

Los Combustibles en los Motores Ciclo Otto: Características, Calidad, Efectos

Ricardo A. Marchese, Jorge E. Bustos y Jorge L. López

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

Resumen

Es mayormente conocido que según sea el ciclo que describa el motor de combustión interna, esto es ciclo Otto o ciclo Diesel, el combustible utilizado en uno u otro caso será de características diferentes, pero en general se trata de hidrocarburos líquidos provenientes del petróleo o gases asociados al mismo. Otro tipo de combustibles derivados de la biomasa son también utilizados ya sean puros o mezclados con los combustibles tradicionales en distintos porcentajes, o bien comportándose como aditivos para mejorar las condiciones requeridas en cada caso.

Ya se trate de los tradicionales hidrocarburos o cualquier otro tipo, reciben luego o en su refinación o proceso de obtención, distintos agregados que permitirán alcanzar mejores comportamientos para cada tipo de ciclo empleado, y también para las condiciones de lubricidad, fluidez, almacenaje, transporte, distribución, etc.

Pero así como se le agregan ex profeso esos aditivos, los combustibles en general derivados del petróleo arrastran consigo algunos elementos que resultan perniciosos, tanto para el medio ambiente como para los motores y dispositivos utilizados en el control de las emisiones nocivas.

En este trabajo trataremos de sintetizar las condiciones a cumplir por los combustibles para ciclo Otto, y los efectos que provocan en los motores, sus periféricos y/o sistemas asociados con que se los equipa para disminuir al mínimo las emisiones nocivas de tal modo que sean amigables con el medio ambiente.

Palabras clave: efectos, características, combustibles, motores Otto.

Fuels in Otto Cycle Engines: Features, Quality, Effects

Abstract

It is well known that, in order to work with Otto or Diesel engines, there are different kinds of liquid and gas fuels, generally obtained from petroleum distillation. Biomass derivatives, pure or mixed with petroleum derivatives, are also used as fuels or additives, to improve conditions of traditional fuels.

All fuels are mixed with different additives to improve its behavior and other characteristics such as lubricity, fluidity, storing, transportation, distribution, etc.

Petroleum fuels normally have unwanted elements that are noxious not only for the environment, but for the engines and its emissions control devices.

In this work we will try to summarize the characteristics that fuels must meet in order to work correctly in Otto engines. We will also study the effects that they produce in engines and emissions control devices.

Keywords: effects, characteristics, fuels, Otto engines.

Introducción

Los motores de ciclo Otto, comúnmente denominados en nuestro país como motores a nafta, equipan a la gran mayoría de los automóviles particulares, y gracias a su capacidad de poder funcionar con el económico gas natural comprimido (GNC), también a los automóviles de alquiler como taxis o remises y vehículos de transporte liviano. A continuación se muestran los requisitos que tienen que cumplir los combustibles que deben utilizar los motores ciclo Otto para obtener un buen desempeño, vida útil y cuidado del medio ambiente.

Número octano (NO)

Esta es una medida de la capacidad del combustible para resistir a la combustión anormal denominada "picado". Es desde siempre la principal característica exigida a los combustibles para motores Otto.

Los tipos de combustibles más resistentes a este fenómeno pertenecen a la familia de los aromáticos, mientras que en la escala más baja se encuentran los alifáticos. Existen también combustibles gaseosos entre los que se destaca el metano, que posee sobresalientes características antipicado, aún mejor que los aromáticos. El etanol también posee una notable resistencia.

De cualquier modo los combustibles generalmente utilizados (líquidos) están formados por una mezcla de alrededor de 200 hidrocarburos, que deben refinarse para hacer prevalecer los compuestos más resistentes al picado, y así alcanzar NO elevados. Se suelen incorporar además aditivos como el etanol, el MTBE (metiltertbutileter), ETBE (etiltertbutileter), y aún otros compuestos como el TEP (tetra etilo de plomo) y el MMT (metil ciclopentadienyl manganeso tricarbonilo).

Por no ser motivo de este trabajo, no nos vamos a explayar en las formas de medir el NO, simplemente diremos que hay dos principales métodos conocidos como RON (Research Octane Number) y MON (Motor Octane Number), que utilizan un motor de ensayo normalizado (en el Laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET), se cuenta con uno de estos motores). Comparativamente el método MON es más exigente que el RON, por lo que suele entregar valores de NO menores para un mismo combustible. En los surtidores de Argentina se especifica el NO RON y en

algunos países como EEUU el promedio de estos dos valores $\frac{RON + MON}{2}$ llamándose Índice Antipicado o índice Octano.

