

Efectos de las características y calidad de los combustibles en los motores Ciclo Diesel

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 Diesel, 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 Diesel.

Effects of features and fuel quality in cycle diesel engine

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 their behavior and characteristics such as lubricity, fluidity, storing, transportation, distribution, etc.

Petroleum fuels normally have unwanted elements that are noxious not only for the environment but also for the engines and their emission control devices.

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

Keywords: effects, characteristics, fuels, Diesel engines.

Introducción

Los motores de ciclo Diesel son utilizados en general para accionar vehículos de transporte de pasajeros y carga, tanto terrestre como naval, desde camionetas con capacidad de carga de 1000 kg, camiones y ómnibus, hasta yates y buques de gran calado. También se emplean para grupos electrógenos, motobombas y diversos equipos auxiliares de diversos tamaños. Su utilización en automóviles es también requerida y lo fue en gran medida mientras el precio del gasoil estaba contenido por subsidios que lo tornaban muy atrayente.

Es innegable su mejor rendimiento frente a motores Otto debido a que emplean relaciones de compresión elevadas, además de la regulación, es decir su adaptación a diferentes estados de carga y velocidad, que se realiza por calidad (variando el factor de dilución). Para motores con diámetros de cilindros mayores a 100 mm quedan pocas alternativas para utilizar con buen rendimiento otro ciclo que no sea el Diesel. En motores pequeños (hasta alrededor de 2,5 litros) el motor de ciclo Otto puede competirle sin grandes diferencias y con relativa sencillez en su sistema de alimentación, **Marchese et al.** (2011).

Vemos a continuación los requerimientos de combustibles Diesel para un buen desempeño y cuidado del medio ambiente **Giacosa** (1988), **Obert** (1992).

Número Cetano e Índice Cetano

En los motores de ciclo Diesel, el combustible ingresa al cilindro al final de la carrera de compresión, y al encontrarse con aire a elevadas presiones y temperaturas comienza la combustión por autoignición.

Los motores de ciclo Diesel son utilizados en general para accionar vehículos de transporte de pasajeros y carga, tanto terrestre como naval, desde camionetas con capacidad de carga de 1000 kg, camiones y ómnibus, hasta yates y buques de gran calado.

En la práctica este autoencendido no se produce inmediatamente, dando lugar a un retraso durante el cual se acumula una cierta cantidad de combustible en la cámara, que al iniciar la combustión lo hace de forma violenta, tanto más cuanto mayor es el retraso.

El Número Cetano (NC) es una medida de la calidad de

encendido de un combustible Diesel, más específicamente, es una valoración del retraso de encendido que posee dicho combustible. Se determina en un motor especial de ensayo contrastándolo con una mezcla de dos combustibles patrones, el cetano (exadecano) que posee un buen comportamiento para este tipo de motores, y al que se le asigna arbitrariamente un valor NC=100, y el alfametilnaftaleno, de malas características, al cual se le asigna el valor NC = 0. De esta manera, si mezclamos un cierto volumen de cetano en alfametilnaftaleno, el NC resultante tendrá un valor igual al porcentaje en volumen de cetano en dicha mezcla. Así, si un combustible cualquiera probado en el motor de ensayo tiene el mismo retraso de encendido que una mezcla conocida de cetano y alfametilnaftaleno, se dice que el NC de la muestra será el mismo que el de la mezcla patrón.

Numerosos factores inciden en el retraso del encendido, pero aquí trataremos sólo lo concerniente al combustible. Es importante cumplir con las especificaciones requeridas al respecto para evitar el picado Diesel, demoras en el arranque en frío y aumento en las emisiones nocivas, **Marchese et. al** (2008), **Marchese et. al** (2012).

El Índice Cetano (IC) es un número basado en la medida de las propiedades de los combustibles, que se calcula mediante fórmulas más o menos complejas. Resulta igual al NC cuando se lo aplica sobre combustibles que no contienen aditivos (NC natural), variando notablemente en hidrocarburos aditivados (NC artificial). De esta manera, en un combustible al cual se le agregan aditivos para mejorar sus características, el valor de IC calculado será menor que el de NC medido, **Giacosa** (1988), **Obert** (1992).

