

COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

Consuelo Montes de Correa.
Gildardo Hernández Saldarriaga.*

RESUMEN

En este artículo se hace una revisión sobre los principales combustibles que se han propuesto últimamente para disminuir las emisiones de compuestos contaminantes a la atmósfera, producidos como consecuencia del uso de la gasolina común. En cada caso se consideran tanto los aspectos ambientales como económicos. Desde el punto de vista económico parece ser que el menor costo de la gasolina y el diesel, harán que todavía durante algún tiempo, sea la gasolina el combustible más utilizado, seguido por el diesel. También se observa una tendencia creciente a implementar el gas natural comprimido, particularmente en el sector de buses y camiones. No obstante, se requiere extender el uso de la gasolina reformulada (GRF) y desarrollar nuevas tecnologías (convertidores catalíticos) para disminuir las emisiones de los motores que usan estos combustibles a los límites permisibles por las legislaciones ambientales cada vez más estrictas.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad cerca del 80 % de la demanda de combustibles para el transporte general: automotores, trenes, aviones y barcos, proviene de combustibles fósiles como el petróleo [1]. La gasolina y el diesel son los más usados en la actualidad. Los vehículos que operan con las gasolinas actuales emiten mezclas complejas de compuestos que conducen a la formación del smog fotoquímico, además muchos de estos compuestos son tóxicos. Se han hecho muchos esfuerzos por reducir la contaminación producida por los

vehículos operados con gasolina, pero cada año se incrementa el número de vehículos y el recorrido, de tal manera que las medidas actuales no son suficientes para resolver el problema en muchas de las grandes ciudades [2].

En general los COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS, son aquellos que debido a sus propiedades físicas y químicas son menos contaminantes que la gasolina convencional [2]. Es decir, las emisiones resultantes de la combustión contienen menos hidrocarburos, son menos activos en la formación de ozono y tienen menor toxicidad.

* Grupo Catálisis Ambiental, Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, Apartado Aéreo 1226, Medellín-Colombia

Los principales COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS [3] provenientes de fuentes fósiles son: el diesel, gas licuado del petróleo, gas natural comprimido, y el metanol producido a partir de gas natural o carbón. Los principales combustibles no fósiles son etanol e hidrógeno. La electricidad [2], así como la gasolina reformulada [4,5] también se consideran COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS, aunque la primera puede proceder de la quema de combustibles fósiles (carbón/crudo/gas). Se espera que las formulaciones de nuevas gasolinas permitirán reducir hasta un 25 % los efectos contaminantes de la gasolina tradicional [4,5].

A pesar de que el CO_2 se sigue considerando erróneamente un contaminante menor, es un gas que produce el efecto invernadero y perturba el balance del aire apropiado para la respiración [6, 14]. Es oportuno tener en cuenta el hecho de que los combustibles producidos a partir de biomasa y de gas natural contribuyen en menor proporción a la acumulación de dicho gas, producto de toda combustión.

Aunque actualmente cerca de ocho millones de vehículos funcionan en el mundo con mezclas que contienen COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS [3], es poco probable que en el futuro alcancen el amplio uso de la gasolina debido a que en general resultan más costosos. Sin embargo, dado el impacto desfavorable de los combustibles fósiles sobre el ambiente, se ha generado la búsqueda de fuentes de energía menos nocivas. En principio, esto permitirá disponer de nuevos combustibles en el comercio para que el usuario tenga la opción de escoger de acuerdo a su criterio económico y a su sensibilidad con respecto a la conservación del medio ambiente.

A continuación se presentan algunas consideraciones ambientales y económicas relacionadas con los principales combustibles utilizados en la actualidad en comparación con algunos de los principales COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS.

1. GASOLINA

1.1 Consideraciones Ambientales.

Las emisiones de los vehículos operados con gasolina contienen especialmente hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, monóxido y bióxido de carbono y agua [7]. Estos compuestos pueden disminuirse, de manera efectiva, mediante el uso de convertidores catalíticos de tres vías [8], que transforman los tres tipos de contaminantes en sustancias menos nocivas. Con los convertidores catalíticos se busca reducir hasta 90% de los precursores del «smog». Los vehículos operados con gasolina también emiten a la atmósfera compuestos orgánicos volátiles evaporados en los tanques de almacenamiento de combustible, carburadores y estaciones de servicio. Estas emisiones también pueden reducirse mediante el uso de lechos de carbón activado («canister»), tanques con doble techo, tapas con sello más hermético y unidades de recuperación de vapores [9].

