

El gas natural comprimido: una alternativa para el transporte en la Ciudad de México



*Anabel Ortega
Gustavo Marcovich*



Contenido



I ntroucción	9
S ituación ambiental de la Ciudad de México	11
C ombustibles alternativos	23
Gas natural	29
Gas de petróleo licuado o gas LP	46
Alcoholes	57
O tras dos alternativas: electricidad e hidrógeno	71
Electricidad	71
Hidrógeno	79
G losario	87
B ibliografía	95

Introducción



Los habitantes de la Ciudad de México sabemos que nuestra ciudad es una de las más grandes del mundo. Conocemos muchas de sus calles y avenidas, parques y sitios de diversión y a muchas de las personas que viven aquí. Son muchas las cosas que nos gustan de ella y muchas las que no.

Nos cuentan como en los últimos cincuenta años hemos pasado de ser la región más transparente a ser una zona donde aparentemente ni los vehículos ni los contaminantes se mueven demasiado. Nos hemos acostumbrado a vivir bajo un espesa capa gris, ha padecer enfermedades y molestias relacionadas con el aire que respiramos. Sabemos que en ciertas épocas del año no podemos ver más allá de nuestras narices y que en otras hasta los volcanes vemos, y que difícilmente volveremos a respirar un aire totalmente puro en este valle. Sabemos que la ciudad no se ve desde las alturas y que a lo lejos todo se ve gris, sucio, triste. También sabemos que debemos limpiar nuestro aire y que es necesario tomar acciones para controlar la contaminación atmosférica y proteger la salud de la población.

Afortunadamente hemos aprendido y, en cierto modo, hemos tratado de corregir nuestros errores. El gobierno ha tomado varias acciones para controlar las emisiones de los vehículos y los ciudadanos hemos tomado conciencia, pero todavía no se gana la batalla. No ha sido fácil.

Por esto, considerando que en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México circulan más de 3 millones de vehículos automotores diariamen-

te¹, adicionalmente al transporte eléctrico colectivo (Metro, trolebús y tren ligero), el Gobierno de la Ciudad de México propuso en 1998 un *Programa de Gas Natural* como una alternativa para un transporte “limpio”² en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

De eso trata este libro: del gas natural y de otros combustibles para automóviles diferentes a la gasolina y al diesel. Las ventajas y desventajas de cada uno.

Los combustibles derivados del petróleo que conocemos y usamos (gasolina y diesel) son esenciales para nuestra forma de vida. Sin ellos no podríamos ir tan lejos ni tan rápido como el mundo actual lo requiere. Pero tienen dos problemas: contaminan y tienden a agotarse. Por eso es necesario saber que pueden ser sustituidos por combustibles alternativos que contaminen menos y que no se acaben al agotarse el petróleo.

Este libro intenta describir brevemente los combustibles alternativos que más se han desarrollado en los últimos años. El gas natural es tratado de una manera más extensa porque ya se está instrumentando su uso en el transporte de la Ciudad de México y porque ofrece una alternativa viable a corto plazo para reducir las emisiones de contaminantes.

Puede parecer que el problema de los combustibles sólo compete a los dueños de los vehículos, pero no hay que olvidar que todos nos transportamos en ellos y todos respiramos lo que producen sus motores. No es un problema ajeno: es de todos los que vivimos en esta ciudad. Por eso debemos hacer lo que sea necesario para limpiar nuestro aire y para ello lo primero es conocer las alternativas. Sin olvidar que “el único combustible que no contamina es el que no se usa”. ☹

¹ Fuente: “Programa Integral de Transporte y Vialidad 1995-2000”.

² Por “limpio” se entiende que la cantidad de sus emisiones sea poca en relación a los combustibles que se usan actualmente y que los contaminantes que libera sean de la menor toxicidad posible.

Situación ambiental de la Ciudad de México



La mayor parte de los problemas ambientales de la Ciudad de México crecen a la par que sus causas. Al aumentar su población se incrementa el consumo de energía, la necesidad de agua, el número de industrias y la cantidad de vehículos que circulan diariamente en ella.

En tan solo la milésima parte del territorio nacional, es decir en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), habitan alrededor de 20 millones de personas que se transportan en más de 3 millones 200 mil vehículos³ (en promedio, existe un vehículo por cada seis habitantes) y que consumen 23% del volumen total de gasolinas del país así como 10% del total de diesel. Esto significa que diariamente se consumen más de 23 millones de litros de combustible en la Ciudad de México,⁴ y que esta inmensa cantidad de combustible provoca que cada año se emitan más de 450 millones de toneladas de contaminantes a la atmósfera. De éste volumen de emisiones, 77% proviene del transporte público y privado, 9% de fuentes estacionarias (termoeléctricas, industrias, baños públicos) y el resto de fuentes naturales.

Los vehículos que circulan por la capital del país consumen alrededor de 18 millones de litros de gasolina diariamente y emiten más de 26 millones de metros cúbicos de gases. Aparte de los automóviles particula-

³ Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (1997).

⁴ Según datos de Pemex del consumo de 1997.

res, también circulan alrededor de 60 mil taxis, 180 mil combis y microbuses, 10 mil autobuses, once líneas de Metro, una de tren ligero y 450 trolebuses. Todo lo cual equivale a casi 30 millones de viajes diarios.

El transporte público contribuye, como promedio en todo un día, con 76% de las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Sin embargo, es necesario hacer notar que las combis y los microbuses realizan las tres cuartas partes de los viajes persona-día del transporte colectivo y que durante las horas pico (5-10 a.m., 13-15 y de las 17 a las 21:30 p.m.) emiten tan solo 24% de los contaminantes, mientras que los autos particulares y los taxis emiten más de la mitad del total. El 26% restante es emitido por los 196 mil camiones distribuidores de mercancías que circulan con gasolina y por los 60,000 camiones a diesel que transportan carga y pasajeros. Tenemos entonces que el taxi y el auto particular son los que emiten la mayor carga de contaminantes por pasajero-kilómetro transportado en las horas pico.

Los principales contaminantes, por su toxicidad, que se arrojan a la atmósfera en megaciudades como la de México son el monóxido de carbono de los vehículos a motor, el bióxido de azufre debido a las emisiones industriales y a los generadores eléctricos, los óxidos de nitrógeno que resultan de los embotellamientos de tránsito, el ozono, el plomo de las gasolinas y las partículas suspendidas totales que proceden de las cocinas domésticas y de los generadores de corriente eléctrica.

Normalmente, el aire se compone de 78% de nitrógeno, 20% de oxígeno y el 2% restante es una mezcla de neón, helio, kriptón, etc., más polvo inerte como los silicatos, que no afectan al organismo humano. El aire que respiramos en el D.F. tiene todo lo anterior más 160 sustancias tóxicas que son emitidas por los automotores.

El principal problema de la Ciudad de México en éste momento es el ozono. La norma de calidad del aire indica que la cantidad de ozono en la atmósfera no debe ser mayor de 0.11 partes por millón (ppm), durante una hora, una vez al día y una vez al año. En la Ciudad de México esta norma se rebasa unas 900 horas al año en promedio y ha llegado a niveles de 0.390 ppm.





CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y SOCIALES

Las características geográficas de la Ciudad de México contribuyen a agravar los problemas ambientales. Uno de los principales problemas es que debido a su altitud de 2240 metros, hay 24% menos oxígeno con relación a la composición del aire a nivel del mar. Mientras que al nivel del mar un metro cúbico de aire contiene 275 gramos de oxígeno, en la Ciudad de México ese mismo volumen de aire sólo contiene 212 gramos. Esta deficiencia de oxígeno no permite una combustión completa de la gasolina, con lo cual se produce una mayor cantidad de contaminantes que se emiten a la atmósfera, principalmente monóxido de carbono e hidrocarburos sin quemar.

Asimismo, la latitud del Valle de México propicia que reciba una mayor cantidad de radiación solar en relación con otras grandes ciudades situadas más al norte. Se estima que la atmósfera de la Ciudad de México es aproximadamente 40% más reactiva que la atmósfera de la ciudad de Los Ángeles, California.

Por lo que respecta a su situación orográfica, la ciudad se encuentra asentada en una cuenca y está rodeada de montañas, por lo que los contaminantes no son arrastrados por las corrientes de aire para ser diluidos en la atmósfera, como sucede en las planicies o en las zonas costeras, sino que permanecen atrapados, originando el smog fotoquímico.

Las formaciones montañosas más importantes que rodean a la Ciudad de México son: al norte la Sierra de Guadalupe, en la que destacan los cerros del Tepeyac, Chiquihuite y Zacatenco; al sur la Sierra Ajusco y la de Chichinautzin, donde está el volcán Tlaloc; al este la Sierra de Santa Catarina, donde se localiza el volcán de Guadalupe, y al oeste la Sierra de las Cruces, donde está el cerro de San Miguel.

También existen otros cerros de menor importancia, ahora muy urbanizados, como el cerro de Chapultepec, el cerro de la Estrella y el Peñón de los Baños.

Todas estas formaciones montañosas forman una verdadera cuenca cerrada.

Esta estructura geográfica ha resultado perjudicial para los habitantes del Valle de México, ya que los vientos soplan del noroeste-noreste hacia el sur-sureste, empujando la masa de aire sucio a través del centro de la ciudad hasta la parte sur de la cuenca para que después éste escape lentamente a través de las montañas que dominan esa parte.

Además de la desfavorable situación geográfica, las políticas públicas centralizadoras aplicadas por el Gobierno Federal en los últimos 70 años, han originado la concentración de la industria, de la educación y de las actividades públicas, lo cual ha ocasionado la migración desmedida de mexicanos hacia el centro del país en busca de elevar su calidad de vida, y por esta razón se ha incrementado también la necesidad de vivienda y servicios públicos.

La falta de una planeación adecuada y de una política de urbanización congruente, ha convertido a los medios de transporte motorizados en la única forma para ir a trabajar, a estudiar o a casi cualquier otra actividad.

De esta manera la Ciudad de México, una de las urbes más grandes del mundo, se ha convertido en lo que ahora se conoce como la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), la cual incluye a las zonas conurbadas colindantes de los estados de México y de Morelos, principalmente.

FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS

Adicionalmente a las condiciones geográficas y sociales, existen fenómenos climatológicos en la atmósfera que tienen efectos graves sobre la ciudad y sus pobladores. Estos efectos negativos son generados principalmente por los niveles de contaminación ambiental. Los fenómenos más frecuentes son: la inversión térmica, el efecto invernadero, la lluvia ácida, la formación de ozono y el rompimiento de la capa de ozono.

En condiciones normales, la atmósfera se va enfriando a medida que aumenta la altitud, de modo que las capas de aire caliente se encuentran más cerca de la superficie y las de aire frío se alejan de ésta. Generalmente la temperatura al nivel del suelo es 6.5°C más caliente que un kilómetro arriba.



Como el aire caliente es menos denso que el aire frío, se expande y se eleva llevándose consigo los contaminantes hacia una capa más alta de la atmósfera conocida como troposfera. Digamos que es un sistema natural de ventilación y limpieza.

La inversión térmica se produce cuando una capa de aire frío se queda atrapada debajo de una capa de aire caliente, lo cual ocasiona que el aire cercano a la superficie, más frío y denso, no pueda elevarse y que las partículas contaminantes no se puedan esparcir. Este fenómeno puede tener una duración de horas o días y se produce generalmente en el invierno, ocasionando graves daños a la salud porque los contaminantes permanecen en el aire más cercano a la superficie, que es el que respiramos.

El clima de la Tierra está determinado por varios factores, y uno muy importante se refiere a los llamados “gases de invernadero”. Compuestos como el bióxido de carbono (que es emitido por la combustión del carbón, del petróleo y del gas natural), el vapor de agua, el metano, los óxidos de nitrógeno y los clorofluorocarbonos tienen la capacidad de absorber el calor del sol y calentar el aire cercano a la tierra, por lo que la cantidad de estos compuestos en la atmósfera debe ser la adecuada, ya que en cantidades por debajo del equilibrio, la temperatura de la superficie podría llegar a menos 20°C, y, en el otro extremo las altas temperaturas derretirían las masas polares. El efecto invernadero es entonces un fenómeno natural que se puede resumir en cuatro pasos:

1. La energía del sol calienta el aire de la superficie terrestre.
2. La superficie terrestre refleja gran parte del calor que recibe de vuelta hacia la atmósfera.
3. Los gases de invernadero absorben parte de la *radiación infrarroja* y la proyectan hacia la tierra.
4. Si aumenta la concentración los gases de invernadero, se retiene más calor cerca de la superficie de la tierra.

Uno de los gases de invernadero más importantes es el bióxido de carbono (CO₂). Podríamos decir que este compuesto actúa como si fuera el techo de un invernadero, que absorbe calor e impide que se escape. Sin embargo, la cantidad normal de este compuesto, y de otros gases de invernadero, se ha incrementado porque las industrias, el transporte y

otras actividades generan bióxido de carbono y al mismo tiempo están desapareciendo las fuentes naturales que eliminan este compuesto, por la destrucción de los bosques y de la cubierta vegetal. En la Ciudad de México, este fenómeno representa aún mayores problemas ya que, según estadísticas del Instituto Nacional de Ecología (INE), México es uno de los países que genera mayor cantidad de emisiones de bióxido de carbono por habitante.

La lluvia ácida es una combinación de los contaminantes primarios con la humedad de la atmósfera, que provoca la formación de compuestos ácidos. Este problema proviene principalmente de uso de carbón y petróleo como combustibles, ya que estos producen la emisión de bióxido de azufre (SO_2) y de óxidos de nitrógeno (NO_x) que en la atmósfera se convierten en ácido sulfúrico y nítrico, respectivamente, cuando se combinan con el vapor de agua o con la lluvia. Este fenómeno se ha registrado en todo el mundo, ocasionando serios daños a los peces, los árboles y los monumentos históricos y artísticos.

Otros problemas muy graves son la generación de ozono y el rompimiento de la capa de ozono. El ozono (O_3) es un constituyente atmosférico que está presente desde la superficie hasta 60 kilómetros por encima de la tierra, alcanzando su volumen más importante en la estratosfera. Este gas es el responsable de evitar que la radiación ultravioleta (UV) del sol alcance la superficie terrestre y su función es ser el escudo natural de la Tierra. El ozono se forma constantemente en la atmósfera como resultado de la radiación UV del sol. Sin embargo, algunas actividades humanas pueden alterar el equilibrio de esta relación y dañar la capa de ozono ocasionando un aumento en la radiación UV que nos llega, lo que puede provocar problemas de salud que van desde el cáncer de piel hasta la muerte.

Las principales actividades que están destruyendo la capa de ozono son las explosiones y accidentes nucleares, las emisiones gaseosas de aviones y transbordadores espaciales, la liberación de gases como el metano y, principalmente, de bióxido de carbono, que son resultado del uso de combustibles fósiles.

El uso de derivados del petróleo, como la gasolina y el gas natural, en la industria y el transporte, genera ozono a partir de óxidos de nitrógeno, el cual es un contaminante peligroso de la atmósfera citadina y contribuye a la formación de la lluvia ácida. Las reacciones químicas que produce este contaminante dependen de la cantidad de energía solar, por lo que sus niveles aumentan hacia el mediodía y en los días más calurosos.

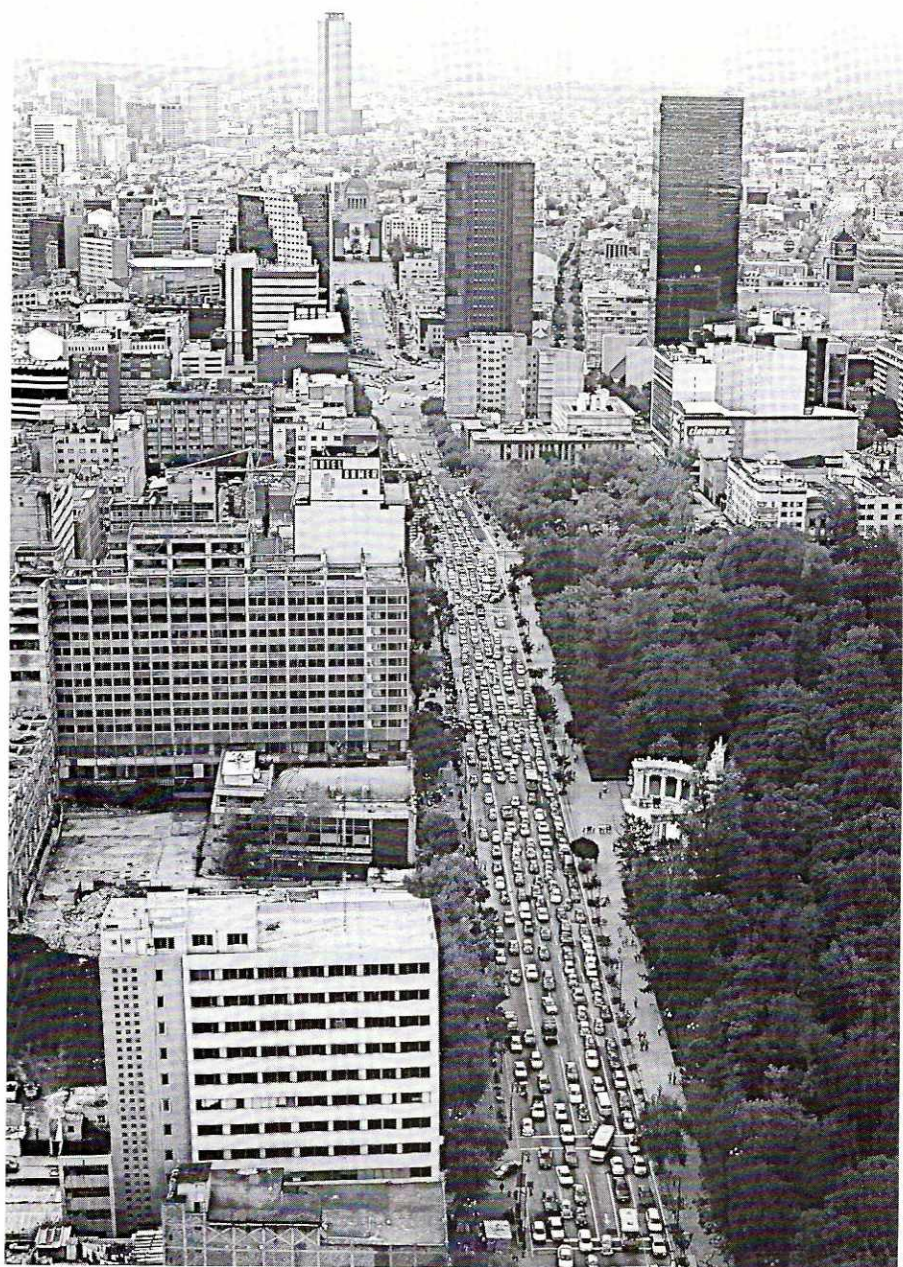
De todos los contaminantes que se generan y afectan a la atmósfera, el ozono ha resultado ser el más peligros hasta ahora, ya que la experiencia internacional ha demostrado que no puede ser reducido en un tiempo breve.

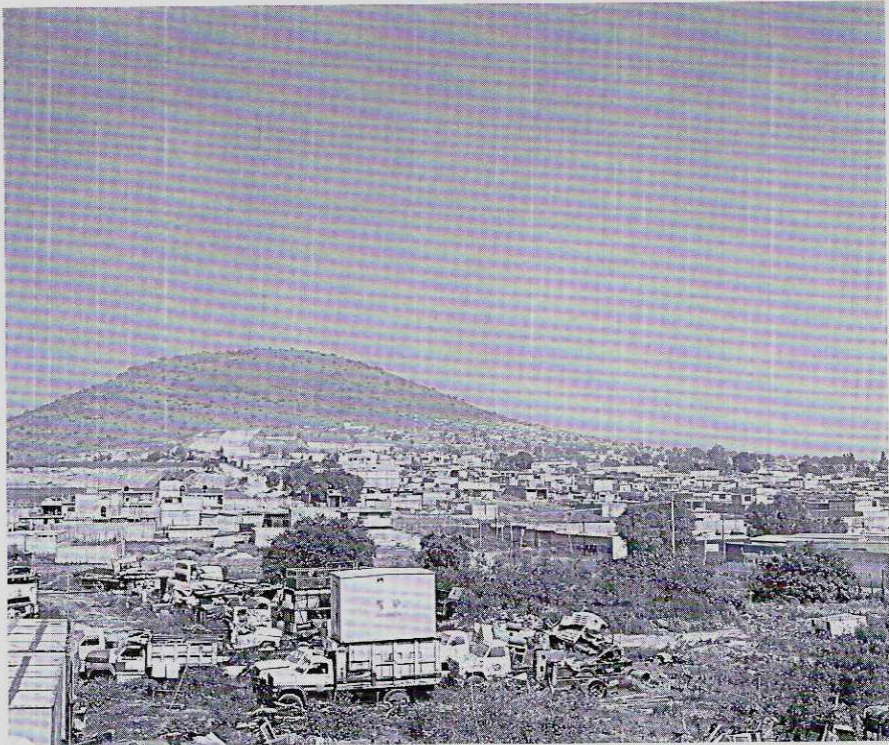
EL TRANSPORTE

Como podemos observar, la Ciudad de México se caracteriza por condiciones geográficas que dificultan el desalojo de los contaminantes que se producen con mayor facilidad durante los fenómenos atmosféricos que hemos mencionado anteriormente. Asimismo, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, una de las más grandes concentraciones de población del mundo, se caracteriza por una intensa actividad económica, política y social que, aunada a los procesos de desarrollo, requiere del transporte de pasajeros y de productos.