En pruebas de contraste realizadas por ACEA (European Automobile Manufacturers Association) EPEFE (European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies) para dos combustibles, uno de NC58 y otro NC50, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El aumento de NC redujo el tiempo de arranque en frío en un 40%.
- En motores de trabajo pesado, debido al aumento de NC, las emisiones de NO_x a velocidades intermedias y bajas cargas se redujeron en hasta un 9%, y a velocidades nominales y bajas cargas en hasta un 6%, mientras que las emisiones de HC se redujeron entre un 30% y un 40%.

Para motores de vehículos livianos el mismo incremento de NC produce una significativa reducción de hasta un 26% en HC y CO.

La influencia del NC en la buena respuesta en arranque en frío ha sido demostrada por ACEA EPEFE, con una reducción del tiempo de arranque en un 40% al pasar de un combustible con NC50 a otro con NC58, independientemente de que se haya conseguido ese valor con aditivos o no, **Worldwide Fuel Charter** (2006).

En cuanto a las emisiones de NO_x para motores de trabajo pesado a velocidades medias y estados de carga bajos, se comprobaron reducciones de hasta un 9% en las mismas al pasar de un NC50 a un NC58. A velocidades nominales y estados de carga menores al 20% la reducción es de un 5% a un 6%. Se ha demostrado una reducción del 30% al 40% en las emisiones de HC, **Worldwide Fuel Charter** (2006).

Para motores de vehículos livianos EPEFE concluye que hay una significativa reducción de hasta un 26% en HC y CO con el incremento de NC50 a NC58.

Incrementos en el Cetano Natural mejoran el consumo de combustible, de manera que incrementando de NC50 a NC58 se consigue una reducción de hasta aproximadamente un 2%. Estas mejoras se dan mayormente a bajos estados de carga y velocidades. Para estados de carga a partir de 80% y velocidades nominales, prácticamente no hay variación.

El incremento de NC también reduce el ruido de la combustión, como se muestra en la figura 1. Esta última característica influye más que nada en el confort de marcha y la contaminación sonora, **sin influencia significativa en el comportamiento motorístico**, **Worldwide Fuel Charter** (2006).

Otras consideraciones sobre el NC

Definido el tema que a mayor NC existe una mejora en emisiones, consumo específico, arranque en frío, etc. vamos a considerar cual será el límite superior de este valor.

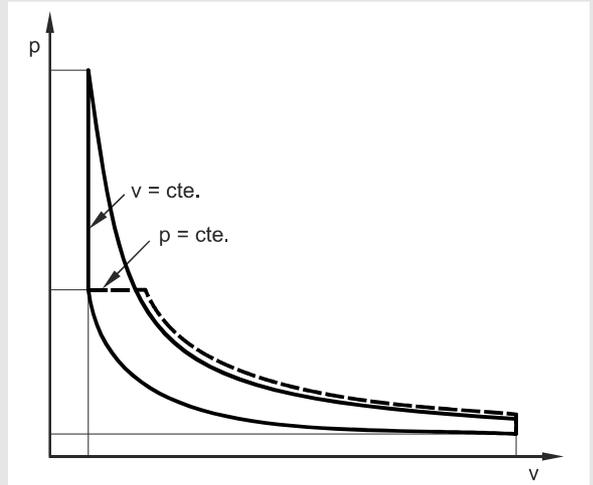


Fig. 2 Combustión a volumen constante y a presión constante.

Es por eso que estimamos como máximo un NC 60 ~ 65 a partir del cual el consumo específico comenzará a aumentar debido a que empeora el η_t (rendimiento térmico).

Sabemos que las combustiones a volumen constante son mejores que las combustiones a presión constante desde un punto de vista termodinámico, ya que aprovechan mejor la expansión posterior. Ahora bien, con NC cada vez más elevados, los retrasos de encendido disminuirán, por lo que la combustión tenderá más al tipo de presión constante, correspondiente a la del ciclo Diesel ideal (figura 2).