Una característica importante en la eficiencia de la combustión de gasolina es el número de octano, que informa sobre el poder antidetonante del combustible, o sea la capacidad para evitar la autoignición antes del salto de la chispa, lo que induce detonaciones dañinas para el motor y hace ineficiente la combustión. Un número de octano alto no sólo impide las detonaciones sino que permite la obtención de una potencia sostenida [3]. Tradicionalmente, se adicionaba tetraetil-plomo para elevar efectiva y económicamente el octanaje de la gasolina. Sin embargo, debido a los efectos dañinos de las emisiones de plomo sobre la salud y a el efecto negativo sobre la actividad de los convertidores catalíticos, se ha recurrido a sustitutos, tales como éteres, cetonas y alcoholes [4]. Este cambio presenta algunas desventajas, pues el motor se torna menos eficiente con gasolina de menor octanaje, y se incrementa la emisión global de CO_2 . Los cambios en los procesos de refinación, implicados por la sustitución del plomo, también contribuyen a incrementar las emisiones de CO_2 . Así, pues, aunque la gasolina sin plomo asegura una disminución del

«smog» a nivel local, posiblemente tiene un impacto negativo sobre la calidad del aire, a nivel global, debido al aumento de las emisiones de CO_2 .

1.2 Consideraciones económicas

Actualmente la mayoría de los vehículos funcionan con gasolina porque se sigue considerando un combustible seguro, relativamente barato, que proporciona un buen desempeño del motor, dentro de un intervalo apropiado de capacidad, permitiendo además, un fácil almacenamiento[3].

2. COMBUSTIBLE DIESEL

El combustible diesel se obtiene en la destilación del crudo del petróleo y en operaciones de craqueo catalítico. El diesel está compuesto de hidrocarburos cuyo punto de ebullición se encuentra entre 150-400 °C. El diesel se produce normalmente mezclando diferentes corrientes o fracciones de refinería: aceite ligero, aceite pesado y querosene.

Los combustibles diesel son, por lo tanto, mezclas de hidrocarburos parafínicos, aromáticos y olefínicos, cuyas moléculas contienen 12 ó más átomos, lo cual explica la baja volatilidad con respecto a la gasolina, cuyos hidrocarburos componentes son más livianos. En un motor diesel el índice o número de cetanos informa sobre la característica antidetonante del combustible. El contenido de aromáticos determina el número de cetanos apropiado. La combustión del diesel es similar a la de la gasolina: los hidrocarburos se oxidan para dar CO_2 , vapor de agua y calor. La diferencia radica en el tipo de motor requerido para el proceso de combustión. El combustible se inyecta atomizado a la cámara de combustión que contiene aire a alta presión y temperatura, iniciándose así la combustión. Los motores diesel trabajan con relaciones de compresión mayores que las usadas en los motores de gasolina, dado el mayor poder antidetonante del combustible, lo que se traduce en una mayor eficiencia térmica y un menor consumo de combustible. El po-

der calorífico del diesel es 35.6 MJ/L en comparación con 31.9 MJ/L para la gasolina. La operación eficiente del motor diesel requiere que el combustible tenga una buena característica de ignición. En particular debe tener un corto retraso de ignición. A mayor número de cetanos, menor es el retraso de ignición y mejor la calidad del combustible.

2.1 Consideraciones Ambientales

El sistema de combustión diesel es muy eficiente. Las emisiones de CO e hidrocarburos son mucho menores que las de los motores de gasolina; aunque el uso de convertidores catalíticos en los vehículos de gasolina ha reducido esta desventaja. Una de las principales ventajas de los combustibles diesel es que emiten menos CO_2 por km recorrido que cualquier otro combustible de origen fósil. Las emisiones de benceno, butadieno y formaldehído son también muy bajas [3]. Los vehículos operados con motor diesel generan gran cantidad de hollín. No obstante, se han desarrollado trampas de partículas que actúan como postquemadores [15]. Por otro lado, se requiere el desarrollo de convertidores catalíticos que disminuyan las emisiones de NOx de estos motores a los límites permisibles [15].

Uno de los mayores problemas de los vehículos operados con diesel es el arranque y el funcionamiento en climas fríos. La temperatura es crítica para el encendido del motor, tanto como la operación continua, sin la formación de cera en los filtros y líneas de circulación de combustible. En regiones de clima frío se requiere un calentador de combustible o un combustible diesel con muy bajo contenido de cera [3].