Es importante hacer notar que la aparición del fenómeno del picado no se debe únicamente al combustible, sino que intervienen otros factores muy importantes que tienen que ver con el diseño del motor y su regulación. Ellos son:

- Relación de compresión
- Forma y tamaño de la cámara de combustión
- Posición de las válvulas
- Colocación y número de bujías en el cilindro
- Turbulencia en la cámara de combustión
- Estado de carga y velocidad de rotación
- Sistema de alimentación (carburador, inyección indirecta o inyección directa)
- Avance de encendido
- Factor de dilución de la mezcla
- Valor del ángulo de retraso en el cierre de la admisión (reglaje de la distribución).

Todo esto nos hace pensar que en la ciencia de los motores de combustión interna tenemos al alcance muchos parámetros para trabajar sin tener tanto en cuenta el combustible, esto es limitándonos a un NO discreto que sea poco oneroso económica y energéticamente en su obtención, para ser utilizado en motores con relaciones de compresión lo más elevada posible, para así aumentar el rendimiento térmico. Hay muchos ejemplos de ello, desde el motor TCP (cámara de NO 0) de la Texaco en la década del 50 del siglo pasado, **Martínez de Vedia** (1997), hasta hoy con el motor del **Toyota Prius** de relación de compresión 13 que puede utilizar combustibles de NO RON 95, **Toyota** (2010).

Por último se debe aclarar que el NO de un combustible **no afecta la potencia del motor ni el consumo específico** mientras sea el mínimo requerido por el mismo.

En los surtidores de Argentina se especifica el NO RON y en algunos países como EEUU el promedio de estos dos valores: $\frac{RON + MON}{2}$ llamándose Índice Antipicado o Índice Octano.

Un motor que está diseñado y calibrado por el fabricante para trabajar en condiciones normales de funcionamiento con un determinado combustible de por ejemplo NO 95, no presentará ninguna mejora al utilizar combustibles con NO 97, 100 o incluso superiores. Lógicamente no hay que pretender que ese motor funcione con un combustible de NO 85, pero puede tolerar teniendo algunos cuidados un combustible de NO 93, esto es no exigiéndole las máximas prestaciones.

Azufre

Este elemento se encuentra presente en todos los petróleos en mayor o menor porcentaje. Debe ser removido durante los procesos de refinación para no contaminar los combustibles a ser utilizados en los motores. Aunque algunos combustibles no poseen azufre en ninguna proporción, como el etanol, mientras que otros como el metano pueden contener trazas del mismo.

El azufre tiene un impacto significativo en las emisiones ya que produce SO₂, que al combinarse con el agua forma SO₂H₄ (ácido sulfúrico), causante de la lluvia ácida. Si bien no produce daños en el motor mientras no supere las 1000 ppm, conduce a una reducción en la eficiencia de los catalizadores de tres vías y afecta también al sensor de oxígeno, más conocido como sonda lambda.

En la tabla 1 se muestra el impacto del contenido de azufre en las emisiones. Las pruebas se realizaron en distintos vehículos con motores equipados con tecnologías diferentes para el tratamiento y reducción de las emisiones nocivas, **Worldwide Fuel Charter** (2006). Los valores entre paréntesis son las reducciones para ciclos extraurbanos de las pruebas.

Diversos estudios sugieren la importancia de imponer un límite muy bajo en azufre para vehículos equipados con tecnología avanzada, con valores por debajo de 100 ppm.

Otros estudios han demostrado que el azufre demora la transición de mezcla rica a pobre, de tal manera que introduce una inentendible preferencia a enriquecer la mezcla en las calibraciones de emisiones.

Con estipulaciones sobre los niveles de emisión cada vez más exigentes regidos por las normas europeas y

Tabla 1: Impacto de la reducción de azufre en las emisiones

País Región Empresa	Sistema	Contenido de azufre [ppm]		Reducción de las emisiones [%]		
		Alto	Bajo	HC	CO	NO _x
EEUU	Tier 0	450	50	18	19	8
Europa	Euro 2+	382	18	9 (43)	9 (52)	10 (20)
Ford Chrysler	LEV y ULEV	600	30	32	55	48
Japón	Regul. 1978	197	21	55	51	77

control de emisiones, y que además puedan mantener su eficiencia por mucho tiempo (más de 100.000 km recorridos). Para esto es imprescindible que el contenido de azufre sea bajo, especialmente cuando se dispone de sofisticada tecnología para el tratamiento de los NO_x donde se habla de un límite máximo de azufre de 10 ppm. Estas tecnologías son utilizadas en los catalizadores de acumulación empleados en los motores ciclo Otto a inyección directa y mezcla estratificada. De todas formas, por arriba de estos valores y hasta digamos unas 50 o 100 ppm, el problema será que la restitución automática del catalizador se realizará en un kilometraje menor aumentando levemente el consumo de combustible, como se observa en figura 1 y figura 2.