El consumo específico se puede calcular como:

$$b_e = \frac{3,6 \cdot 10^6}{H_u \cdot \eta_e}$$

Donde η_e es el rendimiento efectivo del motor y H_u es el poder calorífico inferior del combustible. Si consideramos este último como constante:

$$b_e = \frac{k}{\eta_e} = \frac{k}{\eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_m}$$

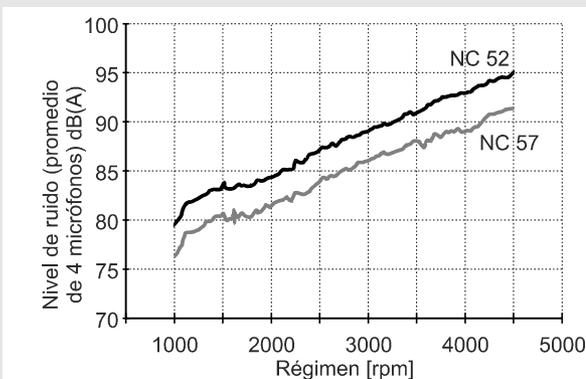


Fig. 1 Nivel de ruido en función del NC.

Considerando que el grado de bondad η_g y el rendimiento mecánico η_m no varían, nos queda sólo como función de η_i , y por lo tanto si η_i baja, el consumo específico b_e sube.

También se ha demostrado que con NC cada vez más elevados (a partir de NC 70), la combustión posterior es de una duración inaceptable por lo que se tienen todavía llamas cuando se produce el avance a la apertura del escape (AAE), Cerutti (2001).

Efectos de la densidad y la viscosidad

La moderna inyección Diesel es controlada volumétricamente por medio de válvulas solenoides activadas durante un tiempo muy pequeño de acuerdo a las necesidades que se solicitan al motor. Por lo tanto la densidad del combustible tendrá consecuencias en la potencia desarrollada, el consumo y las emisiones. En todos los programas y normativas se establecen, para optimizar el desempeño de los motores y sus emisiones nocivas, un valor máximo y uno mínimo de esta densidad.

Pruebas de emisiones han demostrado que reduciendo la densidad de 855 a 828 [kg/m³] se reduce el material particulado en todos los vehículos (en especial los livianos) y los NO_x en los pesados.

En cuanto a la variación de la potencia se han realizado pruebas, y se puede establecer teóricamente que la disminución de la densidad del combustible disminuye la potencia e incrementa el consumo, Marchese et al. (2009). Por otro lado, esta disminución de densidad produce un decrecimiento en las emisiones de CO₂, en alrededor de un 1%. Esto se explica por las altas relaciones hidrógeno/carbono de los combustibles con baja densidad, Marchese et al. (2010).

La influencia de la densidad del combustible en los equipos para control de emisiones es función de cuánto se aleje esta de los parámetros normales. Los sistemas EGR (Exhaust Gas Recirculation) se regulan para un cierto valor de densidad y en algunos casos pueden salir de los valores óptimos para el control de emisiones de los NO_x. De todos modos no representan situaciones irreversibles, pudiendo regularse para el nuevo valor de densidad.

La densidad del combustible tendrá consecuencias en la potencia desarrollada, el consumo y las emisiones.

La influencia de la viscosidad es menos importante en la potencia desarrollada y en las emisiones, pero debe ser controlada entre ciertos límites para evitar distorsiones en las bombas de combustibles y fugas en los elementos según se trate de una viscosidad mayor o menor.

Azufre

El azufre se encuentra naturalmente en el crudo. Debe ser removido en los procesos de refinación, porque contamina a los combustibles elaborados. Afecta significativamente la vida del motor, Worldwide Fuel Charter (2006). Ver figura 3.

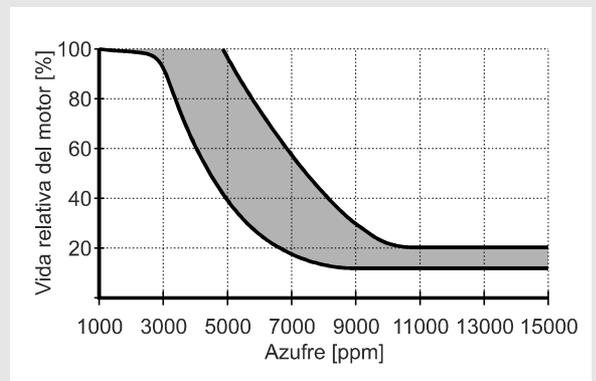


Fig. 3 Desgaste del motor en función del contenido de azufre.