Ultimamente, se ha incrementado el interés por disminuir el contenido de azufre de los combustibles diesel, pues es factor determinante en las características contaminantes de las emisiones [10]. La mayor parte del azufre se oxida y se emite en los gases de escape. Sin embargo, algo se emite como partículas contribuyendo más al deterioro ambiental. Desafortunadamente la remoción del

azufre del combustible diesel tiene consecuencias desfavorables, tales como fallas en el bombeo, pérdida de durabilidad del motor, incremento en el costo del combustible y en el contenido de CO₂ de las emisiones.

2.2 Consideraciones Económicas

Los vehículos diesel tienen menor consumo de combustible que los vehículos operados con gasolina y el mantenimiento es más barato. Sin embargo, los costos de capital son superiores porque la mayor relación de compresión demanda muchos más componentes, con más altos costos, que los requeridos para una potencia equivalente al motor de gasolina [3].

Para cumplir las regulaciones, se necesita equipo adicional de control que reduzca las emisiones de particulados y óxidos de nitrógeno en los motores diesel [10]. Los costos extras del motor y los costos de producir combustible diesel más limpio, pueden hacer los automotores diesel poco atractivos financieramente, a no ser que se establezca un precio diferencial subsidiado entre el diesel y la gasolina.

3. GAS LICUADO DEL PETROLEO (GLP)

El GLP se produce, con frecuencia, de gas natural crudo, cuando éste se procesa a gas natural de calidad superior. También se produce cuando se refina el petróleo crudo. El GLP es una mezcla de hidrocarburos ligeros, gaseosos a temperaturas y presiones normales, que pueden ser licuados fácilmente a presiones moderadas y temperaturas suficientemente bajas. El GLP es inodoro y por razones de seguridad se adicionan mercaptanos para hacer más detectables las fugas. Los principales componentes del GLP son el propano, el propileno y el butano [3].

3.1 Consideraciones Ambientales

Con GLP se estima que las emisiones de exhosto y evaporativas son aproximadamente 15% menores que en la gasolina. No se requiere plomo

ni otro aditivo para mejorar el octanaje. No obstante, las comparaciones hechas hasta ahora sobre los niveles de emisiones nocivas entre el GLP y la gasolina no son concluyentes. Algunos estudios recientes sugieren que las emisiones de vehículos operados con GLP pueden ser mucho más dañinas [3]. El GLP es también un recurso no renovable. Cuando se convierte a gas el volumen se incrementa 270 veces, lo cual indica que la forma líquida, alcanzada fácilmente, es una manera eficiente de almacenar grandes cantidades de gas.

3.2 Consideraciones Económicas

En términos económicos el GLP no es atractivo y requeriría de un subsidio, tal vez como exención de impuesto al consumo, para motivar a los usuarios que además deben cubrir los costos de conversión del motor para operar con GLP.

4. GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)

El gas natural comprende una mezcla de gases, principalmente hidrocarburos ligeros, encontrados en formaciones geológicas. El constituyente mayor es el metano que representa generalmente entre 87 y 97%, por volumen de los hidrocarburos según sea el origen del gas. Además de metano, el gas natural contiene también pequeños porcentajes de etano, propano, butano, pentano, nitrógeno, oxígeno y CO₂. El gas natural comprimido puede usarse como combustible en automotores.

4.1 Consideraciones Ambientales

Debido al alto octanaje, el gas natural comprimido, GNC, es un excelente combustible para motores de ignición por chispa. La conversión de motores de gasolina, en vehículos viejos, a motores operados con gas natural comprimido, no resulta difícil. Sin embargo, a medida que los sistemas de manejo del motor se hacen más complejos, las conversiones se hacen también más difíciles o la operación del motor no es óptima. Como cualquier gas, plantea riesgos durante las operaciones de llenado; pero cuando la operación y el mantenimiento son adecuados, las fugas de

GNC resultan mínimas [3]. Debe tenerse en cuenta que el efecto de invernadero provocado por el metano, es más severo que el efecto debido al CO₂.

Las emisiones de los automotores movidos con gas natural comprimido, dependen de la calidad de conversión lograda al adaptar el viejo motor de gasolina. Sin embargo, se ha observado que aun en los vehículos de gasolina más viejos, operados sin convertidores catalíticos, las emisiones de hidrocarburos diferentes al metano, CO y óxidos de nitrógeno, en los exhostos, disminuyen cuando funcionan con GNC [11].

La diferencia entre las emisiones de los automotores movidos por gasolina o gas natural comprimido, con convertidores catalíticos, es mínima; y en ambos casos las emisiones se reducen grandemente. Las emisiones de CO son iguales, mientras que las de óxidos de nitrógeno pueden ser ligeramente mayores en los vehículos operados con GNC. En general, parece que las emisiones de gases de invernadero, son menores cuando el motor funciona con gas natural comprimido, en lugar de gasolina [3].