El transporte constituye entonces una parte fundamental de la vida económica de la Ciudad de México, pues gracias a él es posible el traslado de personas y de materiales desde los centros de producción hasta los centros de consumo; por lo tanto, parte importante del desarrollo del país depende en gran medida de contar con una infraestructura de transporte adecuada.

Desde el punto de vista de la contaminación, podemos decir que los principales contaminantes en la Ciudad de México son derivados de la industria y de los motores que utilizan fuentes de energía como gasolina, diesel, gas natural o electricidad. Para comprender la importancia de impulsar el uso de los combustibles menos contaminantes en el transporte, es necesario considerar que actualmente la mayoría de los vehículos particulares utilizan gasolina (Magna Sin o Premium) y el transporte de car-





ga y de pasajeros, como los autobuses, utiliza diesel. De acuerdo con el inventario de emisiones de la Ciudad de México, las descargas vehiculares representan casi 75% de los 4 millones 10 mil toneladas anuales de contaminantes emitidos en la Ciudad de México. Es debido a esto que resulta necesario tomar acciones para controlar la contaminación atmosférica y proteger la salud de la población.

Para reducir la contaminación del aire ocasionada por los coches viejos y nuevos, se necesitan combustibles más limpios.

El mejoramiento de las gasolinas se inició en 1986, cuando se redujo considerablemente el contenido de plomo (que se utilizaba en forma de tetraetilo de plomo como aditivo antidetonante) hasta alcanzar el intervalo de 0.1 a 0.2 ml/galón. A partir septiembre de 1992 Pemex puso a la venta gasolina Nova con 52% menos de tetraetilo de plomo con respecto a la formulación anterior; así, el contenido de plomo en la gasolina Nova disminuyó de 0.63 ml/gal, como promedio nacional en 1991, a 0.3 ml/gal, como máximo.

En 1989 se empezó a mezclar la gasolina con compuestos oxigenados para compensar la deficiencia de oxígeno en el aire ocasionada por la altura de la ciudad y lograr una combustión más completa. Con la sustitución de plomo por metil tert-butiléter (MTBE) se ha reducido la concentración de plomo en la gasolina hasta 0.3 ml/gal en la regular y a 0.0 ml/gal en la Magna. Sin embargo, esto ha generado malos resultados ya que desde su introducción la concentración de ozono y de formaldehído se ha incrementado en la atmósfera, tanto en la duración de exposiciones adversas como en la extensión de las violaciones a los estándares mexicanos de calidad del aire.

Después de la introducción del MTBE, se ha observado que la concentración máxima de formaldehído cambió del mediodía a la mañana. Sin embargo, entre las 10:00 y las 15:00 horas la actividad fotoquímica se redujo. El nivel máximo de ozono no ha variado significativamente entre las 10 y las 15 horas, pero en la mañana y la noche los niveles han aumentado.

La gasolina se ha reformulado en diversas ocasiones para reducir el contenido de azufre y de compuestos altamente reactivos en la atmósfe-

ra. A partir de 1990, se empezó a vender gasolina sin plomo, lo cual era necesario para cumplir con el Decreto que requería que a partir de 1991 todos los automóviles nuevos que se vendieran en México debían contar con convertidor catalítico (el plomo destruye rápidamente su efectividad al envenenarlo). Este dispositivo reduce drásticamente la emisión por el escape de monóxido de carbono (CO), de óxidos de nitrógeno (NO_x) y de hidrocarburos (HC) sin quemar.

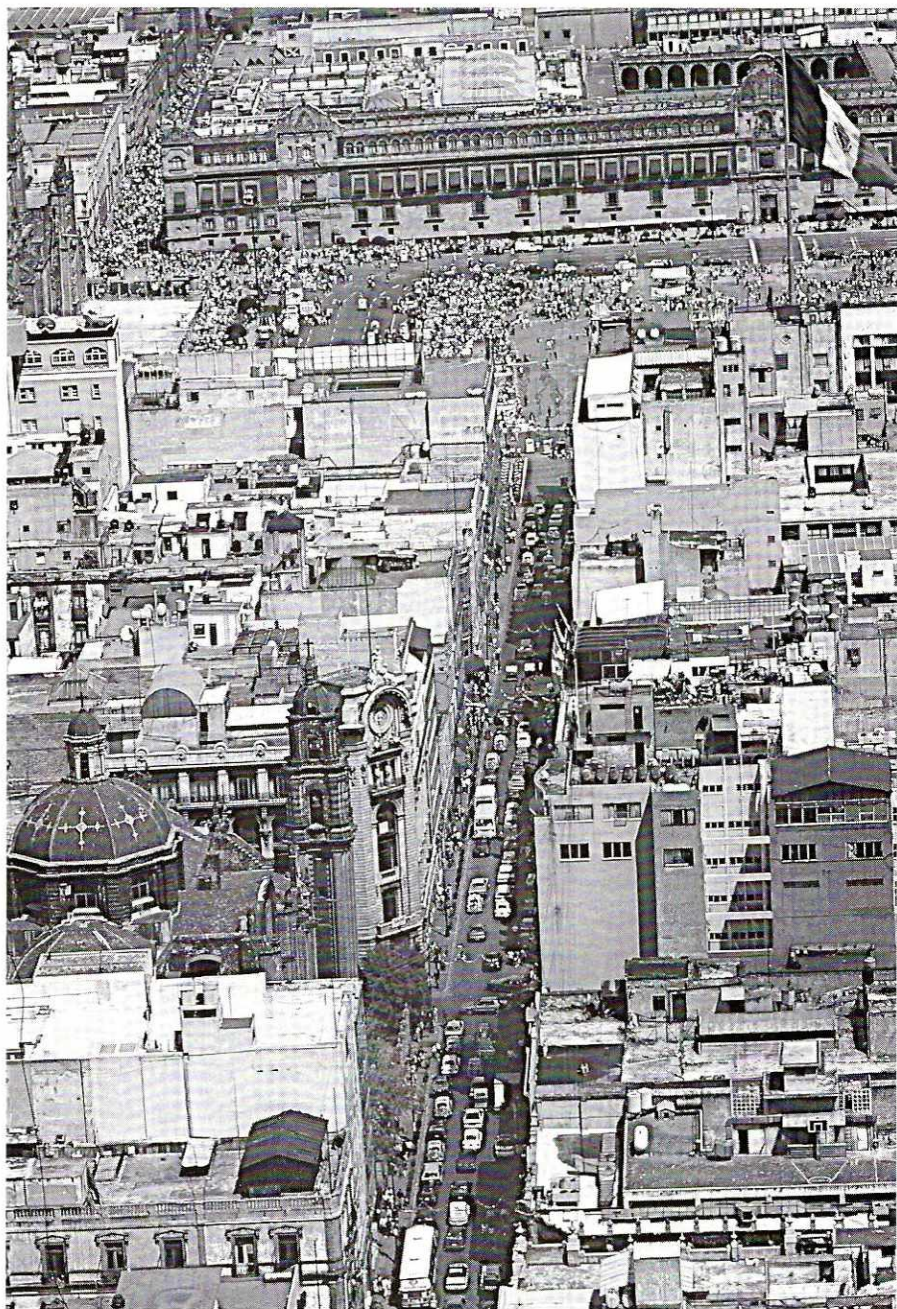
La implantación de convertidores catalíticos de tres vías en todos los vehículos a partir de los modelos 1991, fue otro avance importante en la lucha contra la contaminación, ya que estos dispositivos reducen las emisiones de contaminantes a la atmósfera en más de 90 por ciento.

Se estima que del total del parque vehicular que circula en ésta ciudad todavía existen más de 2 millones de vehículos que aún no cuentan con convertidor catalítico, aunque de acuerdo con las normas establecidas por el Instituto Nacional de Ecología, a partir de 1993 todos los vehículos nuevos lo deben traer como equipo de fábrica.

En 1990, Pemex introdujo al mercado la gasolina Magna Sin que es una gasolina con alto octanaje y sin plomo. Este combustible es especial para modelos 1991 y posteriores que tienen incorporados un convertidor catalítico. La calidad de esta gasolina es similar a la que se consume en Estados Unidos bajo el nombre de Unleaded. Con el uso de Magna Sin y del convertidor catalítico, las emisiones contaminantes reducen más de 90%. La gasolina con plomo (Nova) se dejó de vender en la ZMCM en 1995.⁵

A partir de 1993 el gobierno ha impulsado la producción de automóviles con el equipo que permite atrapar los vapores de la gasolina cuando ésta se les despacha. También se ha concluido el programa de instalación de membranas internas flotantes en los 47 tanques de almacenamiento de los diferentes productos petrolíferos que se comercializan en la ZMCM, y de sistemas para la recuperación de vapores en todas las terminales de acopio y distribución de gasolina. Con esto se evita la pérdida de gasolina por evaporación a la atmósfera hasta en un 98 por ciento.

⁵ Bauer, M. y Quintanilla, J., (1995), pp. 191-212.



El diesel también debe cumplir con la normatividad en cuanto al contenido de azufre. A partir de 1986 se inicia el proceso para reducir el contenido de azufre en el diesel y para lograr una formulación que emitiere bajas cantidades de partículas y humos. En 1993 se introduce el Diesel Sin, con un contenido máximo de azufre de 0.05% y con limitaciones en su contenido de compuestos aromáticos y en el índice de cetano. Los vehículos a diesel son una de las principales fuentes de contaminación del aire, ya que son los que más kilometraje recorren en la ciudad y emiten considerables cantidades de *partículas suspendidas* respirables y bióxido de nitrógeno (NO₂).

En la Ciudad de México la normas en vigor obligan a que los vehículos nuevos utilicen combustibles más limpios y a que se sometan a pruebas de emisiones más severas. También tratan de lograr que las flotillas utilicen vehículos de combustión más limpia e incentivan el uso de combustibles alternativos.

Actualmente el Gobierno de la Ciudad de México ha emprendido varias acciones para controlar las emisiones de los camiones de diesel nuevos y de los existentes, acciones que se presentaron como prioritarias cuando el gobierno anterior cambió por uno democrático en el que la participación ciudadana ha intervenido en el diseño de políticas públicas que permitan resolver en el corto plazo el problema de la calidad del aire.

Para iniciar un programa que contribuya al mejoramiento de la calidad del aire, el Gobierno de la Ciudad de México se planteó la necesidad de legislar sobre el reordenamiento del transporte de la ciudad y, para tal efecto, envió a la Asamblea Legislativa del Distrito Federal la incitativa de reformas a la Ley de Transporte del Distrito Federal, la cual entró en vigor a partir del 20 de mayo de 1999.

Esta ley sienta las bases para lograr la gobernabilidad del sector, otorgar certeza jurídica a los prestadores del servicio de transporte en todas sus modalidades y aplicar cabalmente la normatividad vigente. En el marco de esta Ley se emitieron tres reglamentos: Reglamento para el Servicio de Transporte de Pasajeros en el Distrito Federal, Reglamento para el Transporte de Carga en el Distrito Federal y Reglamento para el Servicio Públi-

co de Taxi en el Distrito Federal; éste último se emitió por primera vez, regulando este medio de transporte de manera particular.

Alrededor de 30 mil vehículos que funcionan con combustibles alternativos ya están circulando en el D.F. y se espera que el número crezca en los próximos años como parte del esfuerzo de las autoridades para lograr una mejor calidad del aire.

La disponibilidad de combustibles derivados de los hidrocarburos, petróleo y gas natural, ha permitido y favorecido el crecimiento de las actividades económicas en la Ciudad de México, tanto en el aspecto industrial como en el transporte y en la expansión urbana, y es de esperar que el consumo de combustibles fósiles se incremente conforme la situación económica de la región mejore y la población demande más y mejores satisfactores. ☞

Combustibles alternativos



Los combustibles alternativos se pueden definir como “aquellos combustibles que esencialmente no son petróleo entre ellos se incluyen el metanol, el etanol, el gas natural, el gas LP, el hidrógeno, la electricidad y otros líquidos derivados del carbón y de materiales biológicos”.⁶

El creciente interés en este tipo de combustibles se ha dado por la preocupación de que el petróleo se acabará algún día no muy lejano y porque ofrecen una opción para reducir la contaminación atmosférica.

Los combustibles convencionales, como la gasolina o el diesel, son mezclas de muchos hidrocarburos que resultan tóxicos o reactivos para el ambiente y forman *smog* y ozono. Los combustibles alternativos, debido a que se componen de una mezcla de unos pocos compuestos, son inherentemente más limpios en su combustión y producen menores cantidades de contaminantes que los combustibles convencionales.

Dentro de este libro examinaremos los combustibles alternativos que estarán disponibles como combustibles para el transporte en los próximos años, con especial énfasis en el gas natural porque ya se está usando en esta ciudad. Otros combustibles que se describirán son el gas LP y los alcoholes (metanol y etanol). Los vehículos eléctricos, los de celda de combustible y los que utilizan otros líquidos derivados del carbón y de materiales biológicos resultan muy promisorios, pero la tecnología

⁶ Energy Polycy Act, EPACT, 1992.

actual y los altos precios son considerados los mayores obstáculos para su uso masivo en un futuro próximo. Se incluye también información sobre los vehículos eléctricos, porque éstos se pueden utilizar en algunas aplicaciones limitadas.

CARACTERÍSTICAS

La Tabla I resume las características operativas de los combustibles alternativos y de los vehículos que los usan en relación con la gasolina. Como se muestra en dicha Tabla, los combustibles alternativos que examinamos poseen una menor cantidad de energía por litro que la gasolina. Esto hace que los Vehículos de Combustibles Alternativos (VCA) deban tener tanques de combustible mayores, o que deban recargar más frecuentemente para poder viajar la misma distancia que recorrerían con gasolina.

EMISIONES

El uso de combustibles alternativos genera una menor cantidad de emisiones de escape que el uso de gasolina. Las emisiones de estos combustibles tienen menor tendencia a formar ozono y son menos cancerígenas que una cantidad equivalente de emisiones de la gasolina.

Las pérdidas evaporativas de los combustibles alternativos son menores que las de la gasolina, y la tendencia de los vapores liberados a formar ozono es menor que la tendencia de los vapores de la gasolina, aún si la gasolina es reformulada. Otra ventaja de los combustibles alternativos es que no contienen benceno, ni ningún otro cancerígeno, y en sí no resultan cancerígenos.

Un problema de todos los combustibles alternativos es que generan aldehídos, pero solo los alcoholes generan más aldehídos que la gasolina. Este problema puede tener un efecto significativo en la incidencia del cáncer. Pero, sin tomar en cuenta el mayor contenido de aldehídos producido por los combustibles alcohólicos, no se espera que la concentración de aldehídos en el aire se incremente notoriamente.

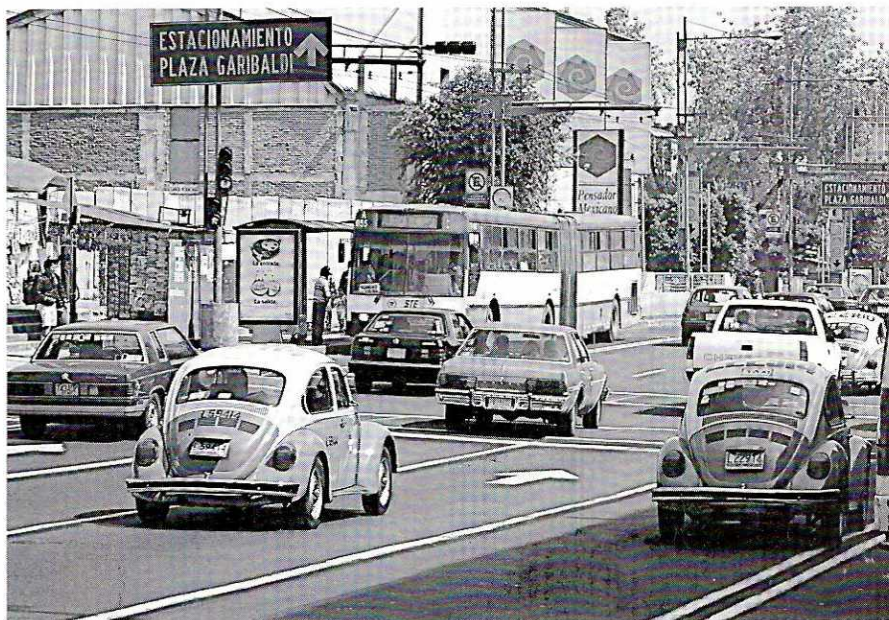


Tabla I Características de los combustibles alternativos

	GASOLINA	GÁS NATURAL	GÁS LP	METANOL (M85)	ETANOL (E85)	ELECTRICIDAD
Obtención	Petróleo. Dependencia con el extranjero	Petróleo. Dependencia con el extranjero	De gas y de crudo	Del gas natural	Principalmente de productos agrícolas	De combustibles fósiles y fuentes renovables.
Costo en relación con la gasolina.	-	35%	50%	130 a 170%	120 a 145% al mayoreo	25 a 50%
Densidad de energía.	1.00 GNL: 0.64 en volumen	GNC: 0.25 en volumen ¹	0.73 en volumen	0.57 en volumen	0.91 en volumen	0.0025 en volumen
Índice de octano.	87 a 93	130	104	100	100	-
Temperatura de ignición y luminosidad de la flama.	~260° C. Flama visible	~540° C. Flama visible azul	~480° C. Flama visible azul/naranja	~465° C. M100: flama invisible. M85: flama poco visible	~425° C. Flama azul pálida	-
Límites de inflamabilidad (% en volumen).	1.5-7.6	5.0-15.0	2.2-9.5	2-34	2-18	-
Derrames y fugas.	Líquido que forma charcos en la tierra.	El GNC es más ligero que el aire, y se dispersa rápidamente. El GNL primero se deposita y luego se evapora.	Como líquido primero se deposita y luego se evapora como un gas más pesado que el aire.	Líquido que forma charcos en la tierra, el metanol es soluble en agua y no se le extrae fácilmente. Biodegradable.	Líquido que forma charcos en la tierra. El metanol es soluble en agua y no se le extrae fácilmente. Biodegradable.	-
Toxicidad	Tóxico	No tóxico	No tóxico	Tóxico	Tóxico ²	-

¹ A 3000 psig.

² El etanol grado combustible contiene aditivos tóxicos.

VEHÍCULOS DE COMBUSTIBLE ALTERNATIVO

Un vehículo de combustible alternativo (vca) es cualquiera de los siguientes:

1. el que usa un combustible alternativo;
2. el que es convertido para usar un combustible alternativo;
3. aquel que reemplaza su fuente de poder por una fuente que utiliza un combustible alternativo.

Los vca, con excepción de los vehículos eléctricos, funcionan igual que los vehículos convencionales: con un motor de combustión interna. La principal diferencia radica en el sistema de combustible. Los vehículos vca pueden ser diseñados para operar con combustible alternativo en cuatro formas diferentes: dedicado, bicomcombustible, flexible o dual. Un vehículo dedicado funciona solamente con un combustible. El bicomcombustible posee los dos sistemas y puede funcionar con cualquiera de los dos con el simple movimiento de un interruptor. Los vehículos flexibles operan con una mezcla de combustible abastecida por un sistema de combustible. Los duales tienen dos sistemas de combustible y funcionan con los dos combustibles simultáneamente. Generalmente el tipo de combustible es el que dicta la configuración del sistema de combustible. Los vehículos a gas natural son dedicados, bicomcombustibles o duales. Los de propano pueden ser dedicados o bicomcombustibles.

Los vehículos pueden funcionar con etanol o metanol puros pero usualmente son mezclados con gasolina para mejorar el funcionamiento de encendido en frío.

Los vehículos bicomcombustibles y los duales ofrecen una mayor flexibilidad operativa que los vehículos dedicados a un combustible porque no dependen de uno solo. Pero, debido a que no están optimizados para usar un solo combustible, las emisiones o la potencia pueden verse afectadas. Además, el espacio para los pasajeros o para la carga puede disminuir, dependiendo del tamaño del tanque de combustible adicional y de su forma. En las siguientes secciones daremos una mirada a las diferencias en la operación y el mantenimiento de los vca en comparación con los vehículos que operan con combustibles convencionales. La Tabla II muestra un resumen de tales características.

Tabla II Características de los VCA

CRITERIO	GASOLINA	GAS NATURAL	GAS LP	METANOL (M85)	ETANOL (E85)	ELECTRICIDAD
Incremento del costo de los vehículos VCA en relación con los vehículos a gasolina (en dólares).	Estándar	Conversión: \$2000-5000 Producción del equipo: \$2000	Conversión: \$1500-2500 Producción del equipo: \$300-1000	Conversión: no se recomienda Producción del equipo: \$200-\$400	Conversión: no se recomienda Producción del equipo: \$200-\$400	Conversión: \$12,000 Producción del equipo: desconocido
Potencia del vehículo	Estándar	Pérdida del 10 -15%. Máquina optimizada: ganancia de 10%	Pérdida de 5 -10%. Máquina optimizada: igual a la gasolina	Ganancia de 5 -10%	Ganancia del 5 -10%	Puede superar la potencia de los vehículos a gasolina.
Economía de combustible	Estándar	GNC: 75 a 85% menos LNG: 25 a 35% menos	De 15 a 25% menos	De 40 a 50% menos	De 25 a 35% menos	-
Volumen del tanque para obtener el mismo kilometraje que con gasolina.	Estándar	GNC: de 4 a 6 veces más grande. GNL: 1.5 veces más grande	1.25 veces más grande	2 veces más grande	1.5 veces más grande	-
Problemas inherentes.	Estándar	Capacidad de recorrido limitada	Capacidad de recorrido limitada	Capacidad de recorrido limitada y problemas de encendido a menos 15°C	Capacidad de recorrido limitada y problemas de encendido a menos 15°C	Capacidad de recorrido y velocidad limitadas
Tiempo de recarga del combustible	Estándar 5 min.	Llenado rápido: CNG: 8 min. Llenado normal: CNG: 3-5 hr. LNG: 7.5min.	6.25 min.	10 min.	7.5 min.	Actual: 8 hrs. En el futuro: 6 min.

