas de CO₂ entre un 40% y un 50%, con lo que el uso del 5% disminuiría éstas entre un 2% y un 2,5%.

Estos cálculos se basan en el "ciclo de vida" completo del biodiésel, lo que cubre el cultivo de esta planta, la producción del biocombustible y el uso del biodiésel en un vehículo. En teoría, podría considerarse que el biodiésel es un combustible libre de CO₂, dado que el CO₂ emitido, cuando se quema, se absorbió inicialmente de la atmósfera durante el crecimiento de la cosecha oleaginosa. En la práctica, sin embargo, las reducciones de CO₂ a partir del biodiésel obtenido de cosechas oleaginosas quedan limitadas, porque el procesamiento de estas cosechas necesita un aporte de combustible fósil.

El uso de biodiésel al 100% reduciría las emisiones de CO₂ de "ciclo de vida" entre el 40% y el 50%

El uso de una mezcla al 5% reduce las emisiones de CO₂ entre el 2% y el 2,5%

Biocarburantes

El biodiésel también reduce las emisiones de gases contaminantes, aunque las emisiones exactas de este biocarburante varían en función del tipo de vehículo diésel y de la especificación del combustible. Asimismo, el biodiésel se biodegrada fácilmente, lo que resulta realmente beneficioso en ciertos usos, como la propulsión de barcos en vías fluviales.

Además, el biodiésel es una fuente europea de suministro de carburante, que hace a Europa menos dependiente de las importaciones de crudo.

El biodiésel en España

La capacidad productiva actual instalada en España en plantas de biodiésel a finales de 2005 será previsiblemente de 322.000 t/año. Sin embargo, la producción total durante este año rondará las 150.000 t/año equivalentes a 135.000 tep, debido a que algunas de las plantas de producción entrarán en servicio a finales de este año. En concreto, existen 10 plantas de biodiésel en España, de las cuales 8 están en funcionamiento y las 2 restantes comenzarán probablemente a producir en diciembre de 2005.



Tanque de biodiésel

En España, las principales materias primas para la fabricación de biodiésel son los aceites usados, la colza y el girasol.

Existen en la actualidad 128 gasolineras en España que ofrecen biodiésel.

Bioetanol

Producción de bioetanol

Actualmente, Brasil y los EE.UU son los mayores productores del mundo de bioetanol como combustible de automoción, con la caña de azúcar y el maíz como materias primas, respectivamente. En Europa, el bioetanol se produce principalmente a partir de la remolacha azucarera o el trigo. España, Polonia y Francia dominan el sector europeo del bioetanol, con una producción combinada de más de 500.000 toneladas en el año 2004. Otros países como Suecia, Austria y Alemania, también participan de la producción europea de bioetanol.

El bioetanol puede fabricarse a partir de materias primas ricas en azúcar o en almidón y de materiales celulósicos

Biocarburantes

Al igual que en la fabricación de biodiésel, las principales materias primas empleadas en la producción de etanol proceden de cosechas agrícolas que utilizan técnicas de cultivo convencionales, y que fomentan el desarrollo de economías rurales.

El bioetanol se fabrica mediante la fermentación del azúcar, del almidón o de la celulosa. La elección de la materia prima depende de consideraciones técnicas y económicas. Actualmente las tecnologías para fabricar bioetanol a partir de materias primas ricas en azúcar o en almidón son viables económicamente.

Los materiales celulósicos como los desechos agrícolas y forestales, así como los residuos domésticos clasificados suponen una alternativa más como materia prima. Sin embargo, estos materiales tienen que ser hidrolizados antes de que fermenten, y para ello se utilizan procesos más complejos que para los cereales. Por tanto, en la actualidad estos materiales celulósicos son considerados como fuentes futuras de obtención de azúcares para la producción de etanol a medio y largo plazo. Las tecnologías para la fabricación de bioetanol a partir de estos materiales están poco desarrolladas, y no se alcanzará su producción comercial hasta dentro de unos 5 a 10 años.