El uso de GNC reduce substancialmente las emisiones de particulados, especialmente en los nuevos motores disponibles para buses y camiones, una de cuyas características es la de exhibir muy bajos niveles de emisiones de partículas, por lo que se espera una rápida penetración en el sector de las flotas de buses [11].

4.2 Consideraciones Económicas

Se estima que alrededor de medio millón de automotores funcionan actualmente con gas natural comprimido, principalmente en Italia, Nueva Zelanda y Canadá [3]. Muchos carros convertidos conservan sus tanques de gasolina y realmente son duales, caso en el cual los beneficios del GNC se reducen porque la relación de compresión y la eficiencia de los motores que han de operar dualmente no se pueden incrementar lo suficiente para aprovechar completamente el alto número de octano del gas natural comprimido.

El almacenamiento también es problemático, pues debido al bajo punto de ebullición, el gas debe almacenarse en tanques de alta presión, que son bastante pesados, reduciendo la capacidad de carga y el espacio útil en vehículos pequeños. Un automotor movido por GNC con un tanque de 75 litros es 150 kg más pesado que el mismo carro operado con gasolina.

Aunque es poco reactivo y no tóxico, el gas natural es menos pesado que el aire y rápidamente se esparce en la atmósfera si se presentan fugas, por lo cual también se odoriza, como el GLP, para hacerlo detectable. El aspecto económico del GNC no es favorable debido a que el costo de conversión es alto y el período entre llenados resulta inconvenientemente corto.

A pesar de la afirmación anterior, cuando se consideran conjuntamente los aspectos económicos y ambientales, el gas natural es la alternativa más viable, pues aunque los costos actuales de los buses operados con GNC son superiores a los costos de los buses que funcionan con diesel, se espera que la diferencia desaparezca con el tiempo. El uso de gas natural comprimido puede ser atractivo para los empresarios de buses si se subsidia con la exención del pago de impuesto.

5. METANOL

El metanol, o «alcohol de la madera», es un líquido claro, que puede ser obtenido no sólo de gas natural, carbón, crudo del petróleo y cosechas de biomasa, tales como madera y residuos de madera, sino también mediante síntesis catalítica directa: $\text{CO} + 2 \text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$.

El metanol se usa a veces como combustible en motores diseñados con propósitos competitivos de alta velocidad, ya que por su elevado octanaje permite el uso de altas relaciones de compresión, produciendo así más potencia que un motor equivalente de gasolina [3]. Los fabricantes más importantes han producido carros que funcionan con mezclas de 85% de metanol y 15% de gasolina (M85). Se han fabricado prototipos

para funcionar con metanol puro (M100), cuyas emisiones son significativamente más bajas que las de gasolina.

El metanol puro se puede mezclar con gasolina para mover vehículos flexibles en cuanto al uso del combustible, capaces de regular la relación metanol /gasolina alimentada al motor, de tal manera que el sistema de operación del mismo, pueda ajustar la relación aire/combustible apropiada para una buena combustión de la mezcla usada. La solubilidad del metanol en agua genera problemas. Las mezclas con gasolina no toleran más del 5% de metanol en vehículos corrientes, y sólo con adición de cosolventes para minimizar la separación de fases [3].

5.1 Consideraciones Ambientales [3]

El metanol puede reducir las emisiones de gases de invernadero, siempre y cuando se obtenga a partir de biomasa, pues el producido de gas natural, mediante la tecnología corriente, permite sólo un pequeño beneficio si se le compara con las emisiones de gases de invernadero relacionadas con la gasolina.

Aunque las emisiones de CO, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno son menores en automotores movidos por metanol, los gases de exhosto contienen formaldehído, un reconocido cancerígeno. El metanol puede también producir emisiones de combustible: metanol y metano, debido a una deficiente combustión, que sin embargo, no produce partículas de hollín ni óxidos de azufre. Además, la emisión de óxidos de nitrógeno es inferior que la de cualquier otro combustible.

5.2 Consideraciones Económicas [3]

El metanol resulta un combustible de alto costo comparado con la gasolina, pero relativamente barato si se compara con otras opciones; el manejo es peligroso, dada la alta toxicidad, el poder corrosivo y los efectos cancerígenos. Esto requiere modificar el sistema convencional del manejo

de combustible en el vehículo. El poder calorífico del metanol es menor que el de la gasolina, conduciendo a un consumo mayor por unidad de peso movido, o por km recorrido. Sin embargo, hay una cierta compensación, debido a que permite usar una mayor relación de compresión, con incremento de la eficiencia térmica y de la potencia obtenida.