Los niveles ultra bajos de azufre en las naftas pueden provocar daños en las bombas de émbolos de presiones intermedias (100 y 120 [bar]) utilizadas en estos motores, por lo que habría que adicionalmente

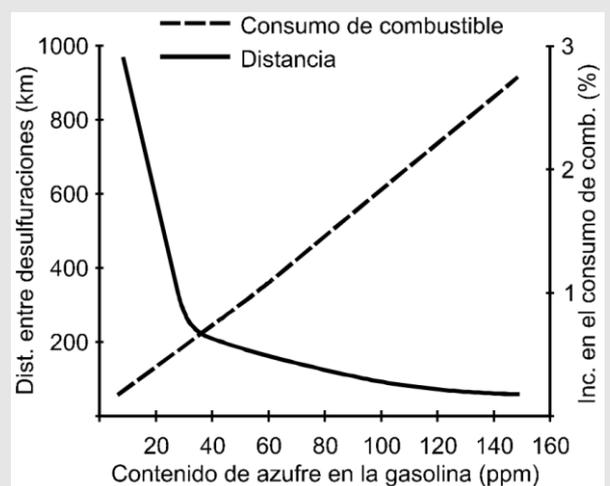


Fig. 1 Efecto del azufre en la distancia entre desulfuraciones y el consumo de combustible.

incluir algún aditivo que aumente la lubricidad del combustible.

Por lo tanto, en la actualidad no están permitidos estos aditivos en combustibles comerciales, sólo utilizándose para las naftas de aviación.

Aditivos de manganeso – El MMT (metilciclopentadienyl manganeso tricarbonilo) es un compuesto utilizado como aditivo para aumentar el NO de los combustibles. Se necesita aproximadamente la mitad que el TEP para producir el mismo aumento de NO, y se lo sugiere también como aditivo para combustibles Diesel ya que puede también reducir la emisión de humos.

Muchos estudios muestran que solo un pequeño porcentaje de manganeso derivado del MMT es emitido por el escape, quedando la mayoría como remanente en el motor, catalizador y tubería de escape. Estos depósitos, especialmente en catalizador y sonda lambda, pueden causar daños en los mismos y reducir su capacidad para el control de las emisiones.

En pruebas realizadas con MMT se verificaron, luego de 160.000 km de uso, aumentos de entre un 2% y un 5% en el consumo (ciclo urbano y ciclo de ruta), y un incremento de aproximadamente 25% en las emisiones, *Worldwide Fuel Charter* (2006).

En el Laboratorio de Motores de Combustión Interna del Departamento de Mecánica de la FACET-UNT se realizaron ensayos de 100 horas de marcha de un motor alimentado con combustibles aditivados con MMT, **Marchese y López** (2004), no encontrándose efectos negativos tanto en consumo específico como emisiones, ni en la aislación de las bujías. Cabe hacer notar que este ensayo en nuestro laboratorio es, en comparación con los ensayos de 160.000 km, de muy corta duración. De todos modos, después de las 100 horas de uso, se pudo constatar en cámara de combustión, bujías, sonda lambda y catalizador, la aparición de una coloración pardo rojiza característica de los depósitos de manganeso, como se observa en figura 3.

Sin embargo es un elemento muy dañino para las personas y el medio ambiente en general, resultando altamente tóxico, tanto en el manipuleo como en las emisiones. Por otro lado, en vehículos modernos dotados de sensores de oxígeno y catalizadores, tiene un efecto nefasto ya que el plomo envenena rápidamente el recubrimiento de platino de estos últimos, dada la gran afinidad que poseen ambos elementos entre sí.

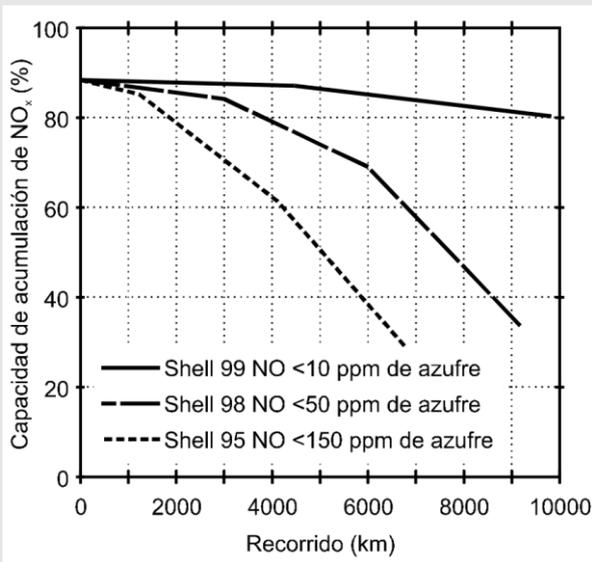


Fig. 2 Capacidad de acumulación de NOx en función de la cantidad de azufre.

Aditivos metálicos

Para mejorar el NO de los combustibles se suelen adicionar distintos productos que analizamos a continuación.