Mezclas y garantías de los vehículos

El bioetanol puede emplearse mezclado con gasolina en una proporción de 5% de bioetanol y 95% de gasolina, con arreglo a la norma de calidad europea EN 228, no precisándose modificación alguna del motor. Algunos fabricantes de vehículos especifican que la mezcla máxima de bioetanol con gasolina no debe exceder el 5% de bioetanol por volumen para no anular la garantía del vehículo, mientras que otros establecen un máximo del 10%.

El bioetanol puede emplearse al 100% en motores de encendido provocado, pero se requieren ciertas modificaciones en los motores.

Un 5% en volumen de bioetanol en una mezcla con gasolina supone un 3,4% del contenido energético de la mezcla porque el bioetanol tiene un poder calorífico equivalente a dos tercios del de la gasolina.

El uso de vehículos de combustible flexible (FFV), especialmente diseñados para utilizar toda una gama de concentraciones de etanol, proporciona un enfoque alternativo muy interesante. Ford, por ejemplo, vende el modelo *Focus FFV* de bioetanol en Suecia, y Saab y Volvo también tienen previsto introducir FFVs de bioetanol, que pueden funcionar con una mezcla de 85% de bioetanol y 15% de gasolina.

Modificaciones necesarias para mezclas > 5%

Los motores de encendido provocado (MEP) están diseñados para que el proceso de combustión de la mezcla de carburante y aire se inicie por una causa externa (chispa) y se forme un frente de llama que se propague por el cilindro hasta quemar toda la mezcla.

Se puede utilizar el bioetanol en mezclas al 5% con gasolina sin necesidad de modificar el motor

Biocarburantes

Las garantías de los fabricantes tienen que ser verificadas antes de utilizar mezclas > 5%

Los combustibles empleados en estos motores deben poseer una baja tendencia a la autoinflamación, que les permita resistir presiones superiores a 60 ó 70 bares sin que se manifieste la autoinflamación, que implicaría aumentos bruscos de la presión, pudiendo llegar a la detonación. Estas presiones se pueden alcanzar cuando al avanzar el frente de llama, que separa los productos quemados de la mezcla sin quemar, los productos quemados se dilatan por la alta temperatura y comprimen la mezcla fresca. La combustión detonante es un factor limitador de la potencia y del rendimiento de los MEP, pudiendo producir si ésta es prolongada graves averías en los pistones y la culata de los motores.

La mayor o menor tendencia a la detonación de un combustible se mide por el número de octano (NO). A mayor NO, mayor es la resistencia del combustible a la detonación. Al añadir una mezcla del 10% de etanol a la gasolina, el octanaje de la gasolina se incrementa en dos puntos. Por eso, el bioetanol se conoce como "potenciador del octanaje".

La relación teórica combustible-aire que se necesita para que la gasolina complete la combustión sin que haya exceso de aire es de 1/14,66, lo que significa que se necesitan 14,66 kg. de aire para completar la combustión de 1 kg. de gasolina. Esta relación se denomina **dosado estequiométrico**.

Una mezcla al 10% de bioetanol normalmente tendrá un contenido de oxígeno de alrededor del 3,5%, y hay que tener en cuenta que este oxígeno afecta al dosado del motor.

Una mezcla al 10% de bioetanol normalmente tendrá un contenido de oxígeno de alrededor del 3,5%, y hay que tener en cuenta que este oxígeno afecta al dosado del motor

Los sistemas electrónicos de gestión del motor que se instalan en la mayoría de los vehículos modernos que disponen de un sistema de alimentación de combustible por inyección detectan la relación combustible-aire y la modifican con el fin de mantener el dosado correcto cuando se emplean combustibles con bioetanol. Para algunos vehículos, el contenido máximo de oxígeno que se puede compensar es del 3,5% (es decir, un contenido máximo del 10% de bioetanol en la gasolina). Los vehículos más antiguos, dotados de carburador, no tienen este sistema electrónico que, entre otras cosas, detecta y corrige el dosado.

El filtro de combustible de los vehículos que utilizan bioetanol con gasolina es necesario cambiarlo con algo más de frecuencia porque el bioetanol favorece la liberación de los depósitos de partículas del tanque y de los conductos del combustible.