6. ETANOL [3]

En la actualidad el etanol, o «alcohol de granos», es el combustible alternativo más usado en el planeta. El etanol se obtiene de productos agrícolas que contienen azúcar -caña de azúcar o remolacha- o de los productos que contienen almidón -maíz y trigo- o a partir de materiales celulósicos, usados como fuente de azúcar. El proceso de fermentación con levadura, convierte los azúcares a etanol y CO₂. El requerimiento de oxígeno para la combustión del etanol es también, como en el caso del metanol, menor que el de la gasolina. El etanol puede usarse puro, pero debido a que posee, como el metanol, un calor de vaporización mayor que el de la gasolina, el arranque del motor en frío es difícil. Sin embargo, el problema se reduce cuando se usan mezclas de gasolina con hasta 20% de etanol. El poder calorífico del etanol (21.2 MJ / L), es apenas 2/3 del correspondiente a la gasolina, pero exhibe una combustión con algunas características diferentes que pueden hacerlo más eficiente. El etanol es menos tóxico y corrosivo que el metanol, aunque el comportamiento técnico y las emisiones son similares.

6.1 Consideraciones Ambientales [3]

Un aspecto positivo es que el etanol se obtiene a partir de recursos renovables, y en algunos casos puede producirse de materiales de desecho. Sin embargo, también presenta dificultades: el grupo hidroxil (OH), le da alta afinidad con el agua, lo cual hace difícil su separación. Si una mezcla de etanol/gasolina se derramara, por cualquier razón, en una corriente de agua o drenaje, la gasolina podría recuperarse, pero el

etanol se disolvería en el agua y sería casi imposible recuperarlo, quedando el agua permanentemente contaminada. El etanol tiene la ventaja sobre la gasolina de biodegradarse y diluirse de manera más fácil y rápida, hasta alcanzar concentraciones no tóxicas.

Las áreas de tierra requeridas para cosechas con miras a la producción de alcohol son muy grandes, lo cual en muchos casos puede ser un gran impedimento. En cuanto a las emisiones relacionadas con el uso del etanol hay aspectos favorables como la disminución de CO, pero también hay aspectos desfavorables como el incremento en emisiones de aldehídos, que entre otros efectos nocivos son fuertes irritantes para los ojos. Las emisiones de gases de invernadero dependen de las materias primas usadas y del proceso de producción. Aunque el CO₂ del proceso de combustión es similar para los combustibles alcohólicos y la gasolina, en el mismo nivel de energía equivalente, se estima que las emisiones de los gases de invernadero fluctúan, en relación con las de la gasolina reemplazada, entre 30-180%, cuando el etanol se produce de maíz, y entre 0-115%, cuando procede de la madera.

6.2 Consideraciones económicas [3]

El etanol o metanol deben obtenerse de fracciones lignocelulósicas de biomasa con el fin de alcanzar reducciones significativas en las emisiones de gases de invernadero. Sin embargo, todavía falta demostrar que la producción a gran escala resulta técnica y económicamente viable. En la actualidad la producción de etanol es 2-3 veces más costosa que la producción de gasolina.

7. HIDRÓGENO [2]

El hidrógeno es el elemento más liviano de la naturaleza. Bajo condiciones normales es un gas incoloro, inodoro e insaboro, cuya combustión completa es muy limpia siempre y cuando la temperatura sea moderada, pues si se quema a temperaturas altas, el nitrógeno del aire usado para la combustión forma óxidos de nitrógeno. La tem-

peratura puede controlarse introduciendo agua a la mezcla hidrógeno/aire, mientras se mantenga una buena combustión; o también es posible moderar la temperatura de combustión trabajando con un exceso de aire, pues el hidrógeno es muy inflamable y se quema rápidamente incluso en mezclas diluidas. Su uso y distribución exigen medidas especiales de seguridad.

7.1 Consideraciones Ambientales [2,3]

El proceso de producción de hidrógeno puede involucrar indirectamente emisiones de CO₂, puesto que para producir hidrógeno por electrólisis se requiere electricidad, la cual, a menudo se obtiene en plantas de potencia operadas con combustibles fósiles. Entonces, para que el efecto ambiental total del hidrógeno resulte positivo, la electricidad usada en su producción debe ser generada de recursos renovables tales como energía solar, eólica o hidroeléctrica.