Sin embargo, se puede observar que la influencia es casi nula para concentraciones hasta 2000 [ppm].

Pero la presencia de azufre contribuye en gran medida a las emisiones de material particulado fino a través de la formación de sulfatos. También lleva a la corrosión y al deterioro de los sistemas del motor, a la vez que disminuye la eficiencia de algunos equipos de tratamiento posterior de gases de escape, mientras que otros, envenenados por este elemento, se vuelven permanente e irreversiblemente inertes.

Cuando los niveles de azufre se reducen, la estabilidad del combustible requiere una especial atención, ya que la estabilidad térmica oxidativa del mismo se ve reducida. En la industria se han desarrollado métodos para medir la estabilidad a altas temperaturas de los combustibles destilados. Con una inadecuada estabilidad térmica pueden ocurrir taponamientos de filtros. Siempre es más apropiado conocer la estabilidad térmica oxidativa que la estabilidad del combustible por largos períodos en depósitos, Worldwide Fuel Charter (2006).

Una propiedad que se ve afectada al reducir las concentraciones de azufre en los combustibles es la lubricidad. Esta característica es muy importante, ya que con valores inadecuados se ocasionan desgastes en el sistema de inyección, fundamentalmente en las bombas, pudiendo ocasionar en algunos casos fallas catastróficas. La medida de la lubricidad está dada según los sistemas y normas, por ejemplo el método Bucle se da en nivel de carga mínima en [gr], mientras que el método HFRR (high frequency reciprocating ring – Norma ASTM 6079) toma como valor las dimensiones de la marca de desgaste dejada por un balín que se desplaza 1 [mm] sobre un disco, a una temperatura de 60 [°C], con una carga efectiva de 200 [gr] y a una frecuencia de 50 [Hz] durante 75 [min].

La firma Bosch tiene una escala donde clasifica y valora el desgaste con una graduación de 0 a 10 unidades, y que se puede contrastar con el método HFRR como se muestra en la figura 4.

Según esto, lo admitido por la escala Bosch es de 3,5, que corresponde a un valor de 400 [m] en la escala HFRR. En la escala SL-Bucle se admiten valores mínimos de 300 a 310 [gr], pero estos límites no están totalmente definidos y aceptados, Thiel (2000).

combustibles con bajo contenido de azufre, se redujo la marca de desgaste del HFRR hasta en un 60%. Hoy en nuestro país todos los combustibles Diesel poseen un 7% de Biodiesel (B7), por lo que no habría inconvenientes en este sentido, **Worldwide Fuel Charter** (2006), **Schumacher** (2005), **Valderrama et al.** (2009), **Rodríguez** (2010).

Contaminación por partículas

Los equipos de inyección de combustible están en continuo desarrollo para reducir las emisiones, el consumo y mejorar el desempeño general de los motores Diesel. Las presiones de inyección han ido en aumento conjuntamente con nuevos diseños y hoy es común encontrar valores de 1400 a 1600 [bar]. Los avanzados diseños Common-Rail utilizan inyectoros con toberas de orificios múltiples de reducidas dimensiones, y sus componentes poseen juegos extremadamente reducidos. Pequeñas partículas sólidas pueden ser arrastradas por el combustible, pudiendo representar potenciales fuentes de fallas en el sistema de inyección, y finalmente en el motor. De nada vale que el combustible original pase la prueba de lubricidad si luego es contaminado en su traslado, en depósitos o tanques de combustible. La contaminación del combustible Diesel puede ocasionar atascos prematuros en los filtros, dependiendo del tamaño, nivel de dureza y naturaleza de las partículas, así como desgastes en los componentes de los modernos sistemas de inyección.

En la medición de las partículas contaminantes del combustible deben considerarse el tamaño y el número de partículas por clase de tamaño contenida en el mismo. Las normas tales como la ISO 4406 prevén 3 números de código correspondientes al número de partículas superior a 4, 6 y 14 [μm] por [ml] respectivamente y mediante un diagrama que relaciona el número de partículas por ml con las medidas de las partículas en m de los números límites tolerados que son 18, 16 y 13 respectivamente correspondiendo a 1300 partículas de 4 μ por ml, 400 de 6 μ /ml y 80 de 14 μ /ml, **Worldwide Fuel Charter** (2006).