El bioetanol tiene un calor latente de vaporización mayor que el de la gasolina, y por ello, las mezclas de gasolina con bioetanol tienen peor arrancado en frío, más acusado lógicamente durante el invierno. Por ello, algunos vehículos tienen un pequeño depósito con gasolina pura para arrancar el vehículo cuando la temperatura exterior es baja.

Manipulación del combustible

Debido a la afinidad del bioetanol con el agua, su manipulación, almacenamiento y distribución es más compleja que la de la gasolina, y la mezcla de estos dos combustibles suele hacerse en las propias estaciones de suministro.

Biocarburantes

Economía y disponibilidad

La producción actual de bioetanol, al igual que la de biodiésel, resulta bastante más cara que la de gasolina y gasóleo, respectivamente. Por tanto, estos biocarburantes necesitan ventajas fiscales frente a los combustibles convencionales para poder competir con éstos y así estimular el mercado y fomentar su producción.

Estos recortes impositivos son habituales en los países de la Unión Europea, aunque la producción de los biocarburantes está todavía poco desarrollada en algunos países europeos.

Beneficios medioambientales del bioetanol

La ventaja principal de emplear bioetanol como carburante es que reduce las emisiones netas de gases de efecto invernadero en comparación con el uso de la gasolina. El empleo de bioetanol puro al 100% reduciría las emisiones netas de CO₂ sobre la base de su "ciclo de vida útil" entre un 50% y un 60% dependiendo de las materias primas empleadas, con lo que el uso de una mezcla con el 5% de bioetanol disminuiría éstas entre un 2,5% y un 3%.

Aunque no hay que obviar que el proceso de producción de bioetanol demanda en sí una cantidad importante de energía, tampoco hay ninguna duda en que la sustitución de gasolinas por este biocarburante contribuye a reducir las emisiones globales de CO₂.

El bioetanol al 100% reduce las emisiones de CO₂ de ciclo de vida entre el 50% y el 60%

El bioetanol en España

Las materias primas más extendidas para la producción del bioetanol en España son los cereales, principalmente el trigo y la cebada.

España es el primer productor de bioetanol de la UE, con una capacidad productiva total de 415.000 t/año, repartida en 3 plantas de producción.

La producción total de bioetanol en España en 2005 se estima en torno a las 257.000 t/año, cifra inferior a la capacidad productiva total, dado que una de las tres plantas existentes se prevé que comience a estar operativa a partir del mes de diciembre.

La mayoría del bioetanol producido en España se destina a la fabricación de ETBE para su posterior uso como aditivo en las gasolinas.

Biogás

El biogás es un gas producido por un proceso metabólico de descomposición de materia orgánica mediante la acción de bacterias metanogénicas en ausencia de oxígeno; es decir, en un ambiente anaeróbico. A nivel industrial este gas se genera en digestores de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) y de vertederos de residuos sólidos urbanos.

Biocarburantes

El biogás está compuesto principalmente por metano y CO₂

Hasta la fecha, sólo unos cuantos miles de vehículos funcionan con biogás en todo el mundo

Hasta ahora su uso mayoritario es en plantas de cogeneración para la producción simultánea de energía térmica y electricidad. Si del biogás se separa el CO₂ que contiene y otros gases minoritarios, como el ácido sulfhídrico, hasta aumentar la concentración en metano que tiene el gas natural, entonces puede emplearse en automoción como sustituto del propio gas natural.

Prestaciones desde el punto de vista ambiental

El empleo de biogás en automoción genera unas emisiones atmosféricas similares a las del gas natural. Sin embargo, considerando el ciclo de vida completo del biogás, las emisiones de CO₂ de éste son inferiores a las del gas natural, ya que se trata de un combustible renovable. Además, con el uso de este biocarburante en la automoción se asegura que el metano (un potente gas de efecto invernadero) que se genera en los vertederos y en las plantas depuradoras de aguas residuales se recoja y no escape a la atmósfera.