Compuestos de plomo – Históricamente se utilizó el tetra etilo de plomo (TEP) como un efectivo antidetonante, en pequeñas proporciones que rondaban los 0,5 a 0,7 [ml/l]. Los daños que causaba este aditivo al propio motor eran insignificantes, proporcionando incluso cierta protección a los asientos de válvulas. Sin embargo es un elemento muy dañino para las personas y el medio ambiente en general, resultando altamente tóxico, tanto en el manipuleo como en las emisiones. Por otro lado, en vehículos modernos dotados de sensores de oxígeno y catalizadores, tiene un efecto nefasto ya que el plomo envenena rápidamente el recubrimiento de platino de estos últimos, dada la gran afinidad que poseen ambos elementos entre sí. Aún en vehículos que no poseen dispositivos de control de emisiones, se ha demostrado que utilizando combustibles con TEP aumentan las emisiones de hidrocarburos incombustos (HxCy), **Salvi y Casalini** (1984).

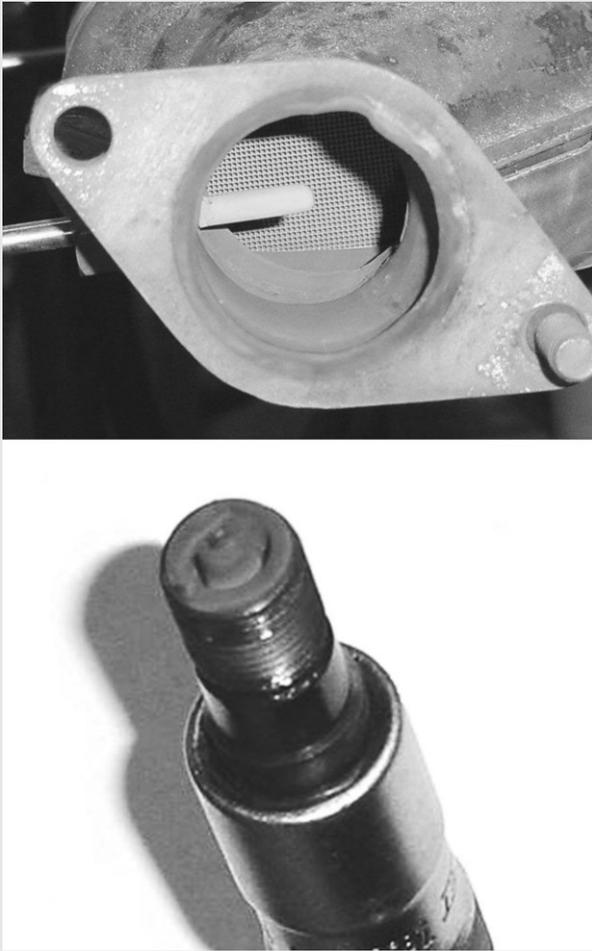


Fig. 3 Depósitos de manganeso en catalizador y bujía.

Por otro lado, se ha constatado que el Mn se comporta como una neurotoxina, **Worldwide Fuel Charter** (2006) y si es inhalado en grandes concentraciones puede causar daños neurológicos irreversibles.

Muchas compañías petroleras han dejado de lado el MMT voluntariamente, y hoy en la Argentina no se utiliza. La Resolución 188/2011 de la Secretaría de Energía de la Nación limita el contenido de manganeso hasta 8,3 mg/lit.

Ferroceno – Este compuesto era utilizado también como mejorador del NO en algunos países. Sus depósitos causan la falla prematura de las bujías, reduciendo su vida útil en hasta un 90%. También causa el desgaste prematuro de los aros y otros componentes por la presencia de óxido de hierro en el

aceite lubricante, proveniente del ferroceno. En el sistema de control de emisiones, perjudica al catalizador y sus sistemas asociados por daño térmico. Por todo esto, el ferroceno se dejó de utilizar como aditivo para combustibles.

Silicio – Aunque no es un componente natural presente en el petróleo, suele aparecer en las naftas como sobrante de solventes utilizados para realizar las mezclas en refinería. La presencia de este elemento, aún en bajas proporciones, tiene un efecto totalmente nocivo tanto para los sistemas de control de emisiones como para los mismos motores, pudiendo causar severos daños en los mismos. Se puede decir que basta con un sólo tanque de combustible contaminado con silicio para que un motor sufra fallas realmente serias. No debería existir un nivel detectable de silicio si no se usara como componente de algún paquete de aditivos para mejorar el combustible y el desempeño del motor.

La presencia de silicio debe ser evitada desde todo punto de vista.