La contaminación del combustible Diesel puede ocasionar atascos prematuros en los filtros, dependiendo del tamaño, nivel de dureza y naturaleza de las partículas.

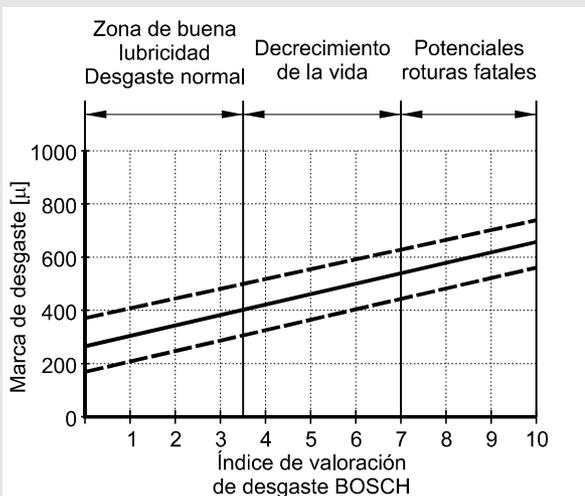


Fig. 4 Índice de desgaste BOSCH.

En forma general se admite que en combustibles Diesel con muy bajo contenido de azufre (aprox. 15 [ppm]), al mezclarlos con 5 a 6% de biodiesel consiguen aumentar su lubricidad hasta los niveles exigidos por la mayoría de las normas. En otras investigaciones se observó que con un 2% de biodiesel agregado a

Cenizas

Cenizas provenientes del combustible y del lubricante pueden contribuir a la coquización de las toberas de los inyectores, y tienen un efecto significativo en la vida de los filtros de partículas. Metales formadores de cenizas pueden estar presentes en los aditivos del lubricante o como subproducto del proceso de refinación.

Los constituyentes de las cenizas metálicas son incombustibles, así que cuando están presentes en el combustible quedan atrapados en el filtro de partículas, lo que conducirá finalmente a una elevada contrapresión en el escape y por lo tanto a problemas operativos en el vehículo, como disminución de las prestaciones y aumento del consumo.

Las soluciones fuera del combustible no han resultado satisfactorias, como el aumento del tamaño de los filtros de partículas, sobre todo en vehículos pequeños. Por lo que la mejor solución es eliminar del combustible los compuestos formadores de cenizas.

Muchas normas dan como máximo admisible un valor de 0,001% de cenizas, siendo este el límite de detección de los procedimientos de prueba corrientes, mientras que lo común es el límite de 0,01%. Este último valor permite reducir la formación de depósitos en el sistema de inyección y en los aros de pistón, aunque no ayuda a la preservación y buen funcionamiento de los filtros de partículas.

Nuevamente, y sólo para motores que poseen sistemas de control de emisiones sofisticados, es necesario disponer de un límite muy bajo (0,001%) en la cantidad de cenizas, **Worldwide Fuel Charter** (2006).

Aromáticos

Estos compuestos están formados por moléculas que contienen como mínimo un anillo de benceno. El contenido de aromáticos en el combustible Diesel afecta a la combustión y a la formación de material particulado y aromáticos policíclicos (PAH)). En general tienen influencia sobre la temperatura de la llama y por lo tanto en las emisiones de NO_x . A mayor cantidad de aromáticos mayor temperatura de la llama y mayor emisión de NO_x . Los aromáticos policíclicos incluidos en los combustibles afectan la formación de material particulado y la emisión de PAH de los motores Diesel.

Se ha demostrado que reduciendo el contenido de

aromáticos entre un 10 a un 30% se disminuye la emisión de NO_x de un 4 a un 5%, mientras que una reducción de aromáticos policíclicos entre un 1 a 9% disminuye la formación de material particulado en un 4 a 6%.

Por otro lado, estudios realizados en Italia hace tiempo (La rivista dei combustibili, Giavazzi, F., Trere, R.) (I problemi dei gasoli per autotrazione del prossimo futuro, 1984) demostraron que el aumento del tenor de aromáticos, superando valores aceptables de los mismos (hasta un 30%), empeoran el funcionamiento del motor, debido a que se ensucian los inyectores, especialmente en motores con cámaras de turbulencia.