Penetración del mercado

Suecia tiene actualmente 779 autobuses a biogás y aproximadamente 4.500 vehículos ligeros que funcionan con una mezcla de gasolina y biogás o gas natural, y recientemente ha inaugurado el primer tren del mundo movido por biogás. Suiza es otro país en el que recientemente se está empezando a utilizar biogás en la automoción. Sin embargo, a escala mundial el nivel de uso de este biocarburante en el sector transporte sigue siendo muy reducido, con tan sólo unos cuantos miles de vehículos.

Vehículos de batería eléctrica

Introducción

Los vehículos eléctricos se agrupan en dos clases: los totalmente eléctricos, que a su vez se dividen entre los que son alimentados únicamente por baterías, los que aprovechan la energía solar, y los que utilizan pilas de combustible; y por otro lado los vehículos híbridos. En este capítulo sólo vamos a estudiar los vehículos eléctricos alimentados exclusivamente por baterías, pues del resto ya existe en este manual un capítulo propio para cada uno, salvo para los vehículos eléctricos solares.

Los primeros vehículos eléctricos datan de la década de 1830, pero ha sido en los años 90 cuando muchos fabricantes, como Citroën, Ford, Honda, GM, Peugeot o Toyota,

han llevado a cabo programas de fabricación de este tipo vehículos. Sin embargo, las ventas nunca han dejado de ser muy limitadas, y desde finales de esa misma década se ha transferido gran parte del interés y de los recursos destinados a investigación de los vehículos eléctricos puros a los híbridos, que combinan motores eléctricos con motores de combustión interna, lo que les confiere más potencia y mayor autonomía, que es justo el punto débil de los vehículos eléctricos.

Sin embargo, los vehículos eléctricos son ideales para algunas aplicaciones y son poco contaminantes.

Propiedades de la batería

Las baterías son el sistema de almacenamiento de la energía en los vehículos eléctricos, lo que equivale al combustible en vehículos con motor térmico. Hasta el momento, las baterías presentan el inconveniente de su gran peso y baja autonomía. Así, por ejemplo, si en un automóvil de combustión el carburante representa aproximadamente el 5% del peso del vehículo, en uno eléctrico puede suponer el 40%.



Plataforma de vehículos eléctricos en Edimburgo

Los vehículos eléctricos (EV) no producen emisiones atmosféricas en el punto de uso, son muy silenciosos y tienen costes de funcionamiento bajos

Vehículos de batería eléctrica

La batería ideal para un vehículo eléctrico debería tener una alta energía específica (kW h/kg), una alta densidad de energía (kW h/m³), una alta potencia específica (W/kg), un ciclo largo de vida útil, un tiempo de recarga corto y también debería ser segura, reciclable y económica.



Recarga de batería de un vehículo eléctrico

Sin embargo, actualmente todavía ninguna batería cumple todas estas características, siendo los tipos más comunes de batería los que se resumen a continuación.

Tipos de batería

Las **baterías de plomo-ácido** se usaron por primera vez hace 170 años y siguen siendo por ahora las baterías más usadas en los vehículos eléctricos. Son muy económicas y fáciles de reciclar; sin embargo, tienen baja energía específica y baja densidad de energía, con lo que son grandes pesadas, y con una autonomía limitada.

Las **baterías de níquel-cadmio** (Ni-Cd o nicad) se han utilizado durante bastantes años. Tienen mayor energía específica (cerca de 55 W h/kg) y mayor densidad de energía que las baterías de plomo-ácido; sin embargo, debido a que el cadmio es un metal pesado contaminante, en el año 2002 una Directiva europea prohibió la instalación de estas baterías en vehículos eléctricos nuevos a partir de finales del año 2005.

Las **baterías de níquel-metal-hidruro** tienen una energía de alrededor de 90 W h/kg y ciclos de vida útil muy largos. Son reciclables y relativamente benignas con el medioambiente, dado que el ánodo está hecho con una aleación de metales no pesados. Las baterías más pequeñas de níquel-metal-hidruro se están empleando actualmente en algunos vehículos híbridos.