Compuestos oxigenados – Estos compuestos orgánicos son agregados frecuentemente a las naftas, siendo los más utilizados el MTBE y el etanol. Se utilizan para mejorar el NO y aumentar la provisión de combustible. En Argentina se ha investigado desde hace muchos años sobre el agregado de etanol a las naftas, realizándose innumerables ensayos y pruebas en diversos laboratorios e instituciones, entre ellos el Departamento de Mecánica de la FACET-UNT, **Marchese y López** (2004), **Vallejo** (1976), **Engelen et al.** (2008). Los resultados obtenidos son más que satisfactorios, fundamentalmente lo que respecta al comportamiento motorístico: prestaciones, vida útil, rendimiento, etc. Desde este punto de vista no vamos a explayarnos por considerarlo un tema concluido, existiendo muchos trabajos sobre el particular. En la actualidad todas las motonaftas de la Argentina poseen un agregado de 5% en volumen de etanol **Sólino et al.** (2009).

Analizando el comportamiento en las emisiones, los compuestos oxigenados inducen a un funcionamiento con mezcla ligeramente pobre, lo cual reduce las emisiones de CO, especialmente en motores con carburador. Este beneficio se ve reducido en los motores modernos a inyección, regulados electrónicamente por sonda de oxígeno. Aún así, se nota un ligero empobrecimiento en funcionamiento en frío y aceleraciones. De hecho, si la mezcla es ligeramente

empobrecida a causa de los compuestos oxigenados, pueden incrementarse las emisiones dependiendo de la calibración base realizada en el sistema electrónico, preparado para utilizar combustibles sin estos aditivos.

Pruebas realizadas por la California Air Resources Board (CARB) en vehículos modelos 90 al 95 utilizando naftas con agregado del 10% de etanol en volumen, encontraron un decrecimiento de entre un 2% y 10% en las emisiones de CO, aunque se incrementaron las emisiones de NO_x en un 14% y las de C_xH_y en un 10%, todo relativo esto es comparado a un combustible con agregado de un 11% en volumen de MTBE. Recientes pruebas de la Coordinating Research Council (CRC) entregaron resultados similares, **Worldwide Fuel Charter** (2006).

En el manejo de las mezclas con etanol hay que tener especial cuidado con la limpieza de los tanques de combustible debido al poder solvente del mismo, y también con la cantidad de agua, dada la afinidad que posee esta última con el etanol.

En definitiva, se puede asegurar que tanto el etanol como el MTBE no influyen negativamente en los dispositivos utilizados para el control de emisiones en los porcentajes usuales que estos son adicionados a los combustibles.

Pero ahora nos vamos a referir a un problema serio que puede traer aparejado el uso de MTBE en cuanto a su influencia en el medio ambiente. De acuerdo con publicaciones norteamericanas, se han encontrado trazas de MTBE en los pozos de agua ensayados en EEUU en áreas donde es usado como aditivo de las naftas. El MTBE se informa como un problema en el agua subterránea porque a diferencia del etanol, se degrada biológicamente en forma muy lenta migrando a los acuíferos y de allí a los pozos de agua contaminándolos. La principal fuente de esta contaminación resultan ser los tanques de las estaciones de servicios que pueden presentar pérdidas, **Cerutti** (2001). Lógicamente esto revalorizaría el uso del alcohol etílico como aditivo oxigenado suplantando al mencionado MTBE con esas ventajas.

Otro compuesto oxigenado es el Metanol, aunque no es recomendable su uso debido a que es muy agresivo, causante de la corrosión de los componentes metálicos del sistema de combustible y la degradación de los plásticos y elastómeros. También es venenoso y su

manipulación peligrosa. Se utilizaba en mezclas preparadas para motores de carreras cuando los reglamentos de las mismas lo permitían. Totalmente desaconsejable.

Olefinas – Son hidrocarburos insaturados que en muchos casos poseen un NO aceptable. Pero las olefinas en el combustible pueden llevar a la formación de depósitos y al incremento de las emisiones de hidrocarburos reactivos (formadores de ozono) y compuestos tóxicos. Son además térmicamente inestables y pueden conducir a la formación de gomas y otros depósitos en el sistema de admisión. Su evaporación como especie de reactivo químico contribuye a la formación de ozono y su combustión produce la formación de tóxicos dienos. Su efecto como formador de ozono potencial está claramente demostrado y así muchos estudios han concluido que reduciendo el total de olefinas del 20% al 5% se reduce la formación de ozono potencial (estudios realizados por el programa US Auto/Oil en las ciudades de Los Ángeles, Dallas y Nueva York). El ozono es importante en las capas superiores de la atmósfera (entre los 90 y 50 km de altura) pero a nivel de la superficie terrestre colabora a la formación del “smog” fotoquímico **Worldwide Fuel Charter** (2006).

Otro compuesto oxigenado es el Metanol, aunque no es recomendable su uso debido a que es muy agresivo, causante de la corrosión de los componentes metálicos del sistema de combustible y la degradación de los plásticos y elastómeros. También es venenoso y su manipulación peligrosa. Se utilizaba en mezclas preparadas para motores de carreras cuando los reglamentos de las mismas lo permitían. Totalmente desaconsejable.