Aun así, los compuestos aromáticos no tienen gran influencia en el sistema de inyección ni en la vida del motor, siendo más nocivos para el medio ambiente y eventualmente para los equipos de control de emisiones nocivas, Giavazzi et al. (1984), Salvi et al. (1984).

Características de destilación

Las curvas de destilación de un combustible Diesel indican las cantidades del mismo que van evaporándose a diferentes temperaturas. Esto nos da la "huella digital" del combustible que se está probando. Se dividen en 3 partes fundamentales:

1. Comienzo de las curvas de destilación.
2. Parte media donde se evapora aproximadamente el 50% del combustible.
3. Parte final de la curva, donde se ha evaporado el 90% y el 95%, puntos conocidos como T90 y T95.

El punto 1 tiene influencia en el arranque en frío del motor, ya que si un combustible tiene alta volatilidad a baja temperatura favorecerá la mezcla cuando el motor funcione frío.

El punto 2 afecta a parámetros como la viscosidad y la densidad.

El punto 3 tiene influencia fundamentalmente en las emisiones nocivas. La forma en la que afecta la T95 fue estudiado con lo que se llegó a las siguientes conclusiones:

Para motores Diesel de trabajos pesados, reducir el T95 de 375[°C] a 320[°C] tiende a disminuir las emisiones de NO_x y H_xC_y pesados.

En el caso de motores Diesel rápidos la misma reducción en la T95 resulta en una reducción del material particulado y un incremento en las emisiones de NO_x de un 4,6%.

De todas maneras se ha demostrado que al aumentar la T95 se incrementan el cokizado y las emisiones de hollín, humos y material particulado.

Por lo tanto, aunque no tienen influencia significativa en el funcionamiento ni en la vida útil del motor y su sistema de inyección, para un buen control de las emisiones habrá que mantener acotados los valores de T90 y T95 **Worldwide Fuel Charter** (2006), **Cerutti** (2001).

Fluidez en frío

Los combustibles Diesel pueden tener un alto contenido de hidrocarburos parafínicos (mayor al 20%), los cuales tienen una solubilidad limitada en el gasoil, y si este se enfría lo suficiente, puede separarse la parafina produciendo el taponamiento y obstrucción de filtros y conductos de combustible.

Es importante notar que esta característica debe ser uno de los criterios fundamentales en la elección de los combustibles Diesel, teniendo en cuenta fundamentalmente las condiciones de temperatura ambiente donde funcionarán los equipos.

La formulación de los combustibles Diesel debe variar en las distintas estaciones del año.

Existen distintos métodos para predecir a qué temperatura se producirá este fenómeno en una formulación dada de combustible. Uno de ellos es el punto de enturbiamiento C.P. (norma ISO 3015), que es la temperatura a la cual se empiezan a precipitar las parafinas y a formarse cristales. También se utiliza otro método conocido como POFF (según norma EN 116), que es la temperatura más baja en la cual el combustible puede pasar a través de un filtro en una prueba determinada.

Para algunos casos estas pruebas han demostrado que no son suficientes para predecir el comportamiento del combustible, por lo que se requieren pruebas más severas.

En el Laboratorio de Motores de Combustión Interna

(LMCI) del Departamento de Mecánica de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT se ha desarrollado un sistema para una empresa petrolera de la región, que ha dado buenos resultados, sobre todo para conocer la respuesta del gasoil en climas particularmente severos por su baja temperatura, **Marchese et al.** (2001) y **Marchese et al.** (2012).

Existen aditivos para combustibles Diesel que reducen la temperatura del POFF, para adecuarlo al uso en lugares fríos. Es así que la formulación de los combustibles Diesel debe variar en las distintas estaciones del año.

Mezclas con Biodiesel

El Biodiesel es un metil o etil éster de ácidos grasos producido generalmente a partir de aceites vegetales, y que puede reemplazar totalmente al combustible Diesel. No es motivo de este trabajo el estudio particular del Biodiesel, aunque es necesario exponer algunos comentarios sobre su combinación con gasoil.

Actualmente en el mundo se utilizan mezclas desde un 5% de Biodiesel (B5) hasta un 20% (B20), y aún más. Nuestro país incorpora por legislación un 7% de Biodiesel en gasoil (B7) para todas las categorías de este combustible.