Las **baterías de iones de litio** tienen una energía específica muy alta, de aproximadamente 150 W h/kg y ciclos muy largos de vida útil. Se han fabricado varios prototipos de vehículos eléctricos de batería de litio, aunque desgraciadamente, por ahora, las baterías de litio siguen siendo prohibitivas para su uso en vehículos.

Prestaciones desde el punto de vista ambiental

Los vehículos eléctricos, al no tener emisiones atmosféricas en el punto de uso, son una alternativa a los vehículos de motor térmico muy atractiva para zonas urbanas de mucho tráfico, donde la calidad del aire entraña problemas de salud.

Las baterías de plomo-ácido son económicas, pero tienen una autonomía limitada

Las baterías de níquel-cadmio tienen mayor autonomía que las de plomo-ácido, pero son más caras

Las baterías de níquel-metal-hidruro son más respetuosas con el medio ambiente que las anteriores y se están empleando actualmente en algunos vehículos híbridos

Las baterías de iones de litio dan la mayor autonomía y un rendimiento excelente, pero son caras

Vehículos de batería eléctrica

Sin embargo, un análisis completo de los beneficios medioambientales de los vehículos eléctricos ha de considerar las emisiones asociadas a la producción y suministro de la electricidad empleada para recargar las baterías. Estas emisiones, lógicamente, varían de un país a otro en función del modo de producir su electricidad (centrales térmicas de combustibles fósiles, energías renovables, etc.). En cualquier caso, la contaminación global asociada a estos vehículos es inferior a la de los vehículos térmicos de combustibles convencionales.

Economía

Al igual que muchos otros tipos de vehículos alternativos, los vehículos eléctricos se caracterizan por tener precios de adquisición más elevados, pero costes inferiores de utilización.

En muchos países de la Unión Europea este tipo de vehículos goza de algunos beneficios fiscales, como la supresión del IVA o la exención del impuesto de circulación.

Los principales mercados potenciales de los vehículos eléctricos son las flotas cautivas de servicios de transporte urbano de viajeros y de recogida de basuras, flotas cautivas de vehículos ligeros de organismos públicos y en menor medida vehículos para uso particular.

Situación en España

La Junta de Castilla y León, a través de su Ente Regional de la Energía (EREN), subvenciona la compra de automóviles, furgonetas y motocicletas de propulsión eléctrica por empresas, particulares, asociaciones sin ánimo de lucro y entidades locales de Castilla y León con un importe máximo de 5.700 € por cada automóvil y con 1.050 € por las motocicletas para el año 2005.

Los vehículos eléctricos tienen costes de inversión mayores, pero los gastos de funcionamiento son inferiores a los vehículos convencionales

Hidrógeno

Introducción

El hidrógeno como combustible en la automoción tiene dos aplicaciones: las pilas de combustible y los motores de combustión interna alternativos. En ambas aplicaciones este combustible se combina con el oxígeno, generando electricidad en el caso de las pilas de combustible y energía mecánica en el caso de los motores térmicos, emitiendo a la atmósfera en ambos casos únicamente vapor de agua, lo que implica grandes beneficios medioambientales.

Sin embargo, el proceso de fabricación del H_2 no está exento de emisiones contaminantes. Este puede realizarse mediante diversas tecnologías, como son la electrolisis del agua, el reformado de hidrocarburos, la gasificación de biomasa y de hidrocarburos y otras tecnologías en fase de investigación. La única tecnología hasta ahora sostenible y respetuosa con el medio ambiente es la de electrolisis del agua a partir de electricidad generada mediante fuentes renovables.

Vehículos con pila de combustible de H_2 Funcionamiento de las células de combustible

Una celda o pila de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de reacción directamente en energía eléctrica y en calor, mientras se suministre combustible y oxidante a sus electrodos, sin más limitaciones que los procesos de degradación o mal funcionamiento de los componentes. Como resultado de la reacción electroquímica se produce agua y electricidad. El agua abandona la pila de combustible a través de los electrodos y la corriente eléctrica pasa a un circuito externo.