No se conocen efectos adversos de las olefinas sobre los dispositivos anticontaminación ni sobre la vida útil del motor, pero por los motivos antes mencionados debe controlarse el contenido máximo de las mismas en la formulación de las naftas.

Aromáticos – Estos compuestos que forman parte de los crudos son moléculas que contienen al menos una de benceno. El contenido de aromáticos en los combustibles puede incrementar los depósitos en el motor y las emisiones en el escape incluyendo al CO₂. Aromáticos pesados y otros compuestos de alto peso molecular están vinculados a la formación de depósitos en el motor, particularmente en la cámara de combustión. Estos depósitos incrementan las

emisiones de escape incluidos los HC y No_x.

La combustión de los compuestos aromáticos puede llevar a la formación del cancerígeno benceno en los gases de escape. Estudios realizados en USA y Europa han demostrado lo siguiente (figura 4):

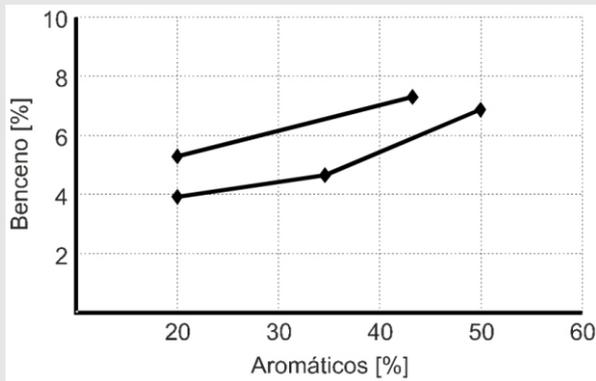


Fig. 4 Cantidad de benceno en función de aromáticos.

Se puede observar que reduciendo la cantidad de aromáticos en alrededor del 30% se obtienen disminuciones en la cantidad de benceno de aproximadamente 3%. El programa europeo, para la misma reducción de aromáticos, obtuvo una reducción del 5% en las emisiones de CO₂ **Worldwide Fuel Charter** (2006).

Benceno – Es un constituyente natural del petróleo y también un producto del reforming catalítico el cual produce naftas con un alto valor del NO. Aunque no está demostrado que produzca daños al motor o sistemas de control de emisiones, debe limitarse a un muy bajo contenido en las naftas, debido a los daños que puede producir en el cuerpo humano, ya que es un conocido agente cancerígeno, **Worldwide Fuel Charter** (2006).

Volatilidad

Esta propiedad de los combustibles tiene una crítica influencia en los motores Otto, tanto en su desempeño como en las emisiones. Se caracteriza por dos medidas: la presión de vapor y la curva de destilación.

Presión de vapor – Esta medida debe ser controlada de acuerdo a la temporada estacional, admitiendo diferentes volatilidades necesarias para los vehículos funcionando a diferentes temperaturas ambiente. La presión de vapor debe ser estrechamente controlada para reducir la posibilidad de problemas en el manejo

del combustible a altas temperaturas, como ser el “vapor lock” (bolsas de vapor) y la sobrecarga del sistema “Cánister” (equipo de control de emisiones de vapor del depósito de combustible). A bajas temperaturas es necesaria una presión de vapor del combustible más elevada para permitir un arranque fácil y un buen desempeño en el período de calentamiento. Las distintas normas indican los rangos de presiones de vapor admitidas según la temperatura ambiente.

Curva de destilación – La destilación de los combustibles líquidos nos indican en un ensayo las cantidades de cada componente que se evaporan con cada temperatura. Si se trata de combustibles puros, por ejemplo etanol, la curva de destilación se transforma en una recta vertical correspondiente a la temperatura a la cual se evapora dicho hidrocarburo.

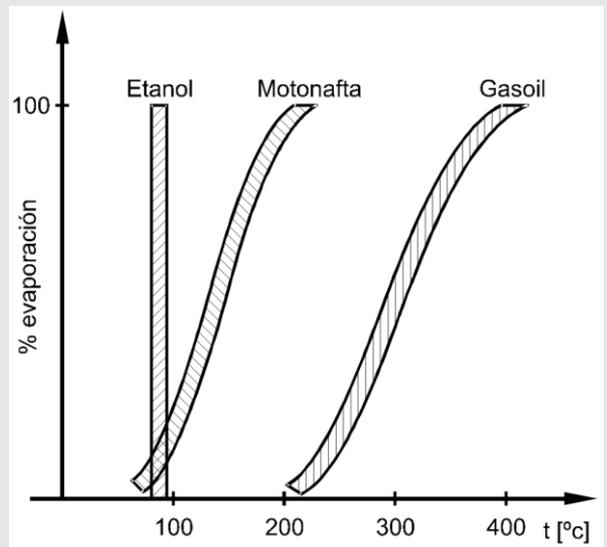


Fig. 5 Curvas de destilación.