En el LMCI se realizaron pruebas de combustibles Diesel B10, para valorar su comportamiento y sus características como aditivo, con lo que se pudo determinar la eficacia de su acción, contra muy pocos antagonismos. Una ventaja importante de la utilización de Biodiesel como mezcla es que provee la necesaria lubricidad para evitar desgastes o daños en el sistema de inyección, **especialmente en combustibles con reducido contenido de azufre**. Al provenir de aceites vegetales, reduce las emisiones de material particulado y de CO₂, aunque en algunos ensayos mostró una tendencia a aumentar algo los valores de NO_x (en nuestras pruebas de laboratorio no se notó ningún incremento).

Mezclado en grandes proporciones (mayores a B20) tiene tendencia a ser menos estable, debido a la presencia de productos de oxidación, y requiere especial cuidado a bajas temperaturas por pérdida de fluidez.

Tiende a aumentar la formación de depósitos en el sistema de inyección, por lo que requiere de aditivos detergentes.

Un problema encontrado en la transición al combustible Diesel con agregado de Biodiesel fue el hecho que, al ser este último muy solvente (alta polaridad) removía los sedimentos de los tanques usados, causando el taponamiento de los filtros y/o daños en los sistemas de inyección.

Otra desventaja es que el Biodiesel tiene un impacto negativo en las gomas naturales de los sellos del sistema de combustible y en algunos tipos de materiales plásticos como el PVC y similares utilizados en recipientes (esto ha sido comprobado en nuestro Laboratorio con bidones de material plástico). También disuelve las capas de pintura utilizadas para cubrir superficies.

Las pruebas realizadas en nuestro Laboratorio (alrededor de 300 hs) con productos B10 y B100 han dado resultados muy satisfactorios tanto en emisiones como en comportamiento motorístico, Marchese et al. (2012).

Nuestro país incorpora por legislación un 7% de Biodiesel en gasoil (B7) para todas las categorías de este combustible.

Aditivos detergentes

Las puntas de los inyectores donde se encuentran la o las toberas, que son orificios de muy pequeñas dimensiones, están inmersas en la cámara de combustión, donde las variaciones de presión y temperatura crean un ambiente extremadamente severo. Entre los productos de la combustión aparecen materias sólidas, que pueden depositarse en el extremo de los inyectores, modificando significativamente la operación de los mismos.

En los motores de precámara (inyección indirecta) estas materias sólidas obstruyen parcialmente la tobera, reduciendo la entrega de combustible a cargas parciales, con lo que la combustión se realiza violenta y desorganizadamente. En el caso de motores de cámara abierta (inyección directa) pueden producirse obstrucciones totales o parciales en uno o varios orificios del inyector, modificando notablemente la distribución del o de los chorros de combustible, reduciendo la eficiencia o hasta perjudicando componentes del motor. En algunos casos extremos esto puede causar daños permanentes, como deformación de los pistones, problemas en los aros de fuego, etc.

Los depósitos de hollín en los inyectores de los motores de antecámara son prácticamente inevitables y dependen del tipo y de la calidad del combustible. En el caso de los motores de inyección directa estos son más resistentes al coquizado, aunque combustibles de baja calidad pueden producir eventualmente el taponado de los orificios.

Estos problemas se resuelven con los aditivos detergentes incluidos en el gasoil, denominados "Keep Clean", y son una prioridad hoy en día con los nuevos sistemas de inyección de alta presión.

Mientras tanto pequeñas cantidades de impurezas metálicas como el zinc, plomo, sodio y potasio en el combustible deben ser removidos del mismo, ya que son la principal causa del ensuciamiento de los inyectores, con la inevitable consecuencia de disminución de potencia y el incremento de las emisiones de material particulado, **Worldwide Fuel Charter** (2006).

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 Cetano:** Entre 50 y 55 dependiendo del tipo de motor y su utilización. No superar los NC 60. Para motores grandes y lentos puede usarse un combustible Diesel de NC 45.

- Lubricidad:** Según el método HFRR a 60 °C max. 400 μ .

- Las mezclas con BioDiesel son probadamente satisfactorias entre un 10 y 15 % v/v (B10 o B15). Mejora la lubricidad de los combustibles, sobre todo en aquellos con contenidos de azufre menores a 500 ppm.

