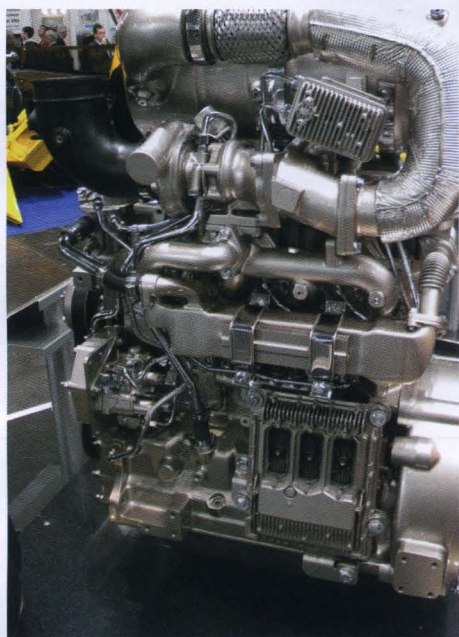


NEUMÁTICOS PARA
PROTECTORAS

LOS COMBUSTIBLES PARA LOS MOTORES CON BAJO NIVEL DE EMISIONES



LUIS MÁRQUEZ

La mejora de la calidad de los carburantes ha sido esencial para aumentar las prestaciones de los motores, pero también para reducir las emisiones de gases contaminantes que se producen con la combustión. Esto se ha complicado como consecuencia

de la entrada en vigor de los niveles IIIB y IV en las limitaciones establecidas por la Unión Europea para los vehículos extraviarios, equivalentes a los niveles Tier 4i y 4 final de las normas americanas de la EPA.

La necesidad de recurrir al tratamiento posterior de los gases de escape en su recorrido desde el motor hasta la atmósfera, exige requisitos específicos a los carburantes, que también dificultan el empleo de muchos de los de origen vegetal.

Parámetros que definen las propiedades de los combustibles

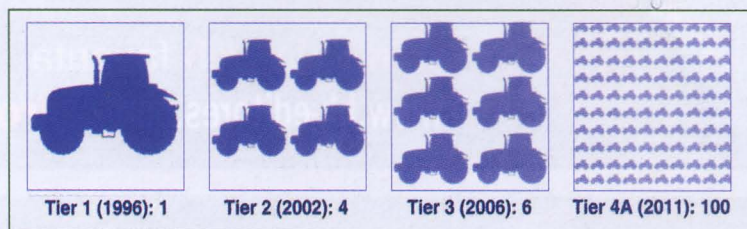
El primero de estos parámetros es la **densidad**. Esta densidad normalmente se expresa en g/cm^3 o en kg/m^3 , y se determina con el combustible a una temperatura de 15°C . Permite establecer las equivalencias entre el consumo de combustible en términos de masa (g/h) y en volumen (L/h). Con mayor densidad más será la masa de

combustible inyectado, ya que la inyección es volumétrica, lo que significa un incremento de la potencia del motor. En general, las variaciones en la densidad de los combustibles son pequeñas.

Es más importante lo que se relaciona con las **temperaturas de vaporización** del combustible. Cuando el gasóleo ofrece un punto de fin de vaporización (proceso de destilación) más alto (mayor temperatura), sus componentes menos volátiles no se queman bien, lo que ocasiona escurrimientos del gasóleo sin quemar hasta el cárter, reduciendo la calidad lubricante del aceite, a la vez que aumentando la fracción carbonosa en las cámaras de combustión, sobre todo cuando el motor funciona a media carga. El comportamiento en destilación queda definido por el volumen de combustible (en %) que se ha destilado a una determinada temperatura.

Es frecuente, sin embargo, que los residuos carbonosos se mantengan muy por debajo de los límites establecidos reglamentariamente en los productos que se comercializan, pero hay que advertir de la dificultad para utilizar gasóleos pesados (de calefacción) en motores diésel modernos. Los residuos de carbón son una referencia para medir los que se depositarían

REDUCCIÓN DEL NIVEL DE EMISIONES EXPRESADO EN NÚMERO DE TRACTORES



en la cámara de combustión. El **nivel de cenizas** se define como el residuo obtenido en la combustión libre del carbono, que puede ocasionar desgastes como consecuencia de su sedimentación en el motor y en el turbocompresor (salida de gases de escape)

Además, hay que considerar el **contenido de sedimentos** (suciedad en general), que son sustancias sólidas (pulverulentas) que producen desgastes en el sistema de inyección y en la cámara de combustión, y pérdida de estanqueidad en el cierre de las válvulas. También un contenido de agua demasiado alto en el combustible favorece la corrosión, y hace que aparezca barro y sedimentos que se depositan en los elementos de combustión y de inyección.