Los vehículos de combustible alternativo son producidos tanto por fabricantes de equipo original, como por empresas que acondicionan los vehículos existentes y los nuevos para que funcionen con combustibles alternativos.

La mayoría de los vehículos que funcionan con gasolina o diesel pueden adaptarse para funcionar con gas natural o LP. En especial aquellos que tienen el espacio adecuado y la capacidad de carga para soportar tanques de almacenamiento extras para aumentar el kilometraje.⁷

Generalmente, los vehículos fabricados con equipo original funcionan mejor que los adaptados (incluyendo menores emisiones y una mayor durabilidad), porque los vehículos fabricados de ese modo pueden ser optimizados con las especificaciones necesarias para las características especiales del combustible alternativo.⁸

En general, los vehículos de combustible alternativo cuestan más que los vehículos convencionales, debido al limitado número de vehículos que se fabrican y por los componentes adicionales que deben ser agregados (como cilindros de almacenamiento o tanques de combustible extras). Esto irá cambiando en la medida en que se desarrolle la producción en masa de vehículos de combustible alternativo.

Las flotas de vehículos apropiadas para usar combustibles alternativos son las que agrupan 20 o más unidades en un solo sitio, y que son capaces de cargar combustible en una central. Las flotillas de transporte público y las federales necesitan de inmediato una gran cantidad de vca confiables, con buen funcionamiento, a precio competitivo y los necesitan pronto.

Los incentivos económicos se pueden ofrecer en principio a los vehículos usados en negocios o flotas privadas y a los que se usan en el sector público. Tales incentivos pueden incluir deducciones de impuestos al comprar vehículos alternativos o al convertir los tradicionales en vca y rebajas en la compra del combustible.

⁷ Department of Transportation's National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA, 1999.

⁸ California Energy Commission, 1995.

Hasta ahora, la investigación y desarrollo de los vehículos de combustible alternativo se ha centrado especialmente en mejorar su competitividad con los vehículos convencionales. Los puntos que aún deben mejorarse son: el costo del vehículo, la durabilidad, el servicio, la velocidad, el funcionamiento y la seguridad.

GAS NATURAL

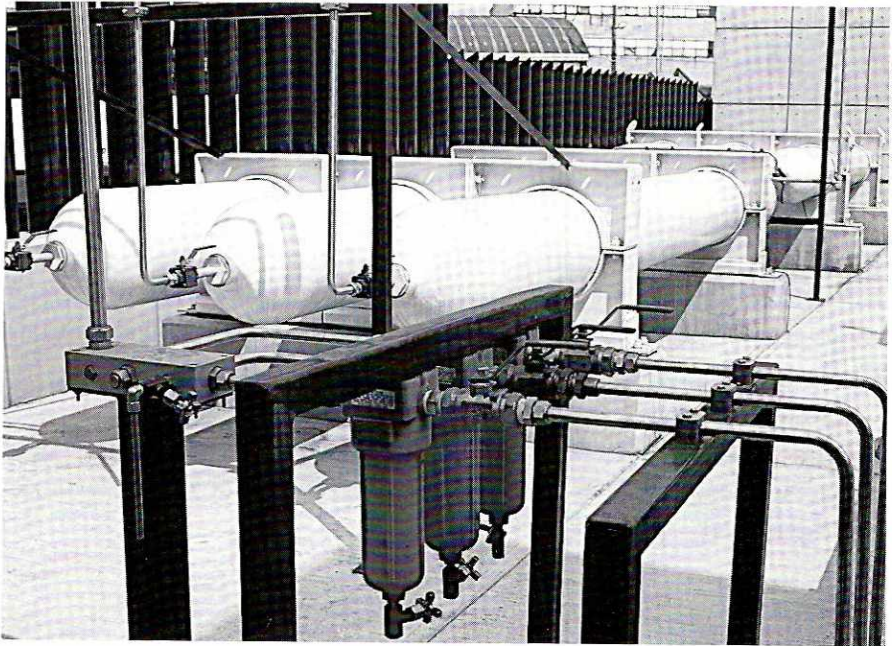
El gas natural se utilizó por primera vez como combustible para vehículos de motor en 1930. Luego quedó en el olvido porque la gasolina resultó ser más accesible y con mejor funcionamiento. Sin embargo, debido a los beneficios ambientales y económicos, el uso del gas natural se ha extendido por todo el mundo. En la actualidad alrededor de un millón de vehículos funcionan con gas natural en el planeta⁹ en países como Argentina, Italia, Rusia, Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda y Venezuela por lo que la comercialización de los vehículos que usan este combustible ya es una realidad.¹⁰

El gas natural es un combustible limpio, seguro y barato que se produce en México. Es considerado por la propia Secretaría de Energía como “la tercera fuente de energía primaria en el mundo y la más importante para el siglo XXI”, y es más barato (casi la mitad que el litro de gasolina) y es menos contaminante que la misma gasolina y el gas LP (90%), por lo cual se perfila como la opción viable a largo plazo y así lo demuestra su creciente consumo en los países desarrollados.

Los coches, las camionetas, los camiones y los autobuses de pasajeros pueden funcionar satisfactoriamente con gas natural ya que cumple con las especificaciones en cuanto a emisiones, sin necesidad de convertidor catalítico, y ofrece una economía de combustible comparable a la de la gasolina.

⁹ En 1997 se reportó que por lo menos 74 mil vehículos a GNC estarían funcionando en EU. Estimaciones indican que para el 2010 circularán más de diez millones. *The Natural Gas Vehicle Yearbook*, 1997.

¹⁰ Ecomex, 1998.



Al usar el gas natural como combustible para automóviles no hay teorías que probar o tecnologías por desarrollar. El problema principal es que los costos de los vehículos que funcionan con gas natural son superiores a los de los que funcionan con gasolina pero, a largo plazo, resultan inferiores porque tanto los costos del combustible como los gastos de mantenimiento son menores. Se debe, por supuesto, continuar mejorando este tipo de vehículos para lograr un rendimiento promedio de 600 kilómetros y encontrar un sitio más seguro para instalar los cilindros del gas.¹¹

Al utilizar gas natural como combustible para vehículos, se diversifica el consumo de los energéticos del país, con lo que se aprovechan energéticos que usualmente son quemados.

Debido a todas estas razones, los vehículos que funcionan con gas natural son los únicos que utilizan un combustible alternativo aceptable que se podrán adquirir en cantidades adecuadas en un futuro próximo. Es cierto que estos vehículos no pueden usar la infraestructura existente en las gasolineras (a menos que añadan bombas para cargar gas natural), pero esto resulta ser un problema menor.

En algunos países como Argentina, España y Estados Unidos, comprar un vehículo de gas natural (VGN) es tan fácil como comprar uno convencional y los fabricantes y los gobiernos ofrecen incentivos para favorecer su adquisición.

OBTENCIÓN

El gas natural es un hidrocarburo que abunda en la naturaleza. Es el combustible fósil más abundante después de la hulla, se obtiene de las reservas subterráneas y no requiere complicados procesos de refinación.

En el mundo existen reservas de gas natural probadas por 157 mil billones de metros cúbicos, lo cual equivale a un abasto de gas (derivado

¹¹ Air Surrey, 1998.

del ritmo actual de consumo) para 62 años. Esta cifra contrasta con los 43 años de reservas internacionales probadas de crudo, por lo que el gas podría convertirse en el principal combustible del próximo milenio.¹²

A nivel mundial, el consumo de gas natural ha tenido un crecimiento anual de 2.4% entre 1980 y 1998 (2 mil 344 millones de metros cúbicos) y este consumo va en aumento, por lo que la Agencia Internacional de Energía (AIE) prevé que será el hidrocarburo de mayor consumo en los próximos 25 años, con un incremento en su demanda de aproximadamente 3.3% anual hasta el año 2020, contra un crecimiento esperado de tan sólo 2.1% para el petróleo y 2.2% para el carbón.¹³

El gas natural se ofrece como combustible para vehículos en dos presentaciones: como gas natural comprimido (GNC) o como gas natural licuado (GNL).

Para producir gas natural comprimido, el gas debe ser comprimido a 2000-3600 libras por pulgada cuadrada (psi) en cilindros especialmente diseñados y construidos. Para obtener gas natural licuado, el gas debe ser enfriado a -162°C y almacenado en tanques aislados.

CARACTERÍSTICAS

El gas natural es un gas incoloro, inodoro y mucho más ligero que el aire. Se compone básicamente de metano, CH₄ (entre 85 y 95%); el resto son hidrocarburos gaseosos (etano, propano y butano), nitrógeno (*gas inerte*) e impurezas como bióxido de carbono y cantidades muy pequeñas de vapor de agua. La composición típica del gas natural de se muestra en la siguiente tabla.

¹² Secretaría de Energía, 1999. Reporte publicado el lunes 18 de octubre de 1999 en *La Jornada*, p.31.

¹³ *Idem*.

Tabla III. Composición del gas natural

COMPUESTO	GAS BRUTO DE LA TUBERÍA
Metano	81.3-97.5%
Etano	2.0-7.0%
Propano	0.27-3.00%
Iso-butano	0.03-0.32%
N-butano	0.01-0.25%
N-pentano	0.01-0.90%
Hexano	0.02-0.17%
Nitrógeno	0.26-10.0%
Oxígeno	0-10 ppm
Bióxido de carbono	0.47-1.5%

A temperatura y presión ambiente es, obviamente, un gas y, como buen gas, tiene una muy baja *densidad de energía* en comparación con otros combustibles. En promedio se necesitan 0.85 m³ de gas natural para conseguir la misma energía que produce un litro de gasolina, y por eso se debe usar comprimido o licuado para incrementar su densidad de energía volumétrica.

El gas natural tiene un octanaje mayor que el de la gasolina, y ofrece buenas características de funcionamiento, aunque presenta algunos problemas de encendido en frío. Su elevado octanaje permite usarlo bajo mayores relaciones de compresión de las que se pueden usar con la gasolina, y una mayor relación de compresión permite una mayor potencia y eficiencia del combustible. Sin embargo, bajo la misma relación de compresión, la cantidad de gas natural que puede ser quemada en la mezcla aire/combustible en cada golpe del pistón es de 10 a 15% menor que con la gasolina, lo que significa que se da una pérdida de 10-15% en la potencia de la máquina. Para compensar esta pérdida se puede aumentar la relación de compresión, con lo cual se consigue mayor potencia y eficiencia de combustible.¹⁴

El rendimiento total depende de la cantidad de gas natural almacenado en el vehículo.

¹⁴ Energy Information Administration, 1994.

EMISIONES

El gas natural es 40% menos pesado que el aire. Al entrar en contacto con la atmósfera se eleva de inmediato y se disipa por lo que, en caso de fuga, no daña el medio ambiente. Esto no sucede de la misma manera con el gas LP o con la gasolina.

Las emisiones que producen los vehículos al usar gas natural como combustible están directamente relacionadas con la cantidad de metano en el gas: cuanto mayor sea la cantidad de hidrocarburos diferentes al metano, mayor será la cantidad de emisiones similares a las que produce la gasolina.

El metano es el combustible fósil que ofrece la combustión más limpia. En comparación con los vehículos que funcionan con gasolina, los motores que funcionan con gas natural reducen en 90% las emisiones de hidrocarburos y de monóxido de carbono, en 30% las de óxidos de nitrógeno y no generan partículas, plomo ni óxidos de azufre (SO_x).

El uso de este combustible reduce en más de 60% la emisión de gases que contribuyen al efecto invernadero y sus emisiones generan 90% menos ozono en la atmósfera que las emisiones de la gasolina.

En el caso de los vehículos pesados que funcionan con diesel, el uso de gas natural reduce las emisiones de hidrocarburos en 30%, las de NO_x en 21% y prácticamente elimina la generación de bióxido de azufre y de partículas.

Sin embargo, los motores de los VGN están ajustados para usar gas con una determinada cantidad de metano, por lo que si su concentración sube o baja de determinado límite variará la relación aire/combustible y aumentarán las emisiones de óxidos de nitrógeno.

El gas natural tiende a emitir altos niveles de NO_x (factor crítico en el control del ozono) y de metano sin quemar (con efectos en el calentamiento global). Sin embargo, ambas tendencias parecen ser controlables con los adelantos tecnológicos actuales (como convertidores catalíticos).

El metano es un gas con fuerte impacto en el efecto invernadero. La concentración atmosférica normal de metano es de cinco partes por mil de bióxido de carbono (CO_2) pero, no obstante, resulta de 10 a 30 veces

más potente que el CO₂. Las emisiones de metano sin quemar, todavía no se regulan en la Ciudad de México, ya que aún no existe un límite para las emisiones de hidrocarburos totales (HCT). Las investigaciones para solucionar este problema, se han enfocado hacia el uso de catalizadores específicos para el metano, pero faltan varios años para que estos aparezcan en el mercado.

Las unidades que funcionan con gas natural están exentas del programa “Hoy no circula”.

RIESGOS A LA SALUD¹⁵

El gas natural no es tóxico, cancerígeno ni corrosivo. Sin embargo, puede provocar asfixia si llega a desplazar suficiente oxígeno del aire. Su temperatura de ignición es alta, pero es más ligero que el aire (por lo que si llega a ser liberado o se da una fuga accidental se dispersa rápidamente) y tiene un intervalo de inflamabilidad reducido. Por todo esto resulta ser inherentemente seguro en comparación con otros combustibles. Además, este gas no puede contaminar el agua o el suelo, y a diferencia de otros combustibles que son más pesados que el aire y se pueden depositar formando charcos, el gas natural siempre se va hacia la atmósfera. Al gas natural se le agrega un odorante distintivo (mercaptano) que permite que sea detectado por el olfato hasta una concentración de 0.5% en el aire, muy por debajo de los límites en los cuales podría provocar somnolencia por inhalación y bien por debajo de la concentración más baja en la cual se podría dar su combustión.¹⁶

Debido a que muchos operadores cargan combustible en sitios cerrados, se deben tomar algunas precauciones (como instalar sistemas de ventilación) porque el gas natural se puede concentrar en áreas encerradas.

¹⁵ California Energy Commission, 1995.

¹⁶ SAE Handbook, 1984.

SEGURIDAD

El gas natural es el combustible más seguro que se puede conseguir. Esto se debe tanto a la fortaleza de los componentes del sistema de combustible, como a las características inherentes del mismo.

Los tanques presurizados han sido diseñados para resistir impactos severos y elevadas temperaturas externas, y son tan seguros como los tanques de gasolina.

Por ser más ligero que el aire, tiende a diluirse rápidamente en la atmósfera, al contrario de los vapores de la gasolina y del gas licuado de petróleo (gas LP), que tienden a acumularse sobre el suelo porque son más pesados.

El gas natural necesita estar en una concentración mayor en el aire y a una temperatura más elevada que la que requiere la gasolina para encenderse. Además, en caso de una fuga, el gas natural empieza a arder a una temperatura de 650°C y con una concentración en el aire de entre 5 y 15%, y la gasolina se inflama a tan sólo 278°C y con una concentración de 1.5% en el aire. Por otro lado, los odorantes usados en el gas natural permiten su detección antes de que se alcance el límite inferior de inflamabilidad.

La aproximación a un vehículo de gas natural que está sufriendo una fuga o incendiándose sólo debe hacerse con la ropa adecuada así como con aparatos para respirar. Si no se cuenta con tales accesorios, se debe crear una zona de seguridad con señales de advertencia como conos (¡no utilice señales de fuego o luces!) y comunicarse con la unidad de urgencias apropiada. En la mayoría de los casos, cuando un vehículo cargado con este combustible alternativo choca no se requiere llamar a especialistas en materiales peligrosos.

DISPONIBILIDAD Y PRECIO¹⁷

En general, la producción de gas natural en México es abundante y la red para su transporte y distribución es extensa y adecuada. Aún bajo estimaciones conservadoras, se calcula que las reservas de gas son suficientes para cubrir la demanda actual durante otros 60 o 70 años¹⁸, esto sin contar los volúmenes que se agreguen como resultado de la exploración y explotación de nuevos yacimientos. Las reservas probadas de México ascienden a 67.7 billones de pies cúbicos diarios (decimocuarto lugar a nivel mundial), y la relación reservas-producción de gas natural en México se ubica en 55 años.¹⁹

Según Pemex, México pasó de importar 125.1 millones de pies cúbicos diarios en 1994, a 152.7 millones en 1999, y las exportaciones pasaron de 19.2 a 135.5 millones de pies cúbicos diarios. Como se puede observar, actualmente el gas natural se importa marginalmente, aunque es posible que en el futuro la dependencia sea más fuerte.

Según estimaciones de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), hoy en día la demanda de gas natural por sector se ubica en 35% para el petrolero, 30% para los sectores eléctrico e industrial respectivamente, 4% para los sectores residencial y de servicios y 1% para el vehicular; sin embargo, para los próximos 10 años se espera que esta tendencia cambie y sea el sector eléctrico el principal consumidor.²⁰

El incremento del consumo de gas natural y los descubrimientos en el área de Tabasco dieron lugar a la construcción de los gasoductos L1 y L2, de Ciudad Pemex a la Ciudad de México, en 1981, con una extensión de 80 kilómetros cada uno y una capacidad nominal de 220 millones de pies cúbicos diarios. Para ese mismo año la denominada Red de Gas del Valle de México contaba ya con una longitud de 402 kilómetros.

¹⁷ Energy Commission, 1995.

¹⁸ Otros estudios indican que las reservas son de 36 años.

¹⁹ *La Jornada*, 19 de enero del 2000, pág. 20.

²⁰ *La Jornada*, 18 de enero del 2000, pág. 11.





En 1999 se abrieron dos gaseras en el DF, que están destinadas a abastecer las flotillas de microbuses y camiones.

El costo del gas natural es de aproximadamente tres cuartas partes del de la gasolina Magna Sin.

VEHÍCULOS A GAS NATURAL

Un vehículo a gas natural (VGN) es un vehículo que funciona con gas natural comprimido (GNC) o con gas natural licuado (GNL). Las diferencias principales entre un VGN y uno a gasolina se dan en el tanque de combustible y en el sistema de admisión. Los VGN guardan el gas en cilindros a alta presión, y desde allí el gas viaja por una tubería de combustible a alta presión en dirección al motor.

Estos vehículos pueden ser dedicados a funcionar sólo con gas natural, o para ser duales o bicomcombustibles. Generalmente, los VGN dedicados para un solo combustible muestran un mejor funcionamiento y menores emisiones que los VGN bicomcombustibles o duales, porque el sistema de combustible se puede ajustar para tomar ventaja de las características de un sólo combustible.

El rendimiento de estos vehículos depende del volumen del cilindro de combustible, del tamaño del motor y de los hábitos de manejo. En promedio, un VGN rinde de 190 a 290 kilómetros con un tanque lleno. Los VGN mixtos permiten un mayor rendimiento porque también funcionan con gasolina.

En los VGN dedicados, el espacio en la cajuela no resulta muy afectado, pero en los vehículos bicomcombustibles, el tanque de gasolina se deja en su lugar por lo que el espacio disponible en la cajuela se reduce por la instalación de los cilindros extras.

La conversión de un vehículo convencional para que funcione con gas natural involucra la instalación de un sistema de combustible especial y de tanques de almacenamiento para el gas.

Antes de 1985, la mayoría de los vehículos a gasolina tenían motores con carburador, y los sistemas de conversión a VGN para este tipo de motores, no ofrecen un mecanismo que permita el ajuste del sistema de con-



versión para lograr el funcionamiento óptimo de la máquina y las menores emisiones posibles. Sin embargo, con el desarrollo de motores con inyección de gasolina y de motores electrónicamente computarizados con controles de las emisiones que permiten ajustar la relación aire/combustible y la puesta a punto del encendido (en las máquinas de ignición por chispa), se puede lograr un mejor funcionamiento y emisiones óptimas.

Las desventajas de la conversión son que las emisiones pueden no resultar tan bajas y que la potencia del motor resulte menor porque la máquina no fue diseñada especialmente para funcionar con gas natural.

Los costos para convertir un vehículo para operar con gas natural dependen de varios factores, como:

el sistema de conversión seleccionado (para carburador o para inyección de combustible); el tipo de vehículo a ser convertido y la facilidad de la instalación; la cantidad de combustible que se desea almacenar a bordo y el tipo de tanque, y la cantidad de trabajo que se requiere para la conversión.

Los costos de la conversión a nivel internacional están entre los 1500 y los 5000 dólares por vehículo.²¹

No obstante estas desventajas, el costo de las unidades convertidas se reduce con el uso, porque las bujías y el aceite presentan mayor vida útil al usar gas natural.

En general, los motores que usan gas natural son más limpios y duran más que los que funcionan con gasolina o diesel, porque presentan menos problemas por formación de depósitos de carbón en las bujías, en el aceite y en la cámara de combustión. Debido a esto, las máquinas de gas natural necesitan menos cambios de aceite y mantenimiento y las piezas del motor y las del sistema de combustible continúan desgantándose a ritmo normal.²²

²¹ En México el costo oficial es de 27 000 pesos (Programa de Gas Natural, diciembre de 1998, Dirección General de Proyectos Ambientales, Gobierno del Distrito Federal).

²² *RP Publishing Inc.*, 1995.

Mientras el agua que contiene el gas natural permanezca como vapor, no se presentan problemas de almacenamiento o de abastecimiento. Sin embargo, el bióxido de carbono y las cantidades traza de sulfuro de hidrógeno presentes en el gas natural, pueden formar ácidos débiles en presencia de agua que provocan corrosión interna de los tanques de almacenamiento a alta presión, lo cual puede provocar fatiga y pérdida de la integridad del cilindro.