Para tener una idea del comportamiento de las naftas en función de las curvas de destilación, se han fijado puntos claves denominados T y E, como por ejemplo el T50, que es la temperatura a la cual se evapora el 50% de producto, y el E100, que es el porcentaje de producto que se destila a 100°C.

En forma experimental se calcula el índice de destilación ID en función de los valores T10, T50 y T90

$$ID = 1,5 \cdot T10 + 3 \cdot T50 + T90$$

el cual se confronta con una escala de demérito o desmerecimiento entre 20 y 140. Es decir que cuando el ID aumenta, lo hace también el demérito del combustible. En general podemos decir que un valor excesivo de T50 (esto es bajo E100) puede llevar a un arranque dificultoso y un mal desempeño en el período de calentamiento a moderadas temperaturas ambientes.

También hay experiencias que muestran que combustibles con alto ID aumentan las emisiones de hidrocarburos incombustos en el escape.

Por todo esto se especifican corrientemente valores admitidos y tolerables según la temperatura ambiente para T10, T50 y T90 en °C, y de E70, E100 y E180 en %. También se dan valores máximos de ID, **Worldwide Fuel Charter** (2006).

Aditivos para el control de depósitos

En la combustión de las naftas, incluso de buena calidad, pueden formarse depósitos. Estos depósitos en general incrementan las emisiones nocivas y afectan el desempeño de los motores. Los combustibles de alta calidad contienen aditivos para el control de los depósitos, reduciendo significativamente su formación.

Se suelen utilizar también aditivos para prevenir la formación de depósitos en los inyectores, aunque esto puede provocar la aparición de depósitos en las válvulas de admisión, por lo que se agregan aditivos detergentes combinados con los primeros, junto a fluidos portadores, evitando de esta manera el pegado de las válvulas **Worldwide Fuel Charter** (2006).

Pero los fluidos portadores de estos aditivos suelen estar compuestos de bases minerales, y tienden a aumentar los depósitos en la cámara de combustión, dando como resultado un aumento en las emisiones nocivas. Para evitar esto es necesario utilizar fluidos portadores sintéticos en porcentajes moderados, lo cual minimiza la formación de depósitos, llegando incluso a evitarlos completamente, con la consecuente reducción de las emisiones y mejora en el consumo.

Los combustibles de alta calidad contienen aditivos para el control de los depósitos, reduciendo significativamente su formación.

El combustible GNC (Gas Natural Comprimido)

Para el caso de utilizar como combustible el GNC (aprox. 95% de metano), estamos en presencia de una molécula muy simple, el metano (CH_4) que como tal presenta naturalmente muy bajas emisiones nocivas productos de su combustión. El material particulado (mp) prácticamente no existe y muy bajos son los productos NO_x , CO y HC. Su mezcla con el aire de combustión es más perfecta por tratarse ambos de gases sin diferenciarse mucho en sus densidades. No tiene necesidad de ningún aditivo para aumentar la resistencia al picado ya que su NO R.O.N. es mayor a 120. Finalmente debemos decir que son todas bondades el uso de este combustible. Lógicamente que la potencia se ve reducida debido a que el poder calorífico de la mezcla es menor (entre un 12 y 14% menos) ocurriendo la misma reducción en el par motor. Asimismo el problema de la autonomía requiere de cilindros que son llenados a presiones del orden de los 200 bar. Estos cilindros necesariamente son de acero de pared gruesa para soportar esa presión, ocupan un espacio considerable y agregan un peso extra al vehículo que no es despreciable, **Marchese** (2005).

Conclusiones

Este trabajo tiene por objeto dar a conocer el comportamiento de los combustibles en los motores, y qué problemas trae aparejado en los mismos o en sus sistemas de tratamiento de los gases de escape de acuerdo a la mezcla de hidrocarburos que los forman, los aditivos agregados y las sustancias que de un modo u otro se encuentran en ellos. Podemos hacer un listado de las características y los requisitos indispensables que deben tener los combustibles para cada tipo de motor, resumiéndolos en el siguiente cuadro:

- Número Octano RON: entre 85 y 95 dependiendo del tipo de motor y su utilización. Debería llegarse a un entendimiento con los fabricantes de motores para que estos, empleando las modernas tecnologías, produzcan los mismos con elevado rendimiento térmico (relaciones de compresión elevadas) utilizando combustibles de NO discreto.
- Contenido de Azufre: Máximo entre 50 y 150 ppm. Para menores valores será necesario el agregado de aditivos para mejorar la lubricidad cuando es usado en motores de inyección directa. Para motores convencionales en cuanto al tratamiento de los gases de escape, este límite puede ser de 300 ppm.