7.2 Consideraciones económicas [2,3]

El hidrógeno es un combustible de uso corriente en cohetes espaciales, pero algunos fabricantes de automotores están buscando el desarrollo de motores movidos por hidrógeno. La mayor dificultad técnica con el hidrógeno es su almacenamiento, ya que en forma comprimida o líquida requiere un tanque pesado y costoso. Existe la posibilidad de aprovechar la capacidad de los hidruros metálicos de adsorber hidrógeno, y liberarlo cuando sea necesario. Debe tenerse en cuenta que el proceso de licuefacción del hidrógeno no sólo es oneroso en términos económicos, sino en términos de energía.

8. ELECTRICIDAD [2,3]

La electricidad se puede utilizar para mover vehículos sin ninguna emisión contaminante. En realidad es una fuente de potencia que tuvo vigencia en nuestro medio y en todo el mundo civilizado hasta la década de los cincuenta, con los llamados tranvías o «trolleys» que resultaban poco prácticos, pues requerían el uso de carrileras

que permitían muy poca flexibilidad en su desplazamiento. Esta circunstancia, unida a la baja velocidad desarrollada y a mayores costos hicieron que los carros impulsados por motor de gasolina se fueran imponiendo, en una época en que no se tenía conciencia sobre los efectos contaminantes de las emisiones. Actualmente, aparte de haberse vuelto a pensar en la posibilidad de impulsar, así sea a pequeña escala, el uso de trolleys para transporte de pasajeros, se sigue investigando en desarrollos de vehículos pequeños y medianos impulsados por motores eléctricos potenciados por baterías y/o celdas solares. En todo caso, es un campo que se considera promisorio para un futuro no lejano.

8.1 Consideraciones Ambientales [1-3]

Aunque la electricidad en sí, es un combustible completamente limpio, la manera como se obtiene puede dar lugar a emisiones contaminantes. La electricidad hidráulica, la de baterías y la de celdas solares se consideran limpias, pero la generada en termoelectricas que usan carbón, diesel, gasolina, o cualquier otro combustible fósil como fuente primaria de energía, implica emisiones con efectos contaminantes. Sin embargo, es una contaminación que por darse en zonas generalmente muy distantes de ciudades o centros urbanos resulta de menor impacto contaminante y es más fácilmente controlable, pues en términos generales no alcanza niveles tóxicos.

8.2 Consideraciones Económicas [2,3]

En el actual estado tecnológico los vehículos movidos por electricidad resultarían más costosos que los impulsados por otros combustibles, no sólo desde el punto de vista de la electricidad que como combustible puede, en algunos casos, resultar competitiva, sino especialmente desde el punto de vista de los costos del motor y demás partes del vehículo. Para carros pequeños y medianos la actual limitante es la energía reducida que pueden suministrar las baterías corrientes, lo cual exigiría arreglos muy grandes de muchas baterías con una exigencia enorme de espacio para su ubicación en el vehículo. Avances recientes

en la tecnología de vehículos eléctricos hacen, como se dijo anteriormente, que esta alternativa se mire con mucho optimismo hacia un futuro próximo.

9. GASOLINA REFORMULADA (GRF) [4, 12-13]

Desde 1995 en algunas ciudades de Estados Unidos con alto índice de contaminación, se viene usando gasolina reformulada, con la cual se logra una disminución significativa en hidrocarburos formadores de ozono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y otros tóxicos característicos ligados con la combustión de la gasolina tradicional. En los países desarrollados, la industria petrolera ha empezado a comercializar gasolinas con algunas modificaciones en la composición, que permiten una combustión más completa con una disminución del contenido de monóxido y un incremento del bióxido de carbono. Esta gasolina, a veces se denomina gasolina oxigenada, porque se le agregan aditivos oxigenados, tales como el MTBE (“methyl terbutyl ether”) y el etanol.

9.1 Consideraciones Ambientales [4, 12-13]

Aunque anteriormente se mencionaron algunas consideraciones ambientales relacionadas con la gasolina tradicional, es oportuno reiterar que tanto durante su almacenamiento y manipulación, como durante el encendido y funcionamiento de los motores, se presentan emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOCs), y óxidos de nitrógeno (NOx), que además de ser nocivos en sí mismos para la salud, reaccionan en la atmósfera, con presencia de luz solar y calor, para producir ozono, componente mayor de la niebla fotoquímica («smog»). Paradójicamente, el ozono que es beneficioso y necesario en la alta atmósfera, para proteger la vida terrestre de la radiación ultravioleta, se vuelve peligroso a baja altura. El ozono lesiona e inflama el tejido pulmonar y eleva la sensibilidad de los enfermos asmáticos, desatando crisis que se manifiestan

con tos y asfixia. En toda persona la exposición al ozono causa, a corto plazo, irritación de los ojos y afección de garganta, y a largo plazo causa deterioro rápido y drástico de los pulmones.