Trabajar con combustibles gaseosos bajo presión no debe resultar más peligroso que trabajar con un combustible líquido, pero es diferente. Para realizar su trabajo con seguridad, los técnicos y los conductores necesitan saber las diferencias que hay con los combustibles convencionales y cómo funciona el sistema.

Antes de trabajar con vehículos a gas natural, los mecánicos deben tomar un curso de entrenamiento para que trabajen con mayor seguridad y eficiencia, porque las propiedades de almacenaje y de combustión del gas natural son diferentes a las de la gasolina. Por otro lado, trabajar con sistemas de combustible de alta presión requiere herramientas especiales y precauciones de seguridad. El curso de entrenamiento para los mecánicos debe incluir los siguientes temas:

fundamentos de la combustión y el almacenaje del gas natural; beneficios ambientales y energéticos de los vGN; trabajos con conductos, conectores, reguladores y cilindros bajo altas presiones; revisión de los códigos de seguridad y de los estándares; inspecciones recomendadas de los cilindros; revisión de otros sistemas de conversión disponibles y de su operación, e instalación, calibración y resolución de problemas en el sistema de conversión.

Conocer bien estos pasos permitirá que los mecánicos respondan las preguntas de quienes manejarán los vGN por primera vez para que se sientan más cómodos usando un combustible diferente.

Lo que los usuarios deben saber es:

la descripción del sistema de combustible (sus componentes principales y sus funciones); la localización de los cilindros de almacenamiento y de las válvulas de emergencia; la operación del vGN; el uso de las bombas expendedoras de combustible; las limitaciones de los vGN dedicados;



las direcciones de los sitios para cargar combustible; las instrucciones por si el vehículo se queda sin combustible; la explicación de los puntos básicos del sistema de combustible; la revisión de los dispositivos de seguridad del vehículo, y la localización del apagado de emergencia.²³

GAS NATURAL COMPRIMIDO

La potencia, aceleración y velocidad de los vehículos que funcionan con gas natural comprimido (GNC) son comparables a las de los motores de combustión interna equivalentes (de hecho el octanaje es mayor al de la gasolina). El mayor problema de estos vehículos se relaciona con la energía que este combustible puede proporcionar en comparación con la gasolina.

Al comprimir el gas natural aumenta su contenido de energía pero, aún cuando se comprima bajo elevadas presiones, su densidad de energía continúa siendo considerablemente menor que la de un combustible líquido. A 2000 psi un galón de gas natural contiene 20 mil BTU (el contenido de energía de la gasolina es de 115 mil BTU por galón) y a 3 mil 600 psi sobrepasa los 30 mil BTU. A presiones mayores la energía aumenta, pero el peso del tanque ocasiona una baja en la eficiencia del combustible.

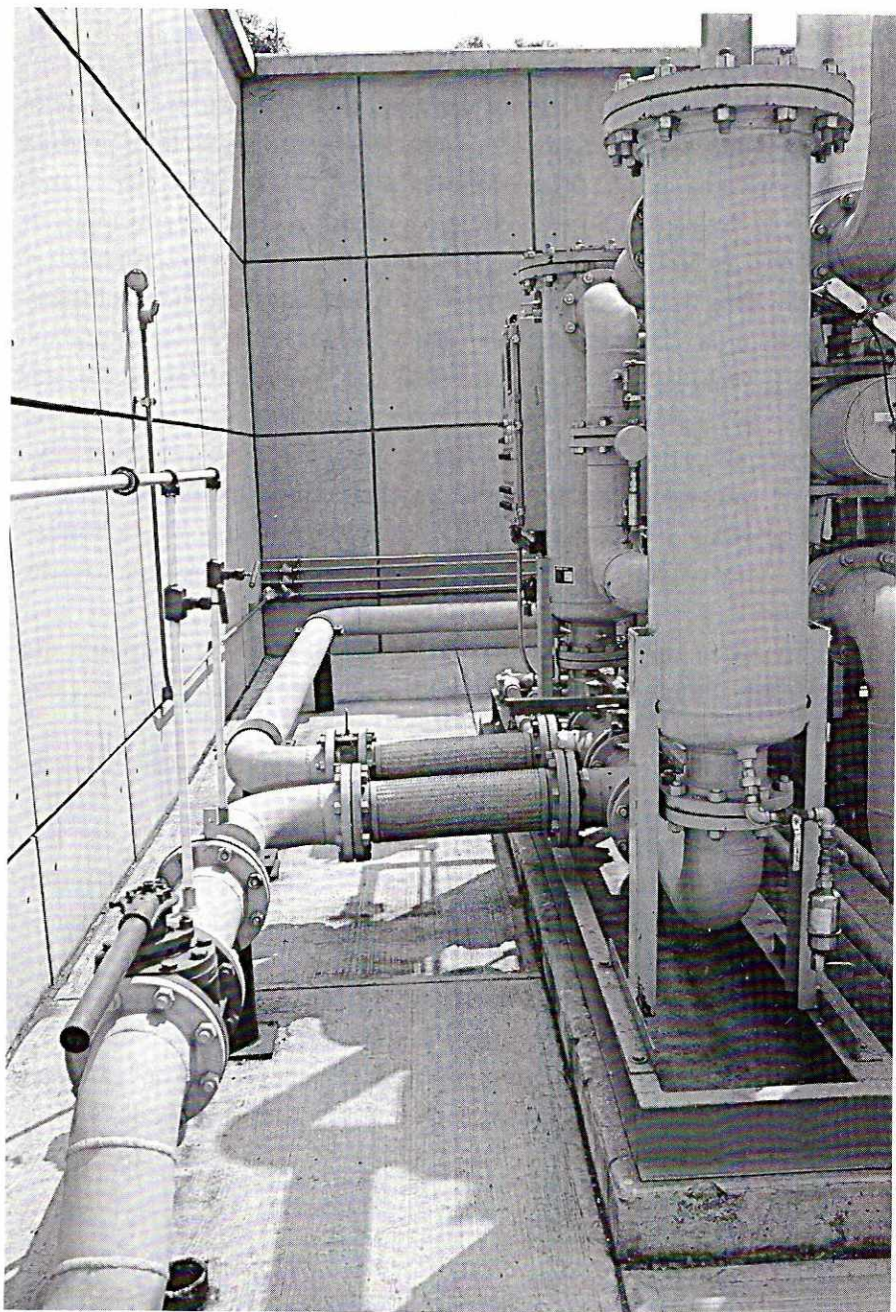
Tenemos entonces que para lograr que la eficiencia de los combustibles sea igual, un vehículo que funciona con GNC requiere que su tanque sea cuatro veces mayor al de un vehículo a gasolina para que pueda recorrer la misma distancia.

Los tanques de estos vehículos son pesados, de capacidad limitada y voluminosos, por lo que su rango de manejabilidad resulta sólo marginalmente aceptable.²⁴

La mayoría de los usuarios de vehículos GNC reportan que son confiables, que tienen mayores tiempos de vida útil y que los intervalos de tiempo

²³ California Energy Commission, 1995.

²⁴ Battelle Memorial Institute, 1995.



entre las afinaciones son mayores. Sin embargo, es importante que se cumplan las recomendaciones de mantenimiento de los fabricantes.

El uso de GNC genera la menor cantidad de emisiones de entre todos los combustibles alternativos. En comparación con la gasolina, produce 90% menos de ozono, de 50 a 90% menos de CO y de HC y 30% menos de NO_x.²⁵ En relación con un vehículo a diesel, reduce las emisiones de HC en 23%, de NO_x en 79%, de partículas en un 98% y no emite SO_x.²⁶

Los cilindros de almacenamiento del GNC son muy diferentes a los tanques de gasolina. El GNC es almacenado a alta presión (generalmente entre 3000 y 3600 psi) en cilindros resistentes. Los cilindros de GNC son diseñados para tener una vida útil de 15 años, pero requieren una inspección visual todos los años para detectar desgaste y corrosión y así evitar que se rompan. Además, estos cilindros deben pasar una serie de intensas pruebas de durabilidad, que incluyen simulación de choques, fuego directo y disparos de armas de fuego, antes de que sean aprobados para su uso.²⁷

Los vehículos que funcionan con GNC deben llevar una leyenda que los identifique tanto por razones de seguridad como para denotar su exención del programa "Hoy no circula".

Los componentes del sistema de combustible para vehículos a GNC en general incluyen:

1. Cilindros para almacenar el GNC.
2. Controles de la máquina para optimizar el funcionamiento del motor.
3. Válvula de admisión que se conecta con la bomba de GNC durante el cargado del combustible.
4. Tubería de combustible de acero inoxidable diseñada para aguantar una presión de 6000 psi y resistir la corrosión y la vibración.
5. Unidad de división del combustible que detiene el flujo del gas cuando se apaga la ignición o cuando el motor deja de funcionar.

²⁵ *Idem.*

²⁶ Instituto Mexicano del Petróleo, 1992.

²⁷ Department of Transportation's National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA, 1995.

6. Válvula de cierre manual que puede ser cerrada por el operador para detener el flujo de combustible en caso de una emergencia.
7. Reguladores de presión en la línea del combustible para reducir la presión del GNC que proviene de los tanques de almacenamiento.

El GNC es 34% más económico que la gasolina y existe un ahorro de aproximadamente 10% por eficiencia en el uso del combustible.

El costo promedio para convertir un vehículo a gasolina de trabajo ligero en un vehículo a GNC, varía entre 2500 y 5000 dólares, aunque el precio oficial en la Ciudad de México es de 2700 dólares.²⁸

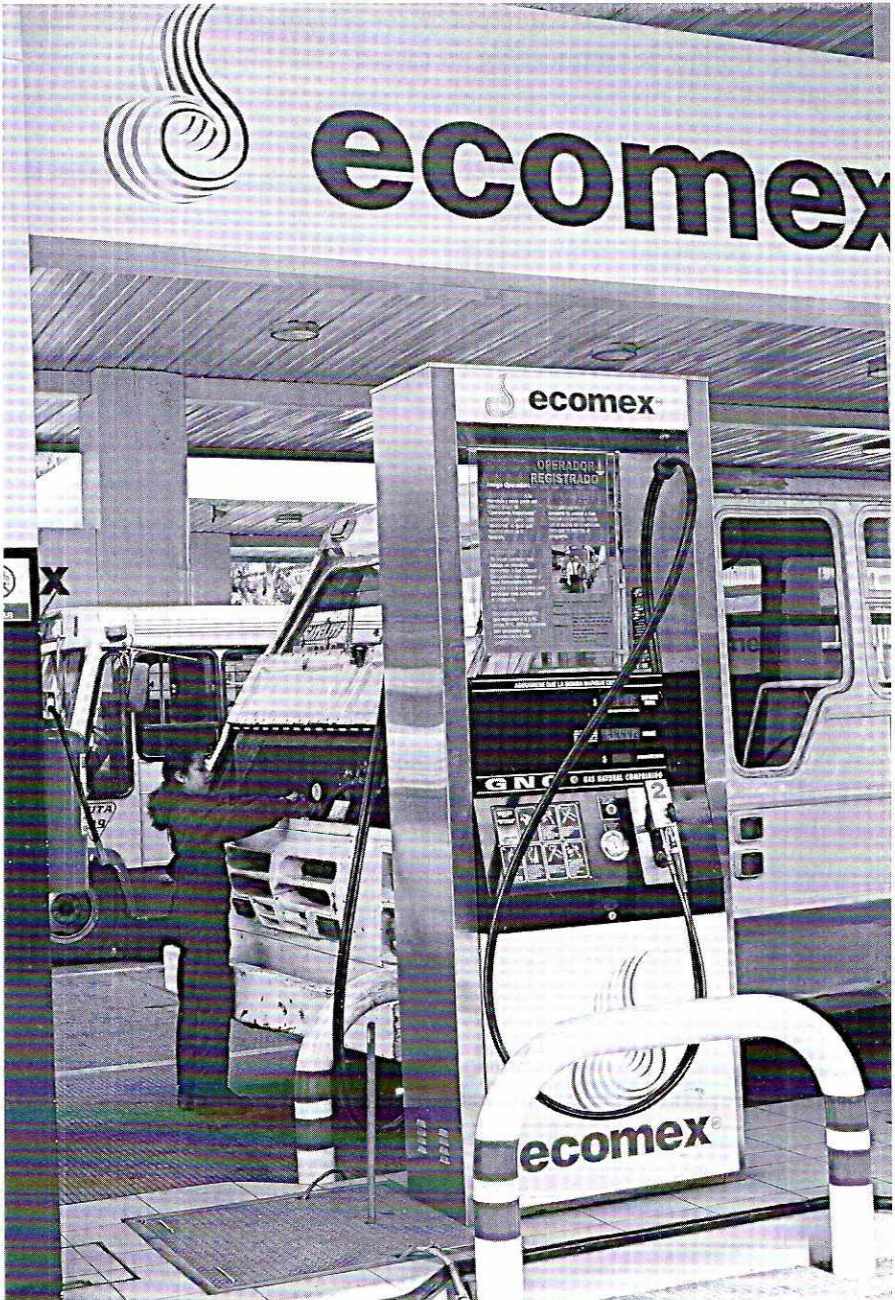
El proceso para cargar GNC es muy similar al de la gasolina. Las bombas son muy parecidas; muchas de ellas muestran la presión de llenado, el volumen de combustible vendido y el costo. Con un mínimo de entrenamiento, cualquiera puede despachar gas natural con seguridad.²⁹

Los sitios para cargar gas natural generalmente consisten de uno o más compresores, tanques para almacenar gas comprimido y el equipo necesario para despachar. El gas natural puede ser despachado con un sistema “rápido” o con uno “normal”. Los sistemas de llenado “rápido” pueden despachar combustible casi en el mismo tiempo que la bombas de gasolina convencionales: cuatro o cinco minutos. Estos sistemas comprimen y almacenan el gas hasta que se vende. Los sistemas de llenado “normales” comprimen el gas natural y lo despachan directamente a los VGN, eliminando así la necesidad de tanques de almacenamiento, pero requieren de seis a ocho horas para llenar el tanque de un VGN, y por lo tanto resultan apropiados para flotas que regresan a una base central donde dejan estacionado el vehículo toda la noche.

La distribución de la Red de Gasoductos en la Zona Metropolitana del Valle de México permite instalar con facilidad múltiples estaciones de servicio. En la actualidad existe una estación de abasto de GNC a un costado del paradero del metro de Cuatro Caminos y próximamente entrarán en

²⁸ Programa de Gas Natural, diciembre de 1998, Dirección General de Proyectos Ambientales.

²⁹ California Energy Commission, 1995.





funcionamiento tres más en las delegaciones Álvaro Obregón, Gustavo A. Madero y Venustiano Carranza³⁰.

El costo de una estación de abastecimiento depende del tamaño de la misma y su capacidad de abastecimiento. Algunos estudios indican que una estación pequeña cuesta entre 700 y 800 mil dólares.

Los especificaciones para los sistemas de compresión, almacenaje y expendio de GNC incluyen los siguientes requisitos³¹:

las estaciones al aire libre deben ser construidas con materiales incombustibles y el equipo para el almacenaje y expendio debe estar sobre la tierra, no abajo de líneas de corriente y a una cierta distancia de calles, estructuras y casas o edificios; las estaciones localizadas en sitios cerrados sólo se permiten en construcciones reservadas exclusivamente para este propósito y deben cumplir con los requisitos de ventilación y acceso a los sitios donde se encuentra el equipo de GNC.

GAS NATURAL LICUADO (GNL)

El gas natural licuado contiene una mayor cantidad de energía (100,000 BTU) por galón que el GNC, pero requiere una gran cantidad de energía para ser enfriado hasta su punto de licuefacción, así como energía y aislamiento para mantenerlo frío. El GNL generalmente se almacena a presiones bajas (del orden de 10 a 50 psig) para mantener su estado líquido, se puede guardar de dos a cuatro veces más que el GNC a bordo de un vehículo y su densidad de energía volumétrica es similar a la del diesel, por lo que, se puede usar en vehículos pesados para trabajos demandantes.³²

Debido a la temperatura extremadamente baja del GNL, el manejo de este combustible requiere medidas especiales de seguridad. El GNL presenta tres peligros básicos: 1) quemaduras criogénicas; 2) asfixia, y 3) explosión en un espacio confinado si es encendido. Una quemadura

³⁰ Programa de Gas Natural, diciembre de 1997, Dirección General de Proyectos Ambientales.

³¹ California Energy Commission, 1995.

³² RP Publishing Inc., 1995.

criogénica es el congelamiento del cuerpo como resultado del contacto directo con el GNL o con superficies enfriadas por el GNL. Aparte de los daños a personas, los materiales como el acero al carbón, las gomas y algunos plásticos pierden su resistencia bajo las temperaturas extremadamente frías del GNL y se rompen o quiebran fácilmente.

Cuando el GNL es derramado, se vaporiza de inmediato al contacto con el suelo y el aire (que están más calientes). Los derrames de este combustible casi siempre (dependiendo de la humedad), producen vapor de agua en el aire que se condensa formando una nube visible. El vapor de GNL empieza a elevarse en el aire y a dispersarse al alcanzar una temperatura de 160°C como mínimo. Antes de alcanzar dicha temperatura, la fría mezcla aire-gas (más densa que el aire caliente que le rodea) desplaza al aire provocando que la nube se mantenga cerca del suelo. Esta mezcla aire-gas puede causar asfixia, así como provocar quemaduras criogénicas si alguien se expone a ella el tiempo suficiente.

Cuando el gas está confinado y en una concentración de 5 a 15% en aire, la nube de vapor de GNL puede provocar una explosión si es prendida. Por lo tanto, se deben tomar precauciones para evitar la combinación de una fuente de ignición, una concentración de vapor y el confinamiento.

El sistema de combustible de los vehículos GNL consiste de los mismos componentes que los vehículos a GNC, excepto por los componentes del cargado y almacenamiento del combustible. Los componentes específicos para el sistema de combustible de los vehículos GNL son los siguientes:

1. Empalme para la recarga de combustible.
2. Tanque de GNL diseñado para guardar el gas a temperaturas criogénicas y bajas presiones (inferiores a los 150 psi).
3. Sistema de control de la presión de la mezcla GNL /vapor.
4. Sistema para controlar la formación de una presión excesiva debido a la vaporización del GNL.
5. Intercambiador de calor para vaporizar el GNL antes de que sea inyectado al motor.

Los costos de conversión a GNL de los vehículos a diesel para trabajos pesados varían entre 20 mil y 50 mil dólares.

Las estaciones de GNL y sus componentes deben ser diseñadas especialmente para almacenar y vender este combustible, ya que el GNL es almacenado en tanques aislados aproximadamente a -327°C y 50 psi.

El GNL es similar a los combustibles de petróleo convencionales y, a diferencia del GNC, no se reparte a los sitios de carga por una red o por tuberías, sino que es licuado en grandes plantas industriales, similares a las refinerías de gasolina. De estas plantas de licuefacción, el GNL es repartido a las estaciones de servicio a través de camiones cisterna³³.

El GNL se convierte en gas con una ligera adición de calor o una baja de presión. La formación de vapores se da en los tanques de almacenamiento de las gaseras y en los tanques de los vehículos, y debido al incremento constante de la presión de vapor, los tanques deben llenarse con 80% como máximo del volumen total. A diferencia de los combustibles del petróleo, resulta difícil licuar esos vapores en los sitios de cargado.

PROGRAMA DE GAS NATURAL PARA EL DISTRITO FEDERAL

En los últimos años, el Gobierno del Distrito Federal (GDF) ha iniciado un programa para alentar el uso de vehículos que funcionen con gas natural. Para impulsar el uso de este combustible y mejorar el ambiente de la Ciudad de México, el Gobierno del Distrito Federal comenzó por sus propios vehículos a partir de 1998.

El GDF tiene como meta utilizar GNC en cerca de 15 mil vehículos en el año 2000. Por tal razón dio inicio al Programa Demostrativo en 702 unidades durante 1998³⁴, y para este año se tiene considerado el uso de gas natural en el transporte público de pasajeros en siete rutas. Adicionalmente realiza estudios para utilizarlo en 17 módulos operativos, lo que significa la conversión de aproximadamente 3 mil autobuses. Paralelamente se fomentará la conversión de 5 mil taxis y 2 mil industrias.

³³ *Ídem.*

³⁴ Secretaría de Medio Ambiente, Programa de Gas Natural, 1998.



También, a través de la Oficialía Mayor y en coordinación con la Secretaría de Medio Ambiente y la Secretaría de Seguridad Pública, el GDF puso en circulación unidades bicomcombustible (gas natural-gasolina) con tecnología de punta, para su uso en la protección y seguridad de la ciudadanía.

En el año 2000 el GDF adquirirá alrededor de 1,200 automotores de gas natural comprimido, los cuales estarán adscritos principalmente a la Secretaría de Seguridad Pública y a la Dirección General de Servicios Urbanos. Estas unidades se seleccionaron debido al elevado número de kilómetros que recorren, lo cual se refleja en un incremento del consumo de combustible y su impacto en el medio ambiente.