En principio, cualquier sustancia susceptible de oxidación química, que pueda suministrarse de forma continua a la pila, puede utilizarse como combustible. Del mismo modo, cualquier sustancia que se reduzca químicamente de forma suficientemente rápida puede servir como oxidante. Hidrógeno y oxígeno gaseosos son el combustible y oxidante elegidos en la mayoría de las aplicaciones de las pilas de combustible.

Una pila de combustible consta de un ánodo y de un cátodo con un electrolito entre ambos. El electrolito tiene la propiedad peculiar de permitir

que los iones puedan atravesarlo, pero no así las moléculas (neutras) o los electrones (con carga negativa).

Hidrógeno y oxígeno gaseosos son el combustible y oxidante elegidos en la mayoría de las aplicaciones de las pilas de combustible



Source: Ballard Power Systems

Autobús de pila de combustible

Hidrógeno

En el caso de las pilas de membrana de intercambio protónico (PEMFC), que se utilizan en aplicaciones de transporte, se proporcionan moléculas de hidrógeno al ánodo de la pila, donde en presencia de un catalizador, normalmente de platino, esta molécula se separa en dos protones (2H^+) y dos electrones (2e^-). Los protones pasan libremente a través del electrolito para combinarse con moléculas de oxígeno en el cátodo y los electrones circulan por un circuito exterior desde el ánodo al cátodo, donde se suman a los protones y a las moléculas de oxígeno para formar agua. Esta circulación de electrones por el circuito exterior constituye una corriente eléctrica continua de muy baja tensión, pero que puede aumentarse hasta el voltaje requerido, interconectando en serie varias de estas celdas.

Estas pilas de combustible necesitan un suministro continuo de hidrógeno y oxígeno cuando están funcionando, proviniendo este último del aire atmosférico.

Tipos de células de combustible

Hay distintos tipos de pilas de combustible, pudiendo clasificarse atendiendo a distintos criterios, como son el tipo de combustible y oxidante que utilizan; el lugar donde se lleva a cabo el procesado del combustible, dentro o fuera de la celda; el tipo de electrolito; la temperatura de operación; el sistema de alimentación de los reactivos, etc. Sin embargo, la clasificación comúnmente utilizada es según el tipo de electrolito que utilizan y por el cual son denominadas.

Las pilas de membrana de intercambio protónico (PEMFC) son muy adecuadas para su aplicación en transporte porque son capaces de trabajar a altas densidades de corriente, con una rápida respuesta a demandas de potencia variable, además de tener una alta densidad de potencia y una temperatura de funcionamiento relativamente baja.

Opciones de repostado

Uno de los aspectos clave en el desarrollo de los vehículos de pila de combustible es el almacenamiento y transporte del hidrógeno en ellos, existiendo diversas tecnologías con sus ventajas e inconvenientes.

Una de ellas consiste en repostar y almacenar en el vehículo un compuesto que contenga una alta proporción de hidrógeno, como por ejemplo metanol o gas natural, para ser reformado a bordo. El inconveniente que tiene es que el hidrógeno así generado puede contener algunas impurezas que haga necesario una limpieza del gas para poder ser utilizado en las pila PEMFC, ya que este tipo de pila requiere hidrógeno de alta pureza.

Otra opción es el empleo del hidrógeno como gas comprimido a 200 b, pero en este caso la densidad energética es muy baja y los recipientes a presión son voluminosos y pesados. El almacenamiento a muy alta presión (700 b) está aún en fase de desarrollo.

Las pilas de membrana de intercambio protónico (PEMFC) son muy adecuadas para su aplicación en el transporte

Hay distintas opciones para almacenar hidrógeno en los vehículos

Hidrógeno

Los vehículos de pila de combustible alimentados con hidrógeno no producen más emisiones en el punto de utilización que vapor de agua

A medio y largo plazo, las pilas de combustible constituyen una de las mejores alternativas a los motores térmicos convencionales

El almacenamiento como líquido criogénico a -253°C presenta una buena densidad energética, aunque no es comparable a la que tienen los combustibles fósiles líquidos, como la gasolina o el gasóleo. Esta solución tiene actualmente un coste bastante elevado por la cantidad de energía necesaria para licuar el gas y por las características especiales de los depósitos de almacenamiento, que deben estar extraordinariamente aislados y ser capaces de soportar la presión de la fase gaseosa del hidrógeno.