En las emisiones vehiculares también están presentes otros tóxicos, tales como el benceno que es un compuesto orgánico de reconocida actividad cancerígena y el monóxido de carbono que reduce el contenido de oxígeno de la sangre y puede, dependiendo de su concentración, causar la muerte por asfixia. La gasolina reformulada (GRF), y oxigenada atenúa todos estos efectos nocivos que atentan contra la salud pública.

9.2 Consideraciones Económicas [4,12-13]

La gasolina reformulada y oxigenada implica solo un pequeño sobrecosto inicial respecto a la gasolina convencional. Además, estas nuevas formulaciones pueden comercializarse sin mayores cambios en los motores y partes de los vehículos actuales, movidos por gasolina tradicional, y en los sistemas de distribución vigentes. Es de esperarse que el usuario típico, habiendo adquirido siquiera una leve concientización sobre la urgencia de preservar el medio ambiente, accederá gustoso a pagar el pequeño sobrecosto.

En la tabla 1 se muestran en forma resumida las ventajas y desventajas de los combustibles alternativos. Dicha tabla permite captar y contrastar rápida y someramente la información discutida en los párrafos anteriores.

CONCLUSIONES

A excepción del combustible diesel, los combustibles alternativos no son en la actualidad comercialmente viables desde el punto de vista económico si no se cuenta con subsidios gubernamentales, ya que su uso resulta costoso, comparado con el de la gasolina común. Sin embargo, como se dijo antes, la GRF sería fácil y conveniente introducirla cuanto antes al mercado. La gasoli-

na es indudablemente un combustible conveniente para los vehículos automotores, pues es fácil almacenarla y manejarla. Además, el tanque de combustible ocupa poco espacio, es liviano y relativamente barato.

Es importante no confundirse con la terminología usada por algunos autores que llaman combustibles limpios los que aquí se denominan combustibles alternativos, que si bien disminuyen en algo el impacto contaminante sobre el medio ambiente, no lo reducen a cero ni a valores inocuos, sensación falsa que puede ser inducida por tal denominación. Mientras se continúe usando la combustión para liberar energía de cualquier combustible, se estará en menor o mayor grado contaminando la atmósfera.

Solamente la electricidad de origen hidráulico y la obtenida mediante celdas solares, merecería llamarse combustible limpio, y tal vez la electrolítica si no se es demasiado drástico. Esto justifica el gran interés que se le está dando y los esfuerzos que hacen los países desarrollados para mejorar la tecnologías relacionadas.

La utilización de combustibles alternativos también presenta problemas específicos: por su naturaleza gaseosa, el hidrógeno, el GLP y el GNC presentan peligros en las operaciones de almacenamiento y distribución; el metanol es tóxico y de alta actividad corrosiva. En el aspecto de seguridad, debe tenerse en cuenta que todos los combustibles son potencialmente peligrosos, pero el correcto diseño y apropiado manejo minimiza el riesgo y los hace probablemente equiparables.

A simple vista, la mezcla de alcohol/gasolina parece ofrecer la mejor combinación de conveniencia y seguridad, pero no resulta económica y el suministro necesariamente es restringido; además, plantea algunos problemas para los motores existentes y es precursora de emisiones, causantes de « smog », similares o mayores que las generadas con la gasolina. En realidad, el GNC es el combustible que probablemente penetrará el mercado del transporte en el futuro próximo, a

medida que los buses vayan siendo sustituidos por versiones operadas con gas natural comprimido, con el fin de reducir las emisiones de partículas.

Aunque los COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS no han tenido un auge a nivel mundial, principalmente porque su uso implica más condicionamientos que la gasolina común, potencialmente algunos pueden jugar un papel importante en áreas con situaciones especiales, tales como ciudades con extrema contaminación, o países subdesarrollados sin yacimientos petrolíferos propios e incapaces de participar en el comercio mundial.