Para lograr dichos objetivos, el GDF ha enfocado sus esfuerzos en ciertos puntos:

- 1) generar la demanda de gas natural para propiciar la operación de estaciones;
- 2) iniciar un programa de conversión de las patrullas existentes (hasta el momento se han convertido 370 vehículos).
- 3) iniciar el proceso de licitación de los camiones colectores de basura a gas natural;
- 4) licitar la concesión de 6 mil placas de taxis a gas natural.
- 5) invitar a todas las áreas administrativas del GDF que se encuentren cerca de las estaciones de gas natural proyectadas, para que las adquisiciones futuras de vehículos utilicen este combustible.
- 6) facilitar la instalación de estaciones de servicio de gas natural.
- 7) desincorporar y otorgar la licencia de uso de suelo para establecer estaciones públicas en los predios a descentralizar de la Ex Ruta 100.
- 8) negociar con Pemex la posibilidad de aprobar estaciones mixtas de suministro de combustible (gasolina y gas natural).
- 9) poner en marcha una estación de gas natural en la Delegación Xochimilco para el abastecimiento de combustible en el sur de la ciudad.
- 10) crear una estrategia de comunicación para reducir la oposición vecinal a la operación de las estaciones.

Entre los avances logrados se destacan la adquisición de 196 patrullas policíacas duales (gasolina/gas natural comprimido) y de 509 unidades recolectoras de basura bi-combustible diesel- GNC de alta tecnología. También se ha reglamentado, a nivel de microbuses y de autobuses ligeros, que el cambio de unidades incorpore la conversión al uso de GNC, y en el marco del reglamento las nuevas rutas de transporte urbano de pasajeros deben usar este combustible.

Por otro lado, se han iniciado las negociaciones necesarias con las empresas de transporte, para lograr acuerdos que lleven al uso del combustible menos contaminante en todos los transportes de carga y distribución de productos, y se han elaborado las bases para la licitación de suministro de gas natural en dos terrenos propiedad del GDF, así como la identificación de terrenos pertenecientes al Consejo de Incautación de la Ex Ruta 100 en donde es factible instalar estaciones de gas natural, y de un terreno de la DGSU en donde es posible y recomendable operar una estación de este tipo.

Se contempla también la creación de estaciones expedidoras de gas natural comprimido abastecidas por gasoductos (la red de distribución actual es de 206 km.) en la Zona Metropolitana del Valle de México, lo que permite instalar con facilidad muchas estaciones de servicio. El 14 de noviembre de 1999 entró en operación una estación de gas natural situada muy cerca del Toreo de Cuatro Caminos.

Está proyectada la construcción de otras estaciones de servicio por cuenta del gobierno capitalino, en cooperación con la iniciativa privada, en las delegaciones Álvaro Obregón, Gustavo A. Madero y Venustiano Carranza. Uno de los beneficios más importantes de estas estaciones de abasto de GNC es que no requieren de almacenamiento del combustible, lo cual garantiza la seguridad de las poblaciones cercanas.

El Gobierno del Distrito Federal coordinará a las dependencias responsables, a fin de que agilicen los trámites correspondientes y concedan los permisos requeridos a las empresas interesadas en construir estaciones de gas natural. Asimismo las apoyará, en lo posible, para obtener aquellos permisos que son competencia del Gobierno Federal.

El precio del gas natural sin comprimir es 64% menor al de la gasolina

Magna Sin, y para garantizar esto en diciembre de 1996 se modificó la Ley de Impuesto Especial sobre Producción y Servicios con lo que se fijó este diferencial de 64% entre el precio de la gasolina y el gas natural no comprimido, sin importar la fluctuación del precio internacional del gas.

Además de lo anterior, el Gobierno del Distrito Federal y los estados colindantes han analizado la conveniencia de celebrar acuerdos mediante los cuales se otorgue estímulos fiscales a los concesionarios del servicio público de transporte de pasajeros que participen en el programa de conversión de unidades de gasolina a gas natural, sin embargo esto no se ha llevado a cabo. Entre los estímulos a determinar para que obtengan hasta 100% de subsidio se encuentran (aún falta negociar y evaluar el impacto en los ingresos de los estados), los siguientes:

1. Impuesto sobre tenencia o uso de vehículos automotores.
2. Derechos por servicios prestados por las autoridades de Transportes y Vialidad por concepto de refrendo anual de revista.
3. Derechos por servicios prestados por las autoridades de Transportes y Vialidad relativos a prorrogas y transferencia de concesiones y permisos.

Para lograr lo anterior, los concesionarios del servicio de transporte público del Distrito Federal que decidan acogerse a los beneficios fiscales, deberán ser titulares de la concesión y haber celebrado contratos para realizar la conversión de gasolina a gas natural comprimido con una empresa autorizada por la Secretaría del Medio Ambiente.³⁵

GAS DE PETRÓLEO LICUADO O GAS LP

El gas de petróleo licuado (más conocido como gas LP por *Liquid Petroleum*) es a menudo erróneamente identificado como gas de propano licuado. De hecho, el gas LP se compone principalmente de propano y otros pocos hidrocarburos (butano, propileno y butileno), así como de pequeñas can-

³⁵ Nota informativa sobre propuesta de conversión a microbuses a GNC de la Dirección de Proyectos Ambientales, 26 de enero de 1999.

tidades de azufre. Esta mezcla de gases naturales existe en estado líquido a temperatura ambiente bajo presiones moderadas (menos de 200 psi). El error común con este nombre se explica por el hecho de que en Estados Unidos y en Canadá, el gas LP consiste principalmente de propano. En muchos países europeos, sin embargo, el contenido de propano en este gas puede ser de 50% o menor.

El gas de petróleo licuado se usa principalmente como combustible para calentar y cocinar alimentos, pero se ha visto que el uso de este combustible en lugar de la gasolina, contribuye a la conservación del petróleo y a la protección ambiental.

Como combustible alternativo para máquinas de combustión interna, tiene la ventaja de que no emite partículas ni vapores; también produce una menor cantidad de otros contaminantes como HC, NO_x CO y SO₂.

Aparte de que es el más barato de todos los combustibles alternativos³⁶, el gas LP posee las ventajas de los líquidos en cuanto a almacenamiento y a transporte y las ventajas de los gases como combustible.³⁷ Actualmente, alrededor del mundo ya circulan casi cuatro millones de vehículos que utilizan este combustible.

OBTENCIÓN

El 60% del propano, C₃H₈, se obtiene del gas natural, y el resto se produce mediante diversos procesos en la refinación del petróleo. El producto comercial contiene cantidades variables de etano, butano y propileno que afectan su funcionamiento en el motor.

El gas LP puede ser considerado como un subproducto de la refinación del petróleo y tanto su composición exacta como sus propiedades varían bastante según la fuente.³⁸

³⁶ Battelle Memorial Institute, 1995.

³⁷ Energy Information Administration, 1994.

³⁸ Government Secretariat, 1998.

El gas LP es incoloro e inodoro por lo que al combustible se le agrega un odorante sulfuroso (etil mercaptano, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{SH}$) para alertar al usuario de posibles fugas en el sistema.

CARACTERÍSTICAS

El gas LP tiene la cualidad única de ser almacenado, distribuido y manejado como líquido mientras que se usa generalmente en estado gaseoso.³⁹

El uso de este combustible tiene ciertas ventajas sobre la gasolina si el motor del vehículo es correctamente adaptado.

Las propiedades gaseosas del GLP son una ventaja para su combustión ya que los combustibles gaseosos se mezclan bien con el aire. La mezcla aire-combustible alcanza una combustión casi completa (por lo que genera menos monóxido de carbono que la combustión de la gasolina) y ocasiona menos problemas de encendido en frío.⁴⁰

El gas LP tiene una menor densidad de energía que la gasolina, pero su octanaje es mayor. La densidad de energía es aproximadamente 73% del de la gasolina. Esto significa que para el mismo volumen del tanque de combustible, un vehículo con gas LP tendrá un rendimiento casi 27% inferior al del vehículo a gasolina.⁴¹

El octano promedio del GLP es de 104 (el de la gasolina es de 90). Esto permite utilizar mayores relaciones de compresión en las máquinas optimizadas para gas LP y así obtener una mayor potencia y eficiencia. Si no se modifica la relación de compresión, el gas LP produce de 5 a 10% menos potencia que la gasolina y la eficiencia se reduce entre 15 y 25%.⁴² Para lograr un rendimiento similar al de los vehículos a gasolina, el vehículo con gas LP deberá tener un tanque con mayor volumen.

Si una máquina que funciona con gasolina es convertida para operar con este gas, el incremento en la eficiencia no se dará debido a la baja den-

³⁹ California Energy Commission, 1995.

⁴⁰ Energy Information Administration, 1994.

⁴¹ *Idem.*

⁴² *Idem.*

sidad del gas LP en comparación con la gasolina, y también por la demanda ligeramente mayor de oxígeno. La menor densidad de este combustible ocasiona una reducción en la eficiencia volumétrica y una pérdida de potencia en comparación.⁴³

El bajo valor de cetano del gas LP lo hace inútil para usarse en máquinas de ignición por compresión (diesel) convencionales.⁴⁴ A diferencia de la gasolina, la combustión del gas LP produce un gas seco y no contiene aditivos.

En general, el uso del gas LP redundaría en máquinas más limpias y con mayor duración, porque produce menos depósitos de carbón y menos desgaste en el motor.

EMISIONES

Las emisiones más peligrosas de las máquinas que usan gas LP son similares a las de otros motores de combustión interna: monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno.⁴⁵ Sin embargo, las emisiones de HC, CO y SO₂ se reducen significativamente y se elimina la emisión de partículas y las pérdidas por evaporación de combustible.

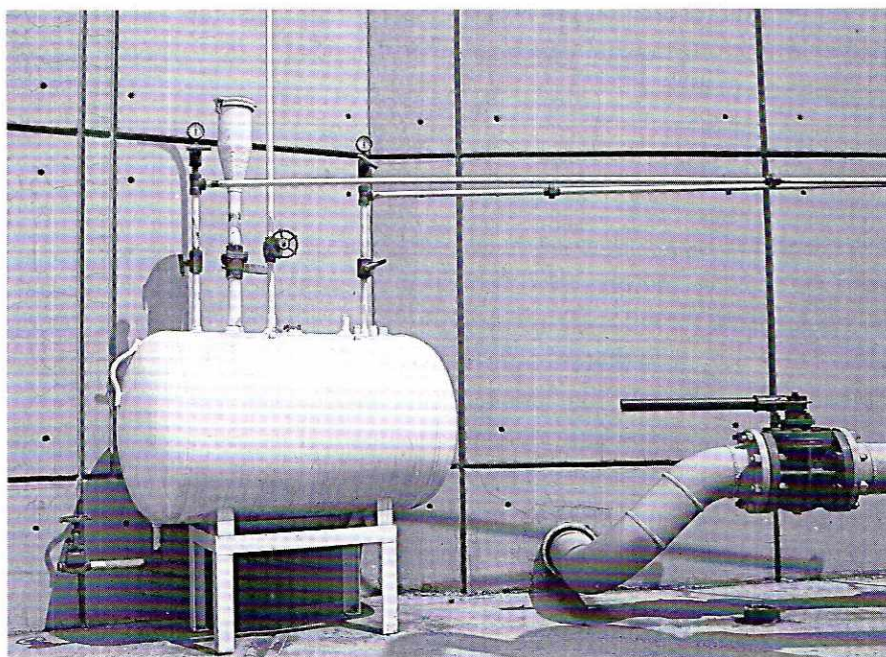
El mayor inconveniente de este combustible es que contribuye a la formación de ozono, aunque de hecho las emisiones al usar este combustible generan 70% menos de ozono que las emisiones de la gasolina. Además, con coches nuevos especialmente diseñados para este combustible, las reducciones pueden ser aún mayores.

El monóxido de carbono, gas muy tóxico, incoloro e inodoro, es generado como resultado de la combustión incompleta del combustible. Las emisiones del gas LP pueden contener considerables cantidades de CO, y es generalmente el principal inconveniente cuando se usan motores a gas LP en sitios cerrados (como almacenes, edificios en construcción o túne-

⁴³ Government Secretariat, 1998.

⁴⁴ Energy Information Administration, 1994.

⁴⁵ Government Secretariat, 1998.



les), ya que puede acumularse rápidamente y alcanzar concentraciones peligrosas para los humanos.

La emisión de hidrocarburos también se debe a la combustión incompleta pero, debido a la composición de este combustible, sólo libera hidrocarburos de cadena corta, y no es probable que contenga compuestos tóxicos que si se encuentran en las emisiones de HC de la gasolina, por lo que el impacto ambiental de las emisiones de HC del gas LP resulta mucho menor que el de la gasolina. Sin embargo, los HC derivados del gas son responsables del olor característico el cual a menudo es molesto cuando las máquinas a gas LP funcionan en sitios cerrados.⁴⁶ Las emisiones de HC pueden verse reducidas entre 50 y 80% en comparación con el uso de gasolina, aunque los gases de escape de los vehículos a gas LP pueden contener niveles significativos de olefinas.

Los óxidos de nitrógeno se forman a partir de nitrógeno y oxígeno bajo las condiciones de alta temperatura y presión que se dan en los cilindros de la máquina. Los NO_x consisten principalmente de óxido nítrico (NO) y algo de dióxido de nitrógeno (NO_2) que es un gas reactivo y muy tóxico. Las emisiones de NO_x son un serio problema ambiental por su importante función en la formación del ozono.

El uso de gas LP libera de 15 a 30% menos dióxido de carbono que la gasolina.⁴⁷

RIESGOS PARA LA SALUD

El gas LP no es tóxico. No se han reportado efectos dañinos a la salud por la exposición a los vapores del propano. Sin embargo, la rápida evaporación del combustible a presiones atmosféricas, provoca daños en la piel si entra en contacto con ella.

Las altas concentraciones de gas LP reducen los niveles de oxígeno y provocan asfixia, con signos tempranos de desvanecimiento.

⁴⁶ *Idem.*

⁴⁷ *Idem.*

Al contrario de la gasolina, el gas LP no es una sustancia cáustica y no representa un riesgo para el suelo o el agua en caso de un derrame. Los derrames de este combustible casi siempre (dependiendo de la humedad ambiental) producen vapor de agua en el aire que se condensa formando una nube visible que puede provocar asfixia si la exposición es muy prolongada.

El odorante añadido al gas LP generalmente hace posible su detección a concentraciones por debajo del límite de inflamabilidad y mucho antes también de llegar a las concentraciones necesarias para la asfixia.

SEGURIDAD⁴⁸

Con los sistemas apropiados, el gas LP resulta altamente seguro aun en casos de accidente.

El mayor peligro de los tanques de GLP expuestos al fuego o a un calor extremo es que el líquido hierva y se de una explosión por la expansión del vapor,⁴⁹ ya que el propano tiene un estrecho rango de inflamabilidad en comparación con otros combustibles. El combustible sólo encenderá si la relación combustible-aire se halla entre 2.2 y 9.6% (la gasolina es inflamable a una concentración del 1.5%). Sin embargo, el propano se disipa rápidamente en una atmósfera abierta por lo que no llega al rango de inflamabilidad. Es importante que las cocheras que guardan vehículos cargados con gas estén ventiladas apropiadamente.

Para evitar el contacto directo del propano con la piel, es conveniente que durante el proceso de recargado se usen guantes.

El gas LP es más pesado que el aire por lo que, en sitios encerrados, no se dispersa fácilmente sin una correcta ventilación. Su temperatura de ignición es elevada, alrededor de 480°C, en comparación con los 260 y 315°C de la gasolina y el diesel respectivamente. Además en el caso de un choque, los tanques de gas LP son 20 veces más resistentes a las perforaciones que

⁴⁸ California Energy Commission, 1995.

⁴⁹ Department of Transportation's National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA.

los tanques de gasolina normales. Por otro lado estos tanques están provistos de válvulas liberadoras de la presión que permiten la salida de los vapores del combustible para evitar la ruptura del tanque bajo condiciones de presión inusualmente altas como en el caso de un incendio.

DISPONIBILIDAD Y PRECIO

El gas licuado de petróleo se destina casi totalmente al sector doméstico y sólo una pequeña fracción se utiliza en el sector de transporte como carburante. En 1997 la ZMCM absorbió 19.7% del consumo nacional de gas LP, 54 mil barriles diarios; de esta cantidad, más de 90% se usó en el sector residencial y comercial y sólo 2.6% fue para transporte.

El gas LP como combustible para transporte generalmente tiene un precio competitivo en comparación con la gasolina aunque puede experimentarse una gran variación en su precio dependiendo de las prácticas de los distribuidores.

El sistema de distribución resulta más complejo en relación con otros combustibles líquidos, ya que presenta varios problemas que deben considerarse: el almacenamiento, la distribución y la seguridad.

Su distribución requiere sistemas de compresión y, en algunos casos, de unidades móviles. Especial atención merece la seguridad, sobre todo en lo concerniente a la prevención de incendios.

Las estaciones para cargar GLP a vehículos pueden ser operadas directamente por las compañías abastecedoras de gas LP. El tiempo típico de bombeo para un vehículo con un tanque de 200 litros es de tres a cinco minutos. El equipo para el recargado de propano es muy parecido a otros sistemas de combustibles líquidos.⁵⁰

⁵⁰ California Energy Commission, 1995.

VEHÍCULOS A GAS LP

Adaptar los sistemas convencionales a gas LP resulta muy caro y reduce el tiempo de vida del motor. Sin embargo, en un motor especialmente diseñado para funcionar con gas LP, el tiempo de vida de la máquina es mayor y el costo de mantenimiento disminuye.

Un inconveniente que presentan estos vehículos son los tanques de alta presión que deben acomodarse en la cajuela y que reducen el espacio de carga e incrementan el peso.

Otro aspecto es que las presiones de trabajo normales varían en función de la temperatura ambiente y de la cantidad de combustible en el tanque. Las presiones comunes de almacenamiento se encuentran en el intervalo de 130 a 170 psig, para temperaturas de -18 a 32°C. Los tanques de combustible para el gas LP se fabrican de acero de alto calibre. El costo promedio de la conversión de una camioneta de gasolina a gas LP varía entre 1,500 y 2,500 dólares.

PERSPECTIVAS

El gas LP es una alternativa práctica y limpia para el diesel. Una manera eficiente y efectiva de mejorar la calidad del aire es reducir el uso de vehículos a diesel y que tanto estos como los taxis utilicen gas LP. Esta medida puede reducir 30% la cantidad de partículas suspendidas respirables emitidas por los motores de los vehículos, así como pavimentar el camino para la introducción de otros vehículos limpios.

Los taxis que funcionan con gas LP y con diesel tienen costos de operación y de mantenimiento comparables. También los costos de capital y la vida de servicio de los dos tipos de vehículos son comparables.

Para promover el uso de este combustible, el Gobierno del Distrito Federal debe:

- 1) Identificar suficientes sitios para instalar estaciones de recargado de gas LP.
- 2) proveer un apropiado sitio de trabajo para instalar talleres de mantenimiento de vehículos a gas LP y el entrenamiento para tales mecánicos.



- 3) permitir que los taxis que deseen usar gas LP lo hagan.
- 4) consultar a los taxistas y ponerse de acuerdo con ellos para asegurar el éxito en la conversión de los taxis a gas LP dentro de un tiempo apropiado, para así mejorar la calidad del aire en la ciudad, y
- 5) examinar la posibilidad de que otros vehículos ligeros que usan diesel cambien a gas LP.

Por una variedad de razones el gas LP ya no es considerado el combustible alternativo del futuro. Su lugar ha sido tomado por el gas natural en competencia con el diesel y el biodiesel. En consecuencia, ha habido poco desarrollo en la tecnología de motores dedicados al gas LP. Por otra parte, las máquinas a gasolina y sus emisiones mejoraron tremendamente en la década pasada y como resultado de este desarrollo, algunas de las ventajas de usar gas LP como combustible, especialmente sus bajas emisiones de CO, son ahora menos pronunciadas.

En esencia, todas las máquinas de gas LP son máquinas de gasolina convertidas. Por tanto, no se ha desarrollado la ingeniería que tome ventaja del potencial de las bajas emisiones del gas LP, y los sistemas de control motor-combustible no están óptimamente calibrados para el combustible nuevo, sacrificando así el funcionamiento, la economía de combustible y las emisiones. La mayoría de las conversiones producen resultados que ni remotamente se acercan al ideal.

Mientras que en la Ciudad de México no exista una red de distribución y transportación de gas natural, la alternativa para el transporte sería su reconversión a gas LP, que no es la mejor opción pero permite reducir 50% el costo en relación con la gasolina y disminuir las emisiones contaminantes en 70%. El gas LP tiene muchos más riesgos de manejo que el natural porque es más inflamable.

Es de esperar que el crecimiento del uso del propano para el transporte ocasione la expansión de los almacenes existentes y de la infraestructura de distribución. Es factible que el abasto de propano a precios competitivos se consiga para cumplir con la demanda del combustible para el transporte.

ALCOHOLES

Si bien el uso de los alcoholes como combustibles ha cobrado un nuevo auge⁵¹, su uso en motores a gasolina no resulta nuevo; el *Boletín del Agricultor*, publicado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos en 1907, menciona varias ventajas y limitantes del alcohol que todavía hoy son discutidas, y también menciona un trabajo alemán de mediados de 1890 sobre el alcohol como combustible, estimulado por el interés de los destiladores y la asistencia del gobierno alemán. En años más recientes, la literatura ha proliferado en artículos sobre este tema.

El interés reciente en los alcoholes como combustibles para motor ha sido alentado por el aumento en los precios del petróleo, por el deseo de obtener combustibles de fuentes renovables y seguras, por el aumento en los requerimientos ambientales y para mejorar la calidad antidetonante del combustible eliminando el uso de compuestos con plomo.

Los combustibles alcohólicos son superiores a las gasolinas en lo que se refiere a eficiencia térmica del motor bajo relaciones de compresión iguales, en la reducción de las emisiones en motores a gasolina modificados y en la seguridad en caso de accidentes. Pueden producir 20% más de potencia y una reducción de hasta 90% del ozono. Su elevado número de octanos, junto con sus altos calores de vaporización, han hecho de los alcoholes los combustibles preferidos para usarse bajo altas relaciones de compresión en máquinas de alta potencia como los autos de carrera.