Otro sistema consiste en emplear hidruros metálicos, de manera que el hidrógeno queda retenido en la estructura sólida del hidruro metálico y puede liberarse a medida que la pila de combustible lo demande. El principal problema que tienen es su elevado peso.

Además de estas tecnologías existen otras, como el empleo de hidruros químicos, o la utilización de estructuras de tubos microscópicos de carbono o de microesferas de vidrio, aunque estas dos últimas están todavía en fase de investigación.

Prestaciones desde el punto de vista ambiental

Los vehículos de pila de combustible alimentados con hidrógeno no producen más emisiones en el punto de utilización que vapor de agua, lo que supone grandes ventajas medioambientales.

Actualmente, la mayor parte del hidrógeno se produce a partir de gas natural mediante un proceso de reformado con vapor de agua que genera CO_2 . Este proceso es mucho más eficiente que el proceso de electrolisis del agua a partir de electricidad generada con combustibles fósiles. Sin embargo, a largo plazo, se espera y se desea que la producción de hidrógeno se base fundamentalmente en el uso y aprovechamiento de energías renovables.

Economía

Casi todos los fabricantes de vehículos tienen programas de I+D+i en células de combustible, pues en el medio y largo plazo constituyen una de las mejores alternativas a los motores de combustión interna.

La viabilidad económica de estos vehículos está ligada a la reducción de los costes de producción de las pilas de combustible, a la mejora del almacenaje del hidrógeno en los vehículos y al desarrollo de una infraestructura de estaciones de repostaje.

Situación en España

Madrid y Barcelona, junto a otras 8 ciudades europeas (Amsterdam, Estocolmo, Hamburgo, Londres, Luxemburgo, Stuttgart, Reykjavik y Oporto), son pioneras desde el año 2003 en el empleo de autobuses urbanos equipados con pilas de combustible que utilizan hidrógeno como carburante. Esta iniciativa forma parte del proyecto *Clean urban Transport for Europe (CUTE)*, auspiciado por la UE y liderado por la empresa Daimler Chrysler (Mercedes), que contempla la demostración de 30 autobuses propulsados por pila de combustible en estas 10 ciudades europeas. Los 30 autobuses están equipados con pilas Ballard de 205 kW, que son del tipo de membrana de intercambio protónico (PEMFC).

Hidrógeno



Autobús de pila de combustible (proyecto Citycell, Madrid)

La ciudad de Madrid, además, participa igualmente desde el año 2003 en otro proyecto, el **CITYCELL**, que liderado por Iveco -Iris bus y por Renault, contempla la demostración de 4 autobuses propulsados por pila de combustible en 4 ciudades europeas (Madrid, París, Turín y Berlín). En el caso de Madrid y Turín, los vehículos empleados son autobuses IVECO dotados de pila de

combustible UTC de 62 kW del tipo de membrana de intercambio protónico (PEMFC).

Motores de combustión interna de hidrógeno

El hidrógeno también puede emplearse como carburante en motores de combustión interna alternativos de encendido provocado (como los de gasolina), y aunque esta alternativa es más ineficiente energéticamente que las pilas de combustible, se trata de una tecnología ya sobradamente probada.

Algunos fabricantes de vehículos piensan que los motores térmicos de hidrógeno ayudarán a dar el salto hacia un futuro, dominado por las pilas de combustible al crearse una demanda de hidrógeno como combustible y, por consiguiente, el desarrollo de una infraestructura de estaciones de suministro.

El pensamiento general del sector es que, en el futuro a largo plazo, se impondrán las pilas de combustible sobre los motores térmicos de hidrógeno, básicamente porque los primeros son más eficientes que los segundos.

El hidrógeno puede utilizarse también para propulsar motores de combustión interna (MCI)