- Aromáticos: Disminuir el contenido de benceno todo lo posible.
- Presión de Vapor Reid: De acuerdo a la época del año y la región para lograr los cometidos requeridos.
- Compuestos Oxigenados: Reemplazar totalmente el MTBE por Etanol con un porcentaje de este último de un 10 o 15 %. Lógicamente que esto dependerá de la producción nacional de alcohol anhidro y de un sinnúmero de consideraciones económicas financieras.
- GNC: Extremadamente limpio, aún en estado natural (mayormente metano). Combustión casi perfecta. Naturalmente de bajas emisiones nocivas. Comportamiento motorístico excelente. Aunque presenta elevado NO, posee menor poder calorífico y

menor velocidad de combustión que las naftas. Es necesario modificar sensiblemente el sistema de alimentación de los motores para su uso mixto con combustibles líquidos, y su almacenaje resulta complicado y poco eficiente en cuanto a la autonomía. Actualmente se ve beneficiado por su bajo costo. Se recomienda su uso en transporte urbano.

Asimismo el problema de la autonomía requiere de cilindros que son llenados a presiones del orden de los 200 bar. Estos cilindros necesariamente son de acero de pared gruesa para soportar esa presión, ocupan un espacio considerable y agregan un peso extra al vehículo que no es despreciable.

Bibliográficas

Cerutti, A. A. (2001) La refinación del petróleo [CD]. - [s.l.] : Instituto Argentino del Petróleo y del Gas. ISBN 978-987-9139-30-1.

Engelen, B., Rose, K. y Thompson, N. (2008) Guidelines for blending and handling motor gasoline containing up to 10% v/v ethanol [Libro]. - [s.l.] : CONCAWE.

Marchese, R. A. (2005) La Combustión Motriz a Partir de Combustibles Gaseosos en los Motores Ciclo Otto [Libro]. - [s.l.] : Asoc. Coop. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología.

Marchese, R. A. y López, J. (2004) Ensayos en banco de pruebas de motonaftas con agregado de MMT y Etanol en motores ciclo Otto [Informe].

Martínez de Vedia, R. (1997) Teoría de los Motores Térmicos [Libro]. - [s.l.] : Librerías y Editorial Alsina. ISBN 9505530064.

Salvi, G. y Casalini, A. (1984) La Rivista dei Combustibili: Piombo e Idrocarburi Aromatici nella Benzina e Composizione dei gas di scarico [Publicación periódica]. - [s.l.] : Centro Grafico Linate, Vol. 38.

Sólamo, H., Marchese, R. A. y Hernández, M. (2009) Asesoramiento Técnico para la Secretaría de Energía de la República Argentina: Efectos de las Mezclas Combustibles Etanol/Naftas en Porcentajes Menores al 5% v/v [Informe]. - 2009.

Toyota (2010) Manual Técnico del Toyota Prius [Informe]. - 2010.

Vallejo, E. V. (1976) El Alcohol de 95° como Combustible para Motores a Nafta [Informe].

Worldwide Fuel Charter (2006) Worldwide Fuel Charter [Informe].

El presente trabajo fue realizado entre los meses de julio y diciembre de 2012 en la cátedra de Motores de Combustión Interna del Departamento de Mecánica de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán.

Ricardo A. Marchese

Ingeniero Mecánico, egresado en 1975 de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Actualmente se desempeña como Profesor Titular con dedicación exclusiva en la cátedra de "Motores de Combustión Interna" y "Práctica de Motores de Combustión Interna" del Departamento de Mecánica (FACET-UNT) y "Termodinámica y Máquinas Térmicas" del Departamento de Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial. Director del Laboratorio Tecnológico de Motores de Combustión Interna. Director Técnico por parte de la FACET del convenio UNT-REFINOR S.A. para la investigación y ensayos de motonaftas con agregado de etanol y gasoil con biodiesel. Dirige un proyecto de investigación financiado por el CIUNT (UNT) en el área de energía y máquinas térmicas. Ha publicado trabajos de investigación en revistas de la especialidad y ha dictado conferencias sobre temas relacionados.

Jorge E. M. Bustos

Ingeniero Mecánico, egresado en 1999 de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán. Actualmente se desempeña como Profesor Adjunto con dedicación exclusiva en la cátedra de "Motores de Combustión Interna" y "Práctica de Motores de Combustión Interna" del Dpto de Mecánica (FACET-UNT) y "Termodinámica y Máquinas Térmicas" del Departamento de Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial. Investigador Categorizado "V" por el (CIUNT). Co-Director de proyecto de investigación financiado por el CIUNT (en el área de energía y máquinas térmicas).

Jorge L. López

Técnico Superior en Gestión Universitaria (TSGU) egresado en 2011 en Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Técnico en automotores. Se desempeña como Auxiliar Docente Graduado con dedicación simple en la Asignatura Prácticas de Motores de Combustión Interna del Departamento Mecánica Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la UNT. Jefe del Agrupamiento Técnico del Departamento de Ingeniería Mecánica. Investigador Categoría "V" del CIUNT. Integrante de proyecto de investigación financiado por el CIUNT en el área de energía y máquinas térmicas.