Entre los principales problemas que generan, destacan el incremento en las emisiones de NO_x, el que resultan corrosivos para el sistema del combustible y que, en presencia de agua, provocan separación de fases. Pero, en realidad, el problema principal es que resultan más caros que la gasolina.

La cantidad en la que se puede utilizar el alcohol varía desde unos pocos mililitros mezclados con la gasolina, hasta su uso puro como com-

⁵¹ En Brasil, desde 1977 se producen vehículos especialmente diseñados para operar con alcohol puro o con mezclas de 20% de alcohol con 80% de gasolina.

bustible. También varían los alcoholes que se utilizan y la composición en los hidrocarburos de la gasolina con que se mezclan.

Apropiadamente o no, el metanol y el etanol se han tratado como sinónimos de combustibles alcohólicos, con poca o ninguna distinción entre ellos. Ciertamente ambos son alcoholes y comparten muchas características físicas y químicas en las cuales difieren de la gasolina, pero también entre ellos difieren en forma tal que su potencial utilidad como combustibles para automóviles varía.

Tanto el metanol como el etanol pueden funcionar satisfactoriamente como combustibles para máquinas de combustión interna. Estos alcoholes tienen un alto número de octanos y reducen las emisiones en comparación con la gasolina. Otro hecho que los hace muy interesantes como suplemento, y hasta como reemplazantes, de los combustibles derivados del petróleo, es que pueden obtenerse del carbón o de plantas de biomasa.

CARACTERÍSTICAS

El metanol y el etanol son líquidos a temperatura y presión ambiente, por lo que pueden ser almacenados y manejados de manera similar a la gasolina. En su estado puro, son incoloros, prácticamente inodoros y se queman con una flama casi invisible. Tienen temperaturas de ignición de alrededor de 425 y 475°C, respectivamente, que resultan mayores a la temperatura de ignición de la gasolina que es de 260°C.

A diferencia de la gasolina, los alcoholes, contienen oxígeno, por lo que requieren de menor cantidad de aire para su combustión, y su economía de combustible, en relación al volumen, es menor que la de la gasolina, debido a su menor contenido de energía.

A causa de su orden inferior (tanto en masa como en volumen), los alcoholes son considerablemente menos energéticos que los HC, y a esto se debe que para conseguir una potencia igual de la máquina, sea necesario introducir cantidades significativamente mayores de alcohol que de gasolina. Al incrementarse el consumo volumétrico se requiere de tanques más grandes en los vehículos, pero las máquinas que funcionan con alcohol pueden llegar a operar con rentabilidad si se varía la relación combustible-aire.

El etanol puro tiene dos tercios de la densidad de energía de la gasolina, mientras que el metanol sólo la mitad. Debido a esto, un vehículo que utilice alcohol puro rendirá entre 50 y 67% en relación a uno que utiliza gasolina con tanques del mismo tamaño.

Sin embargo, estos alcoholes tienen un valor de octano de 100 en promedio, que resulta superior al de la gasolina (promedio de 90), y este mayor octanaje puede otorgar más potencia así como una mayor eficiencia de combustible en motores de ignición por chispa que la gasolina. Además, por su alto octanaje los alcoholes no requieren de la adición de compuestos antidetonantes como plomo o hidrocarburos de alto octano (como olefinas o aromáticos).

El octano de los alcoholes se muestra en la Tabla IV.

Tabla IV. Octano de los alcoholes

COMPUESTO	RON	MON	(R+M)/2
Metanol	112	92	102
Etanol	110	90	100

Tanto el metanol como el etanol resultan significativamente menos volátiles que la gasolina, por lo que presentan problemas de encendido en frío, por lo que generalmente se mezclan con gasolina para mejorar su funcionamiento. Las mezclas E85 y M85 (85% de etanol o de metanol y 15% de gasolina) son las primeras que se consideraron como combustibles alternativos, ya que tienen densidades de energía ligeramente mayores que los mismos alcoholes puros por la adición de la gasolina.

Para mantener un rendimiento equivalente al de la gasolina, el uso de E85 o de M85 requiere de tanques más grandes para compensar el déficit de energía comparado con el mismo volumen de gasolina.

EMISIONES

Los alcoholes son los combustibles que producen la menor cantidad de contaminantes formadores de ozono pero, entre los que producen se encuentran los aldehídos, que son tóxicos y reactivos fotoquímicos.

Las emisiones de escape de las máquinas que funcionan con alcohol contienen combustible sin quemar, y este combustible sin quemar, metanol o etanol, presente en los gases de escape, provoca la formación de alquil nitritos que se convierten en alquil nitratos mediante una reacción fotoquímica debida a la luz del sol.

RIESGOS PARA LA SALUD

El metanol es altamente tóxico y el etanol mezclado con gasolina también resulta tóxico, por lo tanto se deben tomar las mismas precauciones que se toman con la gasolina. Las áreas de recarga de combustible deben estar bien ventiladas y se debe evitar su ingestión.

El contacto directo de los alcoholes con la piel debe ser evitado porque puede provocar irritación, por lo que se recomienda usar guantes cuando se está cargando.

Tanto el etanol como el metanol no son una amenaza para el suelo o el agua en caso de derrames, porque son completamente solubles y biodegradables. Por esto pueden ser considerados inocuos ya que se diluyen y son rápidamente degradados por microorganismos. A diferencia de los combustibles petrolíferos, la alta solubilidad de los alcoholes en agua no hace necesaria su eliminación mecánica de los ecosistemas marinos.⁵²

SEGURIDAD

Entre los problemas más serios que presentan los alcoholes para la seguridad destacan la baja intensidad de su olor (especialmente el metanol), la baja luminosidad de la llama (de nuevo, el problema es mayor con metanol) y la alta explosividad de la mezcla vapor-aire al equilibrio.

La baja intensidad de su olor y de la luminosidad de su llama tiene obvias implicaciones para los bomberos y para el personal expuesto a

⁵² American Methanol Institute, 1998.

concentraciones potencialmente tóxicas del vapor, ya que debido a ello estas concentraciones no son fácilmente detectables. Esto se puede resolver añadiendo gasolina al alcohol como odorante.

El etanol es inflamable en concentraciones ubicadas entre 4.3 y 19% en aire, y el metanol en concentraciones entre 7.3 y 36%.⁵³ Por el contrario, la gasolina resulta inflamable a una concentración mucho menor (1.5% en aire), por lo que su adición en las mezclas E85 y M85 baja las temperaturas de ignición y los límites de inflamabilidad en relación con el metanol y el etanol puros.⁵⁴ Tanto el etanol como el metanol confinados en un espacio encerrado y en el intervalo de su inflamabilidad en aire provocarán una explosión si se les acerca una fuente de ignición.

A pesar de su volatilidad e inflamabilidad extremas, la gasolina tiene el atributo de que su almacenamiento en contenedores cerrados es relativamente seguro. A las temperaturas atmosféricas normales, la mezcla de vapor de gasolina y aire, al equilibrio, está muy lejos del límite de inflamabilidad, y con una fuente de ignición como una chispa o electricidad estática, usualmente no se produce una explosión o incendio. Por el contrario, la combinación del equilibrio vapor-aire de los alcoholes con los límites de inflamabilidad, produce una mezcla explosiva en los contenedores cerrados. No obstante, la adición de HC a los alcoholes reduce los riesgos de inflamabilidad. Además, la gasolina proporciona a las mezclas E85 y M85 un olor distintivo para su detección y produce una flama visible.

VEHÍCULOS CON COMBUSTIBLES ALCOHÓLICOS

Los coches convencionales no funcionan con alcoholes puros, o con mezclas con mayor proporción de alcoholes que gasolina, porque la relación estequiométrica aire-combustible (A/C) de los alcoholes es tan baja que no enciende en un auto con un carburador diseñado para gasolina.

⁵³ Energy Information Administration, 1994.

⁵⁴ *Idem*

Para usar alcohol puro, o casi, es necesario hacerle modificaciones a la máquina. El costo de las modificaciones puede ser menor si éstas se incluyen en el diseño de los autos nuevos que si se reforman los vehículos existentes.

Los combustibles alcohólicos reducen la formación de depósitos en la máquina. Sin embargo, tienen efectos corrosivos en varias partes del motor como los pistones y sus anillos, la envoltura del cilindro, el carburador y en la bomba de la gasolina.

Los vehículos pueden ser diseñados para usar alcohol y gasolina sin plomo en diversas proporciones, y en términos de mecánica, los vehículos que funcionan con alcohol son casi idénticos a los que funcionan con gasolina. La diferencia estriba en que el sistema de combustible debe ser fabricado con materiales más resistentes a la corrosión, porque el alcohol corroe los componentes metálicos normalmente usados en el sistema de combustible para gasolina.⁵⁵ Además, debido a las propiedades corrosivas de los alcoholes, se necesita usar un aceite especial así como cambiar el aceite más a menudo (cada 5 mil kilómetros).⁵⁶

La producción de vehículos especialmente diseñados para estos combustibles se ha limitado a automóviles compactos y medianos. Generalmente, los vehículos diseñados originalmente para funcionar con flexibilidad de combustible, demuestran un mejor funcionamiento y tienen menores emisiones que los vehículos convertidos.

Como los combustibles alcohólicos son líquidos, su manejo y distribución resulta similar al de la gasolina. El tiempo de llenado es casi el mismo que toma llenar un tanque de gasolina, y el reparto a las estaciones de servicio se realiza en pipas como las que transportan gasolina o diesel.

⁵⁵ Department of Energy, Office of Alternative Fuels, Office of Transportation Technologies, Conservation and Renewable Energy, 1997.

⁵⁶ California Energy Commission, 1995.

El equipo para almacenar o despachar productos petrolíferos no debe usarse para los combustibles alcohólicos, por la posible contaminación con hidrocarburos o con agua y por la corrosividad de los alcoholes.⁵⁷

El bajo valor de cetano de los combustibles alcohólicos los hace inútiles para su uso en motores de ignición por compresión (diesel). Sin embargo, estas máquinas pueden modificarse mediante la inclusión de fuentes de ignición para su uso en camiones⁵⁸.

METANOL

El metanol, MeOH, puede usarse como combustible en automóviles, en motores diesel de camiones y locomotoras, y en turbinas de combustión para generación de energía. En cada caso, el MeOH puede ser el combustible de menor costo y el más conveniente, ya que resulta más barato que los combustibles fósiles, por lo económica que resulta su producción en gran escala, por la facilidad y seguridad de su transporte, y por la efectividad y limpieza de su combustión. El metanol obtenido a partir del carbón se presenta, hasta el momento, como el combustible líquido más barato que se puede obtener de él.

A pesar de que la introducción al mercado automotriz de metanol, puro o mezclado con gasolina, ocasiona ciertos problemas a los automovilistas como corrosión en la máquina y en líneas transportadoras del combustible y una baja eficiencia en la operabilidad, para el año 2000 se contempla que la introducción del metanol como combustible será una realidad, al menos en los Estados Unidos, ya que la estabilidad petrolera mundial tiende a resquebrajarse día a día, tanto por la carencia del crudo como por los problemas políticos entre naciones.

Si bien el MeOH puro es, técnicamente, mejor combustible que la gasolina, habría que realizar notables cambios en la producción de vehículos en masa para que funcionen con este combustible. Otro problema

⁵⁷ Energy Information Administration, 1994.

⁵⁸ *Idem.*

que se presenta, es que el sistema separado que se requiere para su distribución no existe, por lo que habría que crearlo.

A medida que la población de vehículos que funcionan con metanol comience a ser significativa, se notarán las ventajas principales de este combustible: reducción importante en las emisiones evaporativas y en la formación de ozono.

Durante cientos de años, el metanol se ha obtenido a través de la pirólisis de madera, pero puede producirse a partir de cualquier material que contenga carbono: ya sea con carbón virgen (lignitos, carbón café o alquitrán), a partir de biomasa (incluyendo madera) o de materia fósil como petróleo y gas natural. El metanol sintético se obtuvo por primera vez a mediados de los años veinte vía "syngas" (hidrogeno y CO o CO₂).

El metanol es el más barato de los oxigenados, y esto se debe en parte al reciente descubrimiento de gas natural en muchas partes del mundo. El gas natural es difícil de transportar, pero al transformarlo en metanol su transportación se facilita mucho. Además, la producción de metanol a partir de gas natural tiene un costo similar al de la producción de la gasolina.

La producción actual de metanol es limitada, y su abastecimiento a precios competitivos con la gasolina resulta un problema. La inestabilidad en el precio del metanol para su aplicación en vehículos puede ser un problema a futuro, ya que para cubrir una gran demanda de metanol se necesita incrementar su producción así como el volumen de las importaciones.⁵⁹

El costo del M85 ha subido por la demanda inesperada en la industria y por la demanda del metanol como materia prima para la elaboración de metil tert-butiléter (MTBE), aditivo para la gasolina reformulada.

En California, el metanol y el etanol son gravados según el contenido de su energía en comparación con la gasolina. El precio de un galón de metanol al mayoreo de la Reserva de Metanol para Combustible de Califor-

⁵⁹ California Energy Commission, 1995.

nia ha sido de 67 centavos de dólar desde diciembre de 1994. Sin embargo, llegó a ser vendido hasta en 2.10 dólares por galón durante la crisis del mercado a fines de 1994. Las negociaciones actuales van el camino de estabilizar el metanol para transporte a un precio que esté ligado con el de la gasolina al por mayor.

El MeOH tiene un RON de 112, un MON de 92, y un $(R + M)/2$ de 102, valores superiores a los de la gasolina normal.

El MeOH tiene aproximadamente 50% de energía por unidad de volumen, que la gasolina. Como contraparte, la eficiencia térmica de la máquina aumenta 10% al usar metanol puro como combustible. Por otra parte, el consumo de energía es menor con MeOH que con gasolina y a la misma relación de compresión se obtiene entre 7 y 8% más potencia.

El consumo de metanol es alrededor de 60% mayor en comparación con la gasolina. Un automóvil que utilice MeOH requiere un tanque 1.65 veces más grande que uno que utiliza gasolina para alcanzar igual rendimiento. Esto implica un incremento en la capacidad de almacenamiento y transporte.

Los coches convencionales no funcionan con metanol puro porque su relación estequiométrica A/C es tan baja en combustible que no enciende en un auto con un carburador diseñado para funcionar con gasolina. Además, muchas veces el calor requerido para su combustión es utilizado por el sistema de inducción para vaporizar el combustible.

Cuando la máquina opera a bajas temperaturas, el uso de MeOH puro incrementa el desgaste de la máquina y la corrosión dentro del anillo del pistón y del área del cilindro. Como consecuencia, la combustión de alcoholes es parcialmente responsable del incremento en el desgaste.

No obstante, el metanol es reconocido como una alternativa potencial para reducir la contaminación originada por los vehículos a motor, particularmente porque tiene una combustión libre de hollín y bajos niveles de emisiones de los otros contaminantes.

El empleo del metanol reduce las emisiones de NO_x , aún con altas relaciones de compresión, a casi la mitad de las que se producen con el uso de gasolina. También reduce las emisiones de HC sin quemar, con lo que se logra una reducción de entre 85 y 95% de la formación potencial

de ozono. Asimismo se reducen las emisiones de CO entre 30 y 90 por ciento.

Con respecto a las emisiones de CO₂, al usar metanol obtenido a partir de gas natural, varían desde un poco menos que la gasolina hasta casi la misma cantidad.

Bajo condiciones urbanas de manejo, un vehículo cargado con metanol produce una cantidad de formaldehído de dos a seis veces mayor que uno cargado con gasolina. Sin embargo, las emisiones de MeOH y de formaldehído pueden controlarse mediante un sistema purificador como el catalizador de tres vías.

Los efectos en la salud originados por la exposición al metanol son similares a los provocados por el etanol, con la notoria excepción de que el metanol es tóxico. La ingestión de una dosis tan pequeña como 28-57 g puede provocar ceguera e inclusive la muerte. Estos peligros se magnifican por el hecho de que puede ser absorbido por la piel, ya que aparte de insípido es virtualmente inodoro.

Los síntomas por la exposición pueden ocurrir en tres etapas:

1. Dolor de cabeza, mareos, náuseas, dolor gástrico, fiebre o debilidad muscular.
2. Un periodo de 10 a 15 horas durante el cual no se siente ningún síntoma.
3. Efectos sobre el sistema de la visión y el sistema nervioso central como pérdida de la vista, náuseas, desvanecimientos, dolor de cabeza y problemas para respirar.

El metanol puro no se acumula en el cuerpo por exposiciones repetidas y no es cancerígeno. Sin embargo, el M85 si es considerado cancerígeno porque contiene gasolina, la cual se sabe contiene cancerígenos.

Al igual que la gasolina, el metanol es considerado mucho más inflamable que el diesel. Además, la baja luminosidad durante el día de las flamas del metanol puro (M100 o metanol al 100%) es un problema. Este asunto ha sido exitosamente resuelto con el uso de M85.

ETANOL

En un principio el etanol se usó como aditivo de la gasolina para formar el gasohol, y los primeros vehículos que funcionaron con este combustible aparecieron en 1979.

El uso del etanol (EtOH) es una opción atractiva para ahorrar crudo, a la vez que incrementa substancialmente el octanaje del combustible.

El etanol es menos corrosivo que el metanol y produce 30% más de energía; no obstante, el mayor inconveniente que presenta es que su costo es casi el doble que el de la gasolina, ya que mientras que producir un barril de petróleo cuesta 23 dólares, producir un barril de etanol cuesta entre 30 y 40. En Brasil, por ejemplo, se alienta el uso del etanol como combustible mediante un gran subsidio por parte del gobierno.

En la actualidad, la mayor parte del etanol industrial proviene de la hidratación del etileno y, en consecuencia, es un derivado del petróleo o del gas natural. Otra forma de producir etanol es a partir de metanol. Cualquiera de estas dos formas de producirlo pueden competir en el aspecto económico con los procesos de fermentación.

Una de las ventajas que tiene el etanol es su relativamente fácil obtención a partir de productos baratos de cosecha como cereales, mandioca, caña de azúcar o melaza. Sin embargo, la producción de etanol vía fermentación tiene un elevado costo, del orden del doble que el costo del metanol; y más aún, los métodos usuales de producción consumen más combustible del que producen. La manufactura del alcohol a partir de materia prima agrícola se da a través de dos pasos: el bioquímico (catálisis enzimática) y el biológico (fermentación). La caña de azúcar puede rendir más de 4000 litros de etanol por hectárea al año. Otros beneficios de la caña son que el bagazo puede usarse como alimento para animales o quemarse en calderas para producir electricidad y el licor de desperdicio de la destilación es rico en potasio y puede usarse como fertilizante.

Con ajustes relativamente menores en el sector agrícola, las grandes cantidades adicionales de almidón derivado de excedentes de los granos de maíz pueden producir el EtOH suficiente para reemplazar una importante cantidad de gasolina.

El uso de las nuevas tecnologías para convertir la celulosa, puede proveer azúcares fermentables a partir de basureros municipales, basura agrícola y forestal. Además, el proceso de conversión de los substratos lignocelulósicos a EtOH de grado combustible, genera tal cantidad de energía en forma de coproductos (como lignina, biogas, y otros extractos) que hace posible la conversión de todo el proceso en energía. La relación del combustible líquido, que se usa en el proceso, con la que se genera es de uno a nueve, y puede ser mayor, ya que sólo se requiere combustible para el funcionamiento de la maquinaria agrícola.

Investigaciones recientes sugieren que, tanto el etanol como el metanol y los alcoholes mayores usados como cosolventes, pueden obtenerse a partir de la síntesis del gas derivado del carbón mediante modificaciones al proceso de síntesis del metanol.

La producción del etanol es la más costosa por galón en comparación con los otros combustibles alternativos.⁶⁰

Mientras que un kilogramo de gasolina rinde 42 megajulios, el de etanol rinde 30 megajulios. El EtOH tiene 68% de la energía, por unidad de volumen, de la gasolina. En comparación con un tanque de gasolina, el tanque de EtOH sería 1.25 veces más grande. El EtOH provee más energía que el MeOH, y cuando se compara con la gasolina, hay un incremento volumétrico medio de 30% en su consumo.

La combustión del EtOH produce 15% menos emisiones de NO_x que la combustión de la gasolina. También produce entre 20 y 30% menos monóxido de carbono que ésta. Por lo tanto, con el uso de EtOH las emisiones de CO son menores que usando MeOH, pero las emisiones de NO_x y combustible sin quemar son mayores.

Las emisiones de CO_2 con etanol producido a partir de celulosa (por ejemplo de madera), son 75% menores que las que produce la gasolina, y el aldehído predominante en las emisiones de la combustión del etanol es el acetaldehído.

El etanol es un líquido inflamable que debe ser manejado con las mismas precauciones de seguridad que la gasolina: se deben evitar

⁶⁰ *Idem.*

las chispas y las flamas. A diferencia del metanol, la combustión del etanol produce una flama luminosa. Con respecto a la inflamabilidad, el etanol es un poco menos inflamable que el metanol, pero puede ser explosivo en el espacio de vapor del tanque.

En el etanol puro no hay presencia de compuestos cancerígenos. No obstante, ya que la gasolina sí contiene compuestos cancerígenos, el E85 debe ser considerado cancerígeno.⁶¹ &

⁶¹ *Idem.*

Otras dos alternativas: electricidad e hidrógeno



ELECTRICIDAD

La principal ventaja de los vehículos eléctricos es que no generan emisiones de escape. Por lo tanto, los dueños de tales aparatos se pueden sentir contentos de que no contaminan el ambiente. Aunque, para ser realistas, los vehículos eléctricos si generan emisiones aunque indirectamente, ya que las plantas de energía que producen la electricidad sí lo hacen.