- Azufre:** Para motores sin control de emisiones y de antiguos tipos hasta 1000 ppm. Para motores modernos con sistemas de control de emisiones es posible un límite máximo de unas 500 ppm. En el caso de motores de última generación con **sofisticados sistemas**

de control de emisiones se especifica un máximo admitido de 10 ppm, aunque sería conveniente estudiar si ese límite máximo se extienda a unas 50 ppm.

• Aromáticos: Reducir al máximo posible el contenido de aromáticos.

• Densidad: Entre los 810 y 850 [kg/m³].

Viscosidad a 40 °C: Entre los 2 y 5 [cSt].

• Fluidez en frío: POFF de acuerdo a la región y la época del año. **Esta característica debe ser la primera en tener en cuenta** si el motor opera en lugares fríos para evitar fallas y detenciones.

Bibliografía

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

Giacosa, D. (1988) Motores Endotérmicos [Libro]. - [s.l.] : Ediciones Omega S.A.

Giavazzi, R. y Trete, R. (1984) La Rivista dei Combustibili: I Problemi dei Gasoli per Autotrazione del Prossimo Futuro [Publicación periódica]. - [s.l.] : Centro Gráfico Linate - Vol. 38. - ISSN 0370-5463.

Marchese, R. A. y Golato, M. (2011) El Consumo de Combustible y Energía en el Transporte [Publicación periódica]. - [s.l.] : cet "Revista de Ciencias Exactas e Ingeniería" - ISSN 1668-8910, Vol. 33, pp. .

Marchese, R. A. y López, J. (2010) Proyecto de Investigación: Biodiesel, ensayos sobre motor y comparaciones con combustibles derivados del petróleo [Informe].

Marchese, R. A., Bustos, J. y López, J. (2012) Ensayos comparativos de combustibles Diesel y Biodiesel [Informe].

Marchese, R. A., Bustos, J. y López, J. (2008) Proyecto de investigación: Desarrollo de sistema en motores ignición por compresión (ciclo Diesel) para funcionar con Gas Oil, GNC o GLP indistintamente [Informe].

Marchese, R. A., Bustos, J. y López, J. (2009) Variaciones en la potencia de un motor ciclo Diesel según algunas características del combustible utilizado [Conferencia]. - [s.l.] : V Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de ingeniería del NOA - ISBN 978-987-633-042-8.

Marchese, R. A. y López, J. (2001) Ensayos de fluidez de combustibles Diesel a bajas temperaturas para determinar POF en condiciones reales de trabajo [Informe].

Marchese, R. A., Bustos, J. y López, J. (2012) Ensayos y mediciones de NO y N.C. de distintos tipos de combustibles líquidos y GLP para ser usados en motores ciclo Otto y Diesel [Informe].

Obert Eward, F. (1992) Motores de Combustión Interna. Análisis y aplicaciones [Libro]. - [s.l.] : Editorial CECSA.

Rodriguez Erwin Franz (2010) Sistema medidor de lubricidad para DUBA (Diesel de Ultra Bajo Azufre) bajo la Norma ASTM 6079 [Informe]. - [s.l.] : National Instruments.

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

Schumacher Leon (2005) The Biodiesel Handbook [Libro]. - [s.l.] : AOCS Publishing - ISBN 978-1-893997-79-0.

Thiel Yvonne Petrolplaza [En línea]. - Petroleum Equipment & Technology Archive, Mayo de 2000. - <http://www.petrolplaza.com/technology/articles/MiZlbiYxMDQ1NCYmMSYxJiY%3D>

Valderrama, A. (2009) Desgaste en los Sistemas de Inyección Diesel por efecto del elevado contenido de azufre en el combustible [Conferencia]. - [s.l.] : XV Congreso Internacional Anual de la SOMIM.

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

Ing. Mecánico, egresado en 1975 de la FACET-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

Ing. Mecánico, egresado en 1999 de la FACET-UNT. Actualmente se desempeña como Jefe de Trabajos Prácticos 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. Investigador Categorizado "V" por el (CIUNT). Co-Director de proyecto de investigación financiado por el CIUNT (UNT) en el área de energía y máquinas térmicas.

Jorge L. López

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