No cabe duda, sin embargo, que el menor costo de la gasolina y el diesel, y la disponibilidad de nuevas tecnologías para reducir las emisiones de los motores que usan estos combustibles, harán que todavía durante algún tiempo, sea la gasolina el combustible más utilizado, seguido por el diesel.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen los aportes de COLCIENCIAS y la UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA al proyecto “Catalizadores para el Control de la Contaminación Ambiental- Fase II”.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS [2, 4,12-13]

| COMBUSTIBLE | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---------------------------------------|--|--|
| Diesel | <ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de CO e HIC menores que con gasolina. • Menor producción de CO₂/Km que cualquier otro combustible fósil. • Mas barato que la gasolina | <ul style="list-style-type: none"> • Dificil arranque en frío por la formación de cera en filtros y líneas de circulación del combustible. • Emisión de partículas y NOx. • Los vehículos son relativamente más costosos que los de gasolina. |
| Gas licuado del Petróleo (GLP) | <ul style="list-style-type: none"> • Más barato que la gasolina en la actualidad. • Bajas emisiones de HC formadores de ozono y tóxicos. | <ul style="list-style-type: none"> • El costo se incrementará con la demanda. • Suministro limitado. |
| Gas Natural Comprimido (GNC) | <ul style="list-style-type: none"> • Bajas emisiones de CO e hidrocarburos formadores de ozono y tóxicos. • Puede obtenerse de gran variedad de materias primas, incluso, material renovable. • Combustible excelente. Especialmente para buses y camiones. | <ul style="list-style-type: none"> • Alto costo de vehículo. • Menor rango de desplazamiento vehicular. • Mas dificil la recarga de combustible |
| Metanol | <ul style="list-style-type: none"> • Menor formación de NOx que cualquier otro combustible. • Bajas emisiones HC formadores de ozono y tóxicos. • Puede obtenerse de una variedad de materias primas, incluso renovables. | <ul style="list-style-type: none"> • Poca disponibilidad inicial. • Vehículos de menor rango en su alcance de desplazamiento. |
| Etanol | <ul style="list-style-type: none"> • Excelente combustible automotriz. • Bajas emisiones de hidrocarburos formadores de ozono y tóxicos. • Se obtiene de materiales renovables. | <ul style="list-style-type: none"> • Alto costo del combustible y vehículos de menor rango de desplazamiento. • Dificultad de almacenamiento y muy inflamable. |
| Hidrógeno | <ul style="list-style-type: none"> • A temperaturas moderadas, emisiones libres de HC formadores de ozono y tóxicos. Emisiones de planta más fáciles de controlar. • Si es por batería puede recargar durante la noche. | <ul style="list-style-type: none"> • La tecnología actual es muy limitada. • Los vehículos son costosos y de bajo rango de desplazamiento. |
| Gasolina Reformulada (GRF) | <ul style="list-style-type: none"> • No es necesario modificar motores o sistemas de distribución. • Disminución grande en la emisión de HC y NOx. | <ul style="list-style-type: none"> • Más costosa que la gasolina común. • Por ahora, escasez en el comercio y beneficio de marca. |

REFERENCIAS

1. U.J. ENTRANA PALOMERO, C. Gual de Torrellá, A. Juárez Fernández-Reyes, "La Crisis de la Energía", Salvat España, 1995, p.63.
2. EPA 400-F-92-008, August 1994, Fact Sheet OMS-6
3. <http://www.aip.au/education/alt.html>
4. MIKE KULAKOWSKI, Symposium and Tutorial of Reformulated Fuels Presented before the Division of Petroleum Chemistry, Inc. 208th National Meeting, American Chemical Society, Washington, D.C. August 21-26, 1994, p. 494-498.
5. EPA 420-F-95-008, April 1995, EPA Office of Mobile Sources.
6. MONTES DE C., "Catálisis y Medio Ambiente", Revista Facultad de Ingeniería, No. 15, Nov. 1997, p. 27.
7. Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía, Plan Energético Nacional, Tercer Mundo Editores, Santafé de Bogotá, 1994, p. 240-260.
8. RONALD M. HECK, Robert Farrauto, Baltzer Science Publishers, vol 1. 1997 p. 117-124.
9. EL ESPECTADOR, "Vehículos de última tecnología", Octubre 4, 1997, Sección D.
10. P. ZELENKA, W. Cartellieri, P. Herzog, Appl. Catal., B: Environmental, 10, 1996 1-3.
11. J. LAMPERT, S. KAZI, and R. FARRAUTO, SAE 961971, 1996.
12. WALTER M. KREUCHER, Symposium and Tutorial of Reformulated Fuels Presented before the Division of Petroleum Chemistry, Inc. 208th National Meeting, American Chemical Society, Washington, D.C. August 21-26, 1994, p. 507-512.
13. H.J. LOVINK, Symposium and Tutorial of Reformulated Fuels Presented before the Division of Petroleum Chemistry, Inc. 208th National Meeting, American Chemical Society, Washington, D.C. August 21-26, 1994, p. 513-519.
14. Cars & climate change OECD/IEA, París 1993, p.136-150.
15. M. DEEBA, J. FEELEY, R. FARRAUTO, N. STEIRBOCK, A. PUNKE, SAE 952491, 1995.