El uso de la electricidad para el transporte no es nada nuevo, ya desde 1891 se producían este tipo de vehículos en Europa y para 1900, 38% de los autos estadounidenses usaban baterías.⁶²

La electricidad es el único combustible alternativo en el que la potencia se produce directamente (los vehículos eléctricos (VE) son movidos por motores eléctricos), a diferencia de los otros combustibles que liberan la energía que poseen almacenada mediante el proceso de la combustión.

La conveniencia del uso de vehículos eléctricos debe ser determinada por necesidades tales como la distancia, las condiciones de recarga, la velocidad, la frecuencia de los viajes, las características del camino, la temperatura ambiente y la carga útil que se desea transportar.

⁶² Schifter, I., 1998, p. 113.

En la actualidad estos vehículos se utilizan para el transporte o reparto de mercancías, para viajes frecuentes dentro de fábricas, para patrullajes de vigilancia o para paseos en las ciudades o en los parques.

Este tipo de vehículos ofrecen a los pasajeros un agradable ambiente que está casi totalmente libre de ruido y de emisiones. El problema es que los recorridos y la velocidad son limitados, y el tiempo típico de recarga es de seis a ocho horas.

La elevada eficiencia energética y los bajos costos de mantenimiento hacen que los vehículos eléctricos tengan menores costos de operación que las máquinas de combustión interna.

En un vehículo eléctrico, la energía se almacena en baterías que alimentan al motor. Las baterías más comunes en la actualidad son las de plomo ácidas, porque son las más económicas. Sin embargo, el desarrollo de las baterías es el factor más importante para la evolución de los vehículos eléctricos. Se han desarrollado una gran cantidad de baterías que incluyen: hidruro de níquel metálico, sulfuro de sodio, níquel-cadmio, hierro-níquel, aire-zinc y las del ion litio, entre otras, las cuales ofrecen un peso significativamente menor y un mejor funcionamiento, pero su principal desventaja sigue siendo el alto costo.⁶³

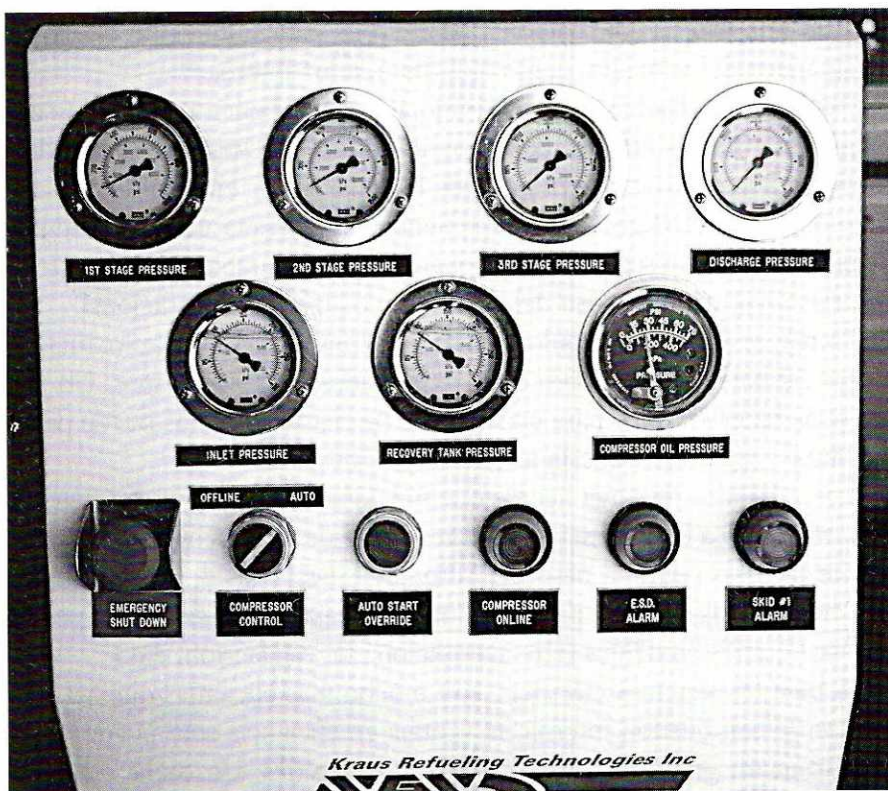
OBTENCIÓN

La electricidad es producida en plantas de energía ubicadas en varios puntos del país. De allí se transmite a las subestaciones (por medio de líneas de alto voltaje), en donde se reduce el voltaje y se lleva a los hogares y negocios por las redes de distribución.

En México la electricidad es producida y distribuida por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Actualmente, la electricidad utilizada por los vehículos proviene por lo general de las baterías, pero también se están investigando y desarrollando las celdas de combustible. Las baterías son aparatos que almace-

⁶³ Energy Information Administration, 1994.



nan energía, y las celdas de combustible, por el contrario, convierten la energía química en electricidad.

FUNCIONAMIENTO

Los vehículos eléctricos funcionan con baterías, de hasta 300 volts, que generalmente se localizan en la cajuela o debajo del vehículo. También utilizan una batería convencional de 12 volts para suministrar energía a los aparatos del vehículo, como la radio o la luz interna.⁶⁴

Actualmente las baterías de plomo ácidas contienen una energía específica de 30.6 watt-hora por kilogramo (104 BTU/Kg). Esta cantidad representa la cuatrocientava parte de la densidad de energía de la gasolina (42,000 BTU/Kg).⁶⁵ En consecuencia, se necesita un gran número de baterías para conseguir un funcionamiento comparable, y el número de baterías incrementa el peso del vehículo y ocupa espacio adicional.

La mayoría de los vehículos eléctricos actuales necesitan aproximadamente 30 baterías que deben ser reemplazadas a los pocos años. Un paquete de baterías típico para un vehículo de cuatro pasajeros puede pesar 500 kg y cada batería cuesta alrededor de 500 pesos.

Los vehículos de carga ligeros que funcionan con electricidad pueden recorrer de 70 a 80 kilómetros.⁶⁶ El recorrido de estos vehículos se reduce por factores como el peso del automóvil, las largas distancias a altas velocidades, las subidas pronunciadas, las bajas temperaturas y por el uso de equipos auxiliares (aire acondicionado, calefacción, etc.).

Si bien los sistemas eléctricos son mucho más eficientes que las máquinas de combustión interna, la ventaja en eficiencia sólo puede compensar en un grado menor la diferencia energética. Un coche eléctrico que funciona con baterías ácidas de plomo puede necesitar 0.26 kilowatt-hora (kw/h) por kilómetro o alrededor de 0.9 BTU, mientras que un vehículo a gasolina típico rinde más de 12 kilómetros por litro o por cada

⁶⁴ Department of Transportation's National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA, 1999.

⁶⁵ Energy Information Administration, 1994.

⁶⁶ *Idem*.

2.4 BTU. Esto significa que el sistema eléctrico tiene una ventaja en cuanto a eficiencia de 2.7 a 1 sobre los sistemas de ignición por chispa, pero esto no borra la desventaja en cuanto a densidad de energía (de 400 a 1).

COSTOS

Utilizar un vehículo eléctrico implica hacer un gasto mayor para su adquisición, pero los costos del combustible y del mantenimiento son menores. Además, los VE tienen menos piezas que deban ser reparadas o cambiadas.

El precio de la electricidad doméstica es de 40 centavos por kilowatt/hora (kw/h), por lo que es de esperarse que la electricidad resulte el combustible para transporte de menor costo por kilómetro, sobre todo si la carga se realiza fuera de las horas pico (de preferencia la carga se debe hacer por las noches).⁶⁷

Los fabricantes de automóviles todavía no producen vehículos eléctricos en masa para vender al público.

El costo de un vehículo eléctrico varía dependiendo de factores como el uso que se le va a dar, el tipo y la cantidad de baterías usadas. En Estados Unidos el costo promedio de los vehículos eléctricos de carga ligera se ubica entre 20 y 40 mil dólares.

CARACTERÍSTICAS DE LA RECARGA

La recarga de los vehículos eléctricos ha generado un nuevo significado del “reabastecimiento de un vehículo” y puede llegar a acabar con los rutinarios viajes a las estaciones de servicio. Los sistemas de recarga para estos vehículos generalmente están localizados en donde éste se estacionan durante largos periodos de tiempo, como las cocheras de las casas. También pueden estar ubicados en estacionamientos públicos o en sitios de trabajo.

Aún cuando los VE generalmente tienen rendimientos limitados, la dis-

⁶⁷ California Energy Commission, 1995.

ponibilidad de estaciones de carga públicas para recargas parciales o totales ayudará a crear un mercado de clientes confiados y a aumentar su uso. Estas estaciones de recarga se pueden ubicar en lugares como los estacionamientos, los centros comerciales, los sitios de trabajo y los aeropuertos.

La industria de los VE está desarrollando dos tipos diferentes de sistemas para cargar electricidad. Uno es de carga conductiva que usa la tecnología estándar de enchufes, y el otro es el cargado inductivo que permite que la corriente alterna (CA) pase magnéticamente de la fuente de poder al vehículo sin necesidad de una conexión directa. Actualmente se consideran tres clases de cargado:⁶⁸

Nivel 1: La carga que puede realizarse desde una toma corriente de 120 volts como la de todos los hogares.

Nivel 2: la carga puede hacerse en estaciones públicas a 240 volts y 40 amperes.

Nivel 3: Una tecnología de carga de alto poder que actualmente está en desarrollo, que proveerá una carga en 5-10 minutos, tiempo casi similar al llenado de los tanques de gasolina.

De estos tres niveles de carga, se espera que el Nivel 2 sea el preferido por los consumidores, porque opera a una velocidad cinco veces mayor que el Nivel 1 y cubre las necesidades típicas de los conductores al cargar en 3-5 horas diarias. El problema del nivel 3, es que las recargas se podrían dar en las horas pico de consumo eléctrico, ocasionando costosos gastos en el sistema de distribución y posibles problemas en el abasto de electricidad. Sin embargo, esto podría evitarse mediante un aumento en los precios de la energía en las horas pico.

SEGURIDAD

Una de las ventajas en cuanto a seguridad en comparación con otros combustibles alternativos, es que todos estamos familiarizados con los peligros asociados con la energía eléctrica.

⁶⁸ Según la National Electric Vehicle Infrastructure Working Council, IWC.

Las baterías deben ser manejadas con cuidado durante la recarga y cuando se quitan o colocan, ya que los derrames de ácido o las descargas eléctricas son peligros potenciales. Los choques eléctricos se pueden evitar mediante un apropiado entrenamiento, tanto de los mecánicos como de los usuarios.

El ácido sulfúrico que contienen las baterías es tóxico y corrosivo, por lo que se debe evitar el contacto directo, la inhalación y la ingestión. Si se derrama sobre la piel u ojos se debe lavar la zona afectada de inmediato con abundante agua durante 15 minutos como mínimo. El daño ocasionado por el ácido puede evitarse si las baterías son revisadas periódicamente.

Las baterías ácidas de plomo avanzadas usan una pasta o gel en vez de líquido y están selladas por lo que son menos propensas a sufrir derrames o fugas. Por otro lado, estas baterías emiten hidrógeno durante la recarga, un gas que no es tóxico pero sí explosivo. No obstante, como el hidrógeno es más ligero que el aire, se disipa rápidamente si la carga se realiza al aire libre o en sitios bien ventilados, por lo que se debe contemplar una ventilación adecuada. Otra precaución a tomar es que en áreas de carga de baterías que emiten gas no se debe encender cigarros ni flamas o provocar chispas. El hidrógeno es inflamable en un intervalo de concentraciones de 4.1 a 74% en el aire.⁶⁹

Es de esperar que todo vehículo eléctrico que sea vendido por los fabricantes del equipo original sea completamente respaldado por ellos. Las compañías de autos deberán entrenar técnicos como parte de sus operaciones normales y del mantenimiento adecuado del inventario de refacciones y de los sitios de servicio, para mantener perfectamente apoyado al vehículo en el mercado. Un buen curso de entrenamiento para el servicio de VE debe incluir los siguientes temas:

1. Fundamentos y peligros de la corriente alterna y de la directa (CD).
2. Precauciones durante las emergencias.

⁶⁹ Energy Information Administration, 1994.

3. Operación de los vehículos.
4. Seguridad en todos sus aspectos.
5. Inspección de las baterías.
6. Diagnóstico y reparaciones.
7. Aspectos ambientales.

También se debe ofrecer un entrenamiento a los conductores para que se sientan cómodos y confiados cuando manejen y recarguen sus vehículos. Tal curso debe incluir:

1. Fundamentos del vehículo eléctrico (cómo funciona y dónde se localizan sus componentes).
2. Medidas de seguridad y localización del interruptor de emergencia de la corriente.
3. Recarga del vehículo.

Las estaciones de carga para VE deben cumplir con los códigos existentes de seguridad. Las recargas se deben realizar en lugares apropiados con las condiciones de seguridad necesarias. Los cables utilizados para la carga deben cumplir con los requerimientos de los VE (temperatura, exposición a químicos, radiación ultravioleta, manejo, etc.), y se deben tomar las medidas de seguridad para evitar las descargas eléctricas sobre las personas.

No existen peligros específicos para la salud o el ambiente asociados con la transmisión y el uso de la electricidad.

MANTENIMIENTO

El paquete de baterías, y también estas de manera individual, se debe reemplazar regularmente. El tiempo de vida de las baterías depende del clima, la frecuencia de su uso y de los hábitos de recarga. Las baterías ácidas actuales alcanzan un rendimiento de entre 15 y 40 mil kilómetros, y en muchos casos sólo es necesario reemplazar una sola batería.

Las baterías gastadas son un problema ambiental importante porque son clasificadas como material peligroso y deben ser dispuestas apropiadamente. Aunque actualmente las baterías ácidas de plomo pueden ser recicladas, es conveniente que las baterías del futuro se fabriquen con

otros materiales, porque las baterías actuales contienen algunos materiales peligrosos y otros que son caros.⁷⁰

Por último, las baterías deben ser rellenadas con agua generalmente cada mes o cada 800 kilómetros, dependiendo del clima.⁷¹

PERSPECTIVAS

La comercialización en masa de los vehículos eléctricos está a 10-20 años. Los objetivos a largo plazo (poco espectaculares relativamente) son una aceleración de 0 a 60 km./hora en 9 segundos y un rendimiento promedio de 300 kilómetros por carga.⁷²

HIDRÓGENO

El hidrógeno como combustible tiene la particularidad de que no puede ser producido directamente como el petróleo o el gas natural, que se obtienen por simple perforación de pozos. El hidrógeno debe ser extraído químicamente de materiales ricos en él como el gas natural, el agua, el carbón o la materia vegetal.

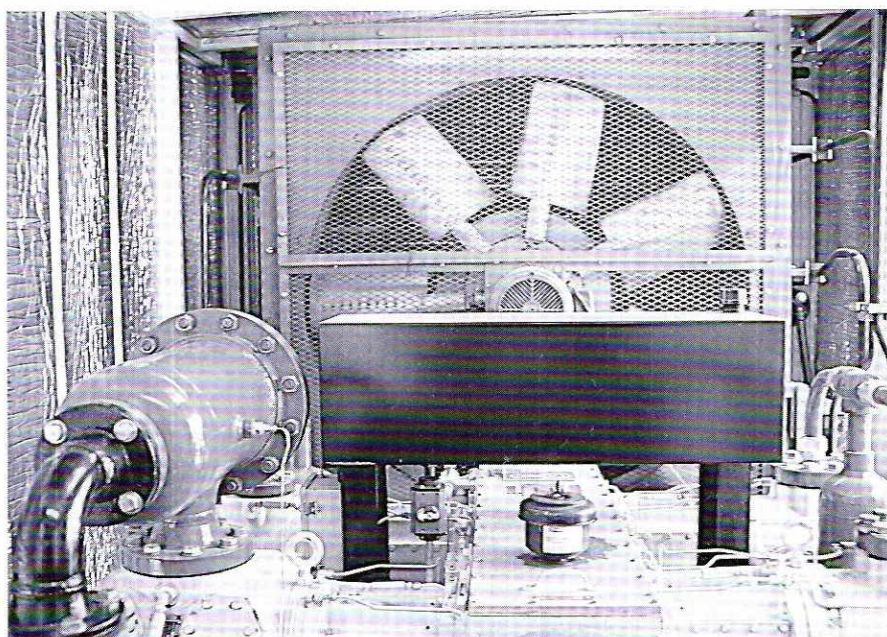
El proceso más económico es el "reformado", que es un proceso químico que forma hidrógeno a partir de una mezcla de hidrocarburos como el gas natural, y vapor de agua. Cuando se combina el vapor de agua con el metano del gas natural a altas temperaturas y presiones, una reacción química los convierte en hidrógeno y bióxido de carbono.

En la actualidad, el uso de hidrógeno en el transporte está limitado a vehículos experimentales. Algunos prototipos queman el hidrógeno directamente en los motores modificados de sus automóviles. Otros vehículos usan celdas de combustible que liberan hidrógeno para producir energía eléctrica, lo que los convierte en vehículos eléctricos alimentados con hidrógeno.

⁷⁰ Energy Information Administration, *Alternatives to Traditional Transportation Fuels*, DOE/EIA-0585/O, junio de 1994.

⁷¹ *Idem.*

⁷² Machine Design, 1998.



OBTENCIÓN

El hidrógeno no existe libre en la naturaleza; se obtiene por la “reformación” del metano, o con electricidad (electrólisis) para romper el agua en sus componentes (oxígeno e hidrógeno). De esta manera, el hidrógeno se puede obtener mediante procesos que van desde los que parten de una fuente que quema carbón con alto contenido de azufre, hasta las celdas fotovoltaicas que no contaminan.

La electrólisis utiliza energía para separar las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno, y será el método predominante en el futuro para la producción de grandes cantidades de hidrógeno. Como la electricidad y el agua se consiguen fácilmente, puede resultar más simple producir el hidrógeno a través de la electrólisis en el punto de venta que transportarlo hasta allí.

Actualmente, el método más usado para producir este gas es el reformado del gas natural, aunque otros HC también pueden ser usados como materia prima. Por ejemplo la biomasa y el carbón pueden ser gasificados y usados en el proceso de reformación para producir hidrógeno.

El almacenamiento del hidrógeno es problemático pero existen varias opciones promisorias como los hidruros de metales, el carbón y los sistemas hierro-agua. El hidrógeno también puede ser transportado como gas natural o metanol, utilizando un sistema “reformador” a bordo. El reformador es un aparato que rompe el combustible en CO_2 e hidrógeno.

La producción del hidrógeno se puede dar a través de reacciones químicas (con Cu, Fe, H_2O , CO, etc.) utilizando el calor residual de las máquinas de combustión interna.

CARACTERÍSTICAS

El hidrógeno (H_2) es el combustible más simple y ligero. A temperatura y presión ambiente es un gas que presenta una mayor dificultad para su transporte y almacenamiento que el que existe para los combustibles líquidos. Los sistemas de almacenamiento que se han desarrollado incluyen hidrógeno comprimido, hidrógeno líquido y la unión química entre hidrógeno y un material almacenado (como hidruros metálicos).

El hidrógeno como combustible no es puro, ya que contiene pequeñas cantidades de oxígeno y de otros materiales.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

El hidrógeno es llamado el combustible “más alternativo” de los alternativos, porque se puede generar mediante electrólisis del agua usando electricidad de fuentes no contaminantes como el viento o la energía solar. De esta manera no se generan contaminantes de ninguna especie por combustión en los motores, excepto por las cantidades traza de óxidos de nitrógeno; pero aun así, si es usado en celdas de combustible, inclusive estas emisiones desaparecen. Además, no se generan gases invernadero porque el combustible no contiene carbón. Todo lo que estos vehículos emiten es agua potable!

Al usar hidrógeno como la “batería” para guardar la energía de una fuente no contaminante, la fuente renovable se convierte en una verdadera fuente ilimitada de combustible.

Una de las desventajas del hidrógeno es que es bastante caro, no porque sea raro (es el elemento más común en el Universo) sino por la dificultad para producirlo, manejarlo y almacenarlo, que requiere de pesados y voluminosos tanques como los que se usan para guardar GNC, o de complejos frascos aislantes si se guarda como un líquido criogénico (super frío) como el GNL.

El hidrógeno no es un combustible muy bueno para máquinas de combustión interna, porque es propenso a la preignición. La mejor manera de utilizarlo es en celdas de combustible en vehículos eléctricos híbridos, que todavía están en una etapa experimental. Estos vehículos pueden funcionar con metanol o inclusive con gasolina, porque resulta más fácil almacenar un combustible líquido y “reformarlo” a bordo para generar hidrógeno para la celda de combustible, que generar el hidrógeno en otros sitio y transportarlo en grandes tanques.

SEGURIDAD

Tratar con el hidrógeno es difícil debido a sus propiedades físicas. La densidad de este gas es muy baja (un quinceavo de la del aire), por lo tanto, para muchas aplicaciones resulta necesario comprimirlo o licuarlo. El problema principal para usarlo comprimido en vehículos es el peso del tanque de alta presión que se requiere para guardarlo. Afortunadamente, la densidad de energía del hidrógeno es muy alta: 1 kg de hidrógeno contiene aproximadamente 2.5 veces más energía que 1 kg de gas natural.

Las alternativas para los tanques de hidrógeno comprimido incluyen el hidrógeno licuado, el convertidor a bordo alimentado por metanol que produce hidrógeno y el almacenamiento del hidrógeno en sistemas híbridos metálicos.