Con **contenido en azufre** elevado, a baja temperatura de los componentes, puede producir abrasión mediante corrosión y afecta a la periodicidad de cambio del aceite del motor. Por el contrario, un contenido de azufre demasiado bajo puede empeorar la capacidad de lubricación que proporciona el combustible. Los catalizadores que se utilizan para reducir las emisiones de escape de los motores pueden exigir niveles de azufre muy bajos, lo que obliga a añadir, en alternativa al azufre, mejoradores de la lubricidad. Para la medida de la lubricidad se ha desarrollado el ensayo HFRR (High Frequency Reciprocating Wear Rig) que simula el desgaste que se produciría en el paso del combustible por una bomba de inyección. Para ello se ejerce una presión constante sobre una bola que se desliza por una placa de acero pulido; el achatamiento de la bola, después de 75 minutos de acción, permite calcular el desgaste medio (norma EN-ISO 12156-1).

La **viscosidad** indica la capacidad que tiene el combusti-



ble para fluir por un orificio. A medida que aumenta, la cantidad de combustible que pasa por el conducto se reduce. La viscosidad baja con el aumento de la temperatura y es importante, ya que afecta especialmente al proceso de arranque. La viscosidad cinemática se expresa en mm^2/s a una temperatura determinada ($1 \text{ mm}^2/\text{s} = 1 \text{ cSt} - \text{centistoke}$). Las diferencias de viscosidad entre los combustibles de origen fósil son pequeñas, pero en el caso de los aceites vegetales son mayores y, por ello, uno de los factores limitantes. Para utilizar un combustible con alta viscosidad se necesita su calentamiento antes de la inyección.

El **número de cetano** informa sobre la inflamabilidad del combustible; está relacionado con el intervalo de encendido, o tiempo transcurrido desde el momento que se abre la válvula del inyector, dejando pasar el combustible a la cámara, y el instante en el que comienza la combustión del mismo. Este intervalo de encendido es un factor muy importante para el funcionamiento del motor:

- Si es demasiado largo, el combustible pulverizado atraviesa la cámara sin inflamarse, chocando con las paredes calientes, lo que da lugar a una peor

combustión y un aumento del humo blanco en el escape, con bajada del rendimiento y sobrecarga mecánica y térmica en el motor.

- Si es demasiado corto, se inflama en las proximidades del inyector, que se calienta y se cubre de carbón, lo que a la larga produce desviaciones sobre el chorro de combustible inyectado, modificando su trayectoria normal dentro de la cámara, con una combustión incorrecta por escasez de oxígeno, produciéndose en el escape humos negros y de mal olor.

El número de cetano se determina mediante la utilización de un motor con características definidas por la correspondiente norma de ensayo. De forma alternativa se puede utilizar como referencia el **índice de cetano**, que se calcula a partir de los valores de densidad del combustible y de su comportamiento en destilación, que se considera correlativo con el número de cetano.

El **valor calorífico inferior** indica la cantidad de calor que se puede conseguir al quemar 1 kg de combustible. El **punto de inflamación** es un valor que sirve como referencia para advertir el riesgo de incendio, pero no



tiene ninguna importancia con respecto al funcionamiento del motor. Se toma como referencia para establecer limitaciones de temperatura para el transporte y el almacenamiento del combustible.

El comportamiento en frío de los combustibles afecta a los motores, especialmente en el proceso de arranque. Así, el **punto de congelación** indica la temperatura a la que el combustible deja de fluir movido por la fuerza de la gravedad. Además de la temperatura de congelación se definen otras, como la correspondiente al **punto de fluidez** (*Pour Point*), que se encuentra aproximadamente 3 °C por encima de la de congelación, y la del **punto de enturbiamiento** (*Cloud Point*), que es aquella en la que se aprecia la presencia de segregaciones sólidas (parafinas) en el combustible. El valor límite de filtrabilidad (CFPP) indica la temperatura en la que se pueden producir la obstrucción de filtros y conductos.