Para su distribución a granel, la manera más común es licuado y transportado en pipas. A presión atmosférica, el hidrógeno líquido (H_2L) ebulle a $-253^\circ C$, y requiere un aislamiento especial para mantener sus características el mayor tiempo posible.

La propiedad física del hidrógeno que produce el riesgo de fuego más significativo, es el intervalo extremadamente amplio de sus límites de inflamabilidad, que van desde 4 hasta 75% en volumen. Cualquier fuga de hidrógeno al aire produce un volumen mucho más grande de mezcla inflamable que una cantidad equivalente de cualquiera de los otros combustibles alternativos.

Más importante resulta el hecho de que el potencial de explosividad o de detonación de la mezcla hidrógeno-aire es muy alto. La energía de ignición para estas mezclas es mucho menor que para las mezclas de HC-aire. Chispas de muy baja energía, como las descargas producidas por la electricidad estática, pueden iniciar la ignición; y si el gas encendido está confinado la presión resultante puede provocar una detonación.

Otra de las propiedades interesantes del hidrógeno es que como gas es más propenso a las fugas que otros combustibles gaseosos por el tamaño relativamente pequeño de sus moléculas. Como el hidrógeno es un gas incoloro e inodoro, las fugas no pueden ser detectadas a menos que

se le añade un odorante o un colorante, y la flama del hidrógeno es invisible a la luz del día por lo que representa un peligro extra.

El hidrógeno se difunde dentro del acero y otros metales provocando un fenómeno llamado “resquebrajamiento”. Esto resulta un problema serio para cualquier situación que involucre el almacenamiento o la transferencia de hidrógeno gaseoso bajo presión.

El H₂L es muy peligroso para el personal que trabaja con él por las quemaduras criogénicas que resultan del contacto directo con el líquido, los metales y, en menor grado, los vapores fríos.

RIEGOS PARA LA SALUD

El hidrógeno no es considerado tóxico. Sin embargo, puede ser un asfixiante de peligro para la salud porque puede desplazar el oxígeno del aire en un ambiente encerrado. Pero no representa un peligro significativo para el ambiente.

CELDAS DE COMBUSTIBLE

Una celda de combustible convierte la energía química de un combustible en electricidad y calor sin un proceso de combustión como paso intermedio. La diferencia con las baterías, es que estas celdas no necesitan ser recargadas porque son alimentadas continuamente con combustible almacenado fuera de la celda (hidrógeno o compuesto ricos en él).

Un vehículo que funciona con una celda de combustible puede resultar altamente eficiente y reducir las emisiones significativamente. Este tipo de vehículos resultan extremadamente silenciosos y producen muy pocas vibraciones.

El hidrógeno resulta óptimo como combustible para las celdas de combustible porque reacciona con el oxígeno para producir electricidad, calor y vapor de agua. Almacenar hidrógeno en un vehículo de celda de combustible simplifica mucho el diseño del sistema de propulsión y genera un sistema de energía eficiente, porque el procesamiento del combustible a bordo es innecesario. El hidrógeno es normalmente un gas,

por lo que se requiere un volumen relativamente grande para producir la energía necesaria para obtener el rendimiento esperado. Los vehículos requieren por lo menos de celdas de combustible de 80kW para un buen funcionamiento.

Actualmente, los métodos para almacenar hidrógeno en los vehículos que reciben mayor atención son dos: 1) gas natural comprimido en tanques a alta presión, y 2) hidrógeno líquido en tanques aislados a baja presión y temperatura. Los otros métodos continúan bajo observación.

Los vehículos de celda de combustible se están desarrollando para cumplir con las expectativas de los consumidores contemporáneos en lo que se refiere a seguridad, comodidad y costos. Para resultar competitivos en cuanto a costo, se requiere reducir radicalmente el costo de las celdas de combustible de los actuales 500dls/kW a por lo menos 50dls/kW.⁷³

Los vehículos con celda de combustible todavía no están a la venta, y su comercialización está más o menos a 10 años de distancia. ❧

⁷³ *Idem.*

Conclusiones



No cabe duda de que la gasolina seguirá siendo el combustible principal para automóviles en la Ciudad de México durante varias décadas. Sin embargo, el conocimiento y desarrollo de los combustibles alternativos resulta indispensable para asegurar el movimiento del transporte en el futuro y para su inmediata aplicación en los vehículos apropiados.

Hasta la fecha no existe un combustible alternativo, ni siquiera la electricidad, que haya demostrado capacidad para cumplir con todos los requisitos, como recorrido, potencia, costo, confiabilidad, comodidad y niveles de emisiones. Unos presentan ventajas en ciertas características y otros tienen otras cualidades.

Uno de los problemas principales para el uso de combustibles alternativos es su distribución, la cual depende más de su disponibilidad y de factores políticos y económicos, que de su funcionamiento en el vehículo. Es muy importante remarcar el hecho de que un motor diseñado para cierto combustible no permite aprovechar plenamente las ventajas que puede ofrecer otro tipo de combustible.

Se prevé que las flotas de automóviles incrementarán notoriamente su capacidad de ser cargadas con combustibles alternativos para el año 2010. Esto está en concordancia con la política global de energía para reducir significativamente el uso del petróleo en el sector transporte. Para lograrlo, resulta básico que los precios de la gasolina sufran un agudo incremento y que se den incentivos regulatorios. De la misma manera, los requerimientos en cuanto a los límites de emisiones de los automóviles

deberán ser cada vez más estrictos hasta llegar al nivel de cero emisiones, que es la tendencia mundial.

Las únicas alternativas conocidas hasta hoy para reducir los altos índices de ozono son la disminución del consumo de combustibles fósiles, la extensión del uso de convertidores catalíticos a los coches antiguos y la sustitución de las sustancias precursoras del ozono.

Las acciones para el control de los precursores del ozono, pueden tener resultado a mediano plazo sobre los niveles de este contaminante. A corto plazo la fluctuación y las altas concentraciones de ozono dependerán principalmente de las variaciones de los factores meteorológicos.

Si bien el cambio a una gasolina de mejor calidad está funcionando, las mejoras en la limpieza del aire que se pueden lograr mediante el uso de combustibles fósiles reformulados no pueden ser dramáticas.

El Gobierno debe promover el uso de combustibles alternativos en el transporte y ayudar a que sean aceptados. Debe cubrir el sobrecosto de estos vehículos en relación al precio de un vehículo convencional, apoyar a las empresas automotrices y la investigación, el desarrollo y las demostraciones de tales vehículos y combustibles.

Los incentivos económicos se pueden ofrecer en principio a los vehículos usados en negocios o flotas privadas y en el sector público. Tales incentivos pueden incluir deducciones de impuestos al comprar vehículos alternativos o al convertir los tradicionales en vca y rebajas en la compra del combustible.

El Gobierno de la Ciudad de México ha venido trabajando en varios de tales puntos en conjunto con otras dependencias oficiales como Pemex y Semarnap. Falta bastante por hacer pero lo importante es que ya se ha comenzado. ☞

Glosario



ABREVIATURAS, SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS

ALDF Asamblea Legislativa del Distrito Federal.

BTU Unidad de calor británica, abreviatura de British Thermal Unit.

CA Corriente alterna.

CD Corriente directa.

CFE Comisión Federal de Electricidad.

CH₄ Metano.

CO Monóxido de carbono.

CO₂ Bióxido de carbono.

E85 Mezcla de 15% de etanol con gasolina.

E100 Etanol puro.

EtOH Etanol.

GDF Gobierno del Distrito Federal.

GNC Gas natural comprimido

GNL Gas natural licuado.

H₂L Hidrógeno líquido

HC Hidrocarburos.

HCT Hidrocarburos totales.

INE Instituto Nacional de Ecología

kg kilogramo

GLP Gas de petróleo licuado

M85 Mezcla de gasolina con 15% de metanol.

M100 Metanol puro.

MeOH Metanol.

MTBE Metil Tert-Butil Éter.

MON (Motor Octane Number). Número de Octano de Motor.

NO₂ Bióxido de nitrógeno.

NO_x Óxidos de nitrógeno

O₃ Ozono

ppm Partes por millón.

Profepa Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

psi (Pounds per square inch). Libras por pulgada cuadrada.

RON (Research Octane Number). Número de octano de investigación.

SO₂ Bióxido de azufre

UV Radiación ultravioleta

VCA Vehículo de combustible alternativo.

VE Vehículos eléctricos.

VGN Vehículo de gas natural

ZMCM Zona Metropolitana de la Ciudad de México

TÉRMINOS

Aldehídos: compuestos químicos producto de la primera oxidación de los alcoholes.

Aromáticos: hidrocarburos con alto índice de octano que poseen un anillo de benceno en su estructura.

Atmósfera: mezcla gases que envuelve a la Tierra.

Benceno: compuesto aromático con un anillo de seis carbonos.

Biodegradable: sustancia que puede ser descompuesta por los procesos biológicos naturales.

Calor de vaporización: cantidad de energía necesaria para volatilizar una sustancia.

Cancerígeno: sustancia capaz de producir cáncer.

Capa de ozono: ozono que se encuentra en la estratósfera que nos protege de la radiación UV del Sol.

Combustible alternativo: combustible que esencialmente no es petróleo, que puede producir beneficios tanto de energía segura como ambientales. Los combustibles comúnmente considerados como tales son

las mezclas de metanol o etanol con gasolina (no menos de 70% de alcohol); el gas natural, el gas de petróleo licuado, la electricidad, el hidrógeno, los combustibles líquidos derivados del carbón y los combustibles derivados de materiales agrícolas y biológicos.

Combustible convencional: combustible derivado del petróleo.

Convertidor catalítico: dispositivo para la reducción de las emisiones contaminantes de los automóviles.

Corrosión: destrucción superficial de los materiales por efecto de la oxidación.

Criogénico: temperaturas muy bajas.

E85: combustible para motores que es una mezcla de 85% de etanol y 15%, en volumen, de gasolina sin plomo.

Efecto invernadero: calentamiento de la atmósfera ocasionado por la generación de CO_2 y otros gases.

Electrólisis: reacción química que se produce por el paso de una corriente eléctrica continua.

Energía: capacidad para generar trabajo mecánico o su equivalente.

Estratósfera: región de la atmósfera situada entre 10 y 40 kilómetros de altura. Es en donde se forma casi todo el ozono.

Etanol: (también llamado alcohol etílico, alcohol de granos o $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$): líquido incoloro e inflamable que se obtiene por la fermentación de diversos granos.

Gas de Petróleo Licuado: hidrocarburo incoloro, gaseoso en condiciones atmosféricas. Se obtiene del procesamiento del gas natural o de la refinación del petróleo.

Gas inerte: gas que no reacciona fácilmente.

Gas natural: mezcla de hidrocarburos gaseosos, principalmente metano. Se da naturalmente en la tierra y se usa principalmente como combustible.

Gas natural comprimido: gas natural que se halla en estado líquido como efecto de su compresión a altas presiones.

Gas natural licuado: gas natural que ha sido condensado en un líquido por enfriamiento.

Gasohol: En los Estados Unidos, el gasohol se refiere a la gasolina que contiene 10%, en volumen, de etanol. Este término se utilizó a finales de

los setenta y principio de los ochenta pero ha sido reemplazado por nombres como E-10, Super sin plomo con etanol o Sin Plomo Plus.

Gasolina reformulada: Gasolina que ha visto alterada su composición o sus características para reducir las emisiones vehiculares de contaminantes.

Hulla: Combustible mineral fósil derivado de la transformación de los vegetales durante millones de años.

Ignición por compresión: Es la forma de ignición que da inicio a la combustión en los motores a diesel. La rápida compresión del aire dentro de los cilindros genera el calor necesario para que el combustible entre en ignición conforme es inyectado.

Imeca: Índice Metropolitano de Calidad del Aire que establece límites de ciertos contaminantes del aire (ozono, monóxido de carbono, bióxido de nitrógeno, plomo, partículas y óxidos de azufre).

Índice de octano: Medida de la habilidad de la gasolina para resistir los golpeteos de la máquina. El índice es igual a $(R+M)/2$.

Instituto Nacional de Ecología: Secretaría gubernamental que es responsable de la protección del medio ambiente.

Inversión térmica: situación que se da en la atmósfera inferior cuando decrece la velocidad normal con la que la temperatura baja al subir la altitud; debido a que no se produce la elevación normal de los contaminantes, estos se acumulan en la capa de aire estancada justo sobre el suelo.

Libras por pulgada cuadrada: medida de presión.

Límites de inflamabilidad: intervalo en el cual la concentración del combustible en el aire soporta la combustión. Una concentración por debajo del límite inferior de inflamabilidad no producirá fuego porque no hay suficiente combustible. Por encima del límite superior tampoco se encenderá porque el combustible está en exceso.

Lluvia ácida: fenómeno químico y atmosférico ocasionado por las emisiones de compuestos de sulfuro y de nitrógeno.

M85: Combustible para motor compuesto por 85%, en volumen, de metanol y 15% de gasolina sin plomo.

Metano (CH_4): El hidrocarburo más simple y el principal constituyente del gas natural.

Metanol: (también llamado alcohol metílico, alcohol de madera, CH_3OH). Líquido incoloro, inoloro, insípido, inflamable y venenoso. Se obtiene industrialmente en los procesos petroquímicos.

Motor de ignición por chispa: máquina de combustión interna en la cual el combustible es encendido eléctricamente.

Número de cetano: medida de la calidad de ignición del diesel; el equivalente del octano para el diesel.

Número de octano: medida de la resistencia de los combustibles a la autoignición y de su tendencia al golpeteo en los motores de ignición por chispa. El diesel tiene un bajo número de octano y la gasolina y el alcohol tienen altos valores de octano y se pueden usar para motores de ignición por chispa.

Octano: capacidad de un combustible para resistir las detonaciones de la máquina generadas por la combustión.

Octanaje de bomba: el octano del combustible que se vende al menudeo en las gasolineras. Se calcula mediante la relación $(R+M)/2$, que es el Índice de Octano.

Octano de investigación: octanaje probado en un cilindro simple de una máquina de pruebas operada bajo condiciones de operación menos severas que el octano de motor. El Número de Octano de investigación (*Research Octane Number* RON) involucra el golpeteo en el motor a velocidades bajas y medias. El octano de investigación es representado por la letra R en la ecuación $(R+M)/2$ y es el mayor de los dos números.

Octano de motor: octanaje probado en un cilindro sencillo de un motor de pruebas bajo las más severas condiciones de operación. El número de octano de motor (NOM) afecta el golpeteo del motor a altas velocidades y su funcionamiento bajo condiciones de operación con carga, de tráfico, en subida y otras. El octano de motor es designado por la letra M en la ecuación $(R+M)/2$ y es el menor de los dos números.

Óxidos de nitrógeno: gases contaminantes compuestos por nitrógeno y oxígeno; se les denomina NO_x en donde la x representa cualquier proporción de oxígeno o nitrógeno (NO , NO_2 , N_2O_3).

Ozono (O_3): estado alotrópico del oxígeno (O_2) que se forma cuando el oxígeno reacciona con otro compuesto en presencia de luz solar. En la

parte superior de la atmósfera protege la Tierra de los rayos ultravioletas del Sol. A nivel del suelo es un irritante respiratorio y se le considera un contaminante.

Partes por millón (ppm): medida de concentración.

Partículas suspendidas: partículas de materia que flotan en la atmósfera. Proviene de la erosión del suelo y de reacciones entre contaminantes.

Pemex: Petróleos Mexicanos es una compañía paraestatal que se encarga de la extracción del petróleo así como de su refinación para producir gas natural, gasolina, diesel y otros combustibles y derivados para la industria petroquímica.

Propano: ver gas de petróleo licuado.

Radiación infrarroja: parte del espectro de la luz.

Radiación ultravioleta: luz invisible de alta energía que puede dañar los tejidos.

Relación aire-combustible: proporción de peso entre el aire y el combustible que se alimentan durante la combustión.

Relación de compresión: capacidad del combustible para soportar la compresión del pistón en el motor.

Smog: compleja mezcla de compuestos químicos formados en la atmósfera como resultado de las reacciones entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos.

Toxicidad: capacidad de una sustancia química de producir daño a un organismo animal.

Tóxico: cualquier sustancia que es venenosa.

Unidad de calor británica: unidad estándar para medir la energía calorífica. Un BTU representa la cantidad de calor requerido para elevar una libra de agua un grado Fahrenheit (al nivel del mar).

Vehículo bicomcombustible: vehículo diseñado para funcionar con una combinación de combustibles alternativos, tales como GNC o GLP, y un combustible convencional, como gasolina o diesel.

Vehículo dedicado: vehículo que funciona únicamente con un combustible.

Vehículo dual: vehículo con capacidad para elegir entre dos combustibles.

Vehículo eléctrico: Vehículo que funciona con electricidad que generalmente proviene de baterías pero que también puede provenir de celdas fotovoltaicas o de celdas de combustible.

Vehículo flexible: vehículo con dos sistemas de combustible separados diseñado para funcionar tanto con un combustible alternativo como con uno convencional. &

Bibliografía



- Air Surrey, 1998, IR 101, 16 de agosto.
- American Methanol Institute, "Methanol in the Environment", Fact Sheet núm. 4, 1998.
- Andrade, V. y Sánchez, H., *Educación Ambiental: Ecología*, Trillas, México, 1997.
- Battelle Memorial Institute, *Clean Fleet Final Report*, diciembre de 1995.
- Bauer, M. y Quintanilla, J., *Ambiente, Petróleo y Ciudad, Pemex: Ambiente y Energía. Los Retos del Futuro*, Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM, Pemex. México, 1995.
- Beltrán, M., *El Mundo en Peligro*, Fernández Editores, México, 1997.
- California Energy Commission, *ABCs of AFVs - A Guide to Alternative Fuel Vehicles*, enero de 1995.
- California Energy Commission, "Infrastructure for Alternative Fuel Vehicles", publicación núm. P500-95-004, junio de 1995.
- Department of Energy, *Introduction to Alternative Fuel Vehicles Office of Alternative Fuels*, Office of Transportation Technologies, Conservation and Renewable Energy, enero de 1997.
- Department of Transportation's National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), DOT HS 808 400, U.S. <http://www.nhtsa.dot.gov>, 1999.
- Departamento del Distrito Federal, "Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica en la Zona metropolitana de la Ciudad de México. D.F.", octubre de 1990.
- Energy Commission, "Infrastructure for Alternative Fuel Vehicles Cali-

- fornia”, publicación núm. P500-95-004, junio de 1995.
- Energy Polycy Act (EPACT), 1992.
- Energy Information Administration, *Alternatives to Traditional Transportation Fuels*, DOE/EIA-0585/O, junio de 1994.
- Estrada O., S. y Castañeda, S., G., *Lineamientos para la Elaboración y Desarrollo del Programa Voluntario de Gestión Ambiental de la Industria en México*, Semarnap y PNUMA, México 1997.
- Government Secretariat, *Frequently Asked Questions About LPG Emissions*, Planning, Environment and Lands Bureau, octubre de 1998.
- Gutiérrez R., J. et al., *Educación Ambiental: Distrito Federal*, Limusa-Noriega Editores, México, 1997.
- Harte, J., et al., *Toxics A to Z. A guide to everyday pollution hazards*, University of California Press, E.U., 1991.
- Leal, M. et al., *Temas Ambientales: Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. GDF, UNAM Y Secretaría de Ecología del Estado de México, México, 1996.
- Limusa-Noriega Editores, *Testimonios: Medio Ambiente de la Ciudad de México 1994-1997*, Limusa-Noriega Editores, México, 1997.
- Machine Design, 1998, 6 de agosto, pp. 68-72.
- Quadri, G. y Sánchez, L., *La zona metropolitana y la contaminación atmosférica*, Limusa-Noriega Editores, México, 1992.
- RP Publishing Inc., *A Fleet Manager's Guide to Natural Gas Vehicles*, 1995.
- SAE Handbook (1984). Vol. 3: Engines, Fuels, Lubricants, Emissions and Noise; Engineering Data Book, Vol. II, Section 23: Physical Properties, Tenth Edition, 1987, Published by The Gas Processors Suppliers Association; Safety Analysis of Natural Gas Vehicles Transiting Highway Tunnels, EBASCO Service Inc., August 1989; American Petroleum Institute (API), Publication 4261.
- Schifter, I. y López S., E., *Usos y abusos de las gasolinas*, 1998. FCE, *La ciencia para todos*, 159, México.
- Secretaría de Energía, Reporte publicado el lunes 18 de octubre de 1999, *La Jornada*, pag. 31.
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, *Alter-*

nativas para un transporte limpio en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, México, 1997.

Semarnap, *Programa para mejorar la calidad del Aire en el Valle de México, 1995-2000*, marzo de 1996.

Vidrio, M., Coronado, C y López, C., *Abastecimiento de Hidrocarburos en la Ciudad de México*, Atlas de la Ciudad de México, Departamento del Distrito Federal y El Colegio de México, México, 1987.

El Gobierno del Distrito Federal, a través de su Comité Editorial, decidió publicar bajo el título de *Así funciona tu ciudad* una serie de cuadernos elaborados por investigadores y académicos de diversas instituciones de enseñanza superior del país, que sin demérito de su carácter científico y técnico, intentan proporcionar de manera accesible al ciudadano un conocimiento y una comprensión sobre el funcionamiento real de la ciudad en distintas materias y servicios, tales como: servicio de limpia y manejo de residuos sólidos, transporte, sistema de espacios abiertos, cuidado del medio ambiente, sistema de drenaje, comercio informal o ambulante, etcétera.

La idea básica que anima a la colección es el reconocimiento de que en una democracia, una mayor información conlleva una mejor y mayor participación del ciudadano, y en consecuencia, una exigencia más consciente hacia su gobierno y una más estrecha colaboración.



CIUDAD DE MÉXICO