El **número de neutralización** es un valor que indica el contenido de ácidos en el combustible o en el biocombustible (biodiésel). Se define por la cantidad de hidróxido potasio que hay que añadir para neutralizar los ácidos que contiene. Los compuestos ácidos en el combustible producen corrosión y desgaste, con el aumento de los residuos que se depositan en el interior del motor.

El combustible para los motores diésel, especialmente cuando se almacena durante periodos prolongados con cambios de temperatura, da lugar a la condensación de agua que se mezcla con el combustible. Este agua favorece la corrosión de los depósitos. Para evaluar los límites establecidos en las normas técnicas, que sirven para definir las especificaciones de los combustibles, se utiliza la inmersión en el combustible, a una temperatura de 50°C, de una tira de cobre lijada durante 3 horas. Esto sirve para definir el parámetro denominado '**corrosión de cobre**' que se incluyen en las tablas de características del combustible.

En el caso de que los combustibles se almacenen durante mucho tiempo, estos se pueden oxidar y polimerizar parcialmente, con la formación de grumos no diluibles que obstruyen los filtros. Por ello, la **resistencia a la oxidación** es otro de los parámetros de referencia para garantizar la calidad del combustible cuando se alargan los periodos de almacenamiento.

En las especificaciones sobre los combustibles es frecuente que se utilicen como unidad las 'partes por millón' (ppm). Con ella se describe la concentración en peso del componente. Así, 1 ppm (m/m) es igual a 1 mg/kg.

Especificaciones técnicas de los gasóleos

La Directiva 97/68/CE relativa al control de las emisiones de gases contaminantes en el escape de los motores de máquinas móviles (no de carretera), en la que se incluyen los tractores agrícolas, revisada según la Directiva 2001/63/CE, incluye, en su Anexo IV, las características técnicas del combustible de referencia para

realizar las homologaciones y para comprobar la conformidad de la producción.

Por otra parte, en los diferentes países de la UE se establece en la legislación las especificaciones técnicas de los productos petrolíferos comerciales. El Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, 'por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocombustibles' incluyen en sus Anexos II y III las especificaciones de los denominados como gasóleo 'de automoción' (clase A), 'para usos agrícolas y marítimos' (clase B) y 'de calefacción' (clase C).

Siguiendo la misma clasificación establecida por el Decreto 2204/1975, las clases indicadas se diferencian así:

- **Gasóleo A:** De mejor calidad, gravado con la totalidad del impuesto aplicable al petróleo y sus derivados.
- **Gasóleo B:** De la misma calidad que el anterior, con precio bonificado (reducción de parte del impuesto), limitado para usos agrícolas y pesqueros, con colorante rojo y trazadores para controlar su empleo.
- **Gasóleo C:** De calidad ligeramente inferior, y, por tanto, de menor precio, también sujeto a bonificación fiscal, apropiado para generadores de calor de cualquier potencia, teñido de color azul y con trazadores para controlar su empleo.



CUADRO 1.- ESPECIFICACIONES DE LOS GASÓLEOS

Características	Tipo CE	Reglamentación española		
	97/68/CE	Gasóleo A	Gasóleo B	Gasóleo C
Índice de cetano				
mínimo	45	46	46	-
máximo	50		49	
Densidad a 15°C				
mínimo (kg/m ³)	835	820	820	-
máximo (kg/m ³)	845	845	880	900
Destilación 95%				
máximo (°C)	370	360	370	-
Viscosidad a 40 °C				
mínimo (mm ² /s)	2.5	2.0	2.0	
máximo (mm ² /s)	3.5	4.5	4.5	7.0
Azufre				
máximo (%)	0.1-0.2	0.05	0.2	0.2

Entre todas las especificaciones establecidas para el combustible que se utiliza en las pruebas de homologación de motores, las más importantes, por su influencia en el rendimiento del motor y en las emisiones de escape, son las que se incluyen en el cuadro 1, junto a las correspondientes del reglamento español.

Limitaciones en el índice de cetano

La variación en el intervalo de encendido (consecuencia del cambio en el índice de cetano del carburante) influye de manera fundamental en los arranques en frío de los motores. No obstante, el diseño de las cámaras de combustión afecta a la respuesta del motor frente a la variación del índice de cetano del combustible. Los motores de inyección directa, que son los que en estos momentos se utilizan en la mayoría de los tractores agrícolas, resultan los más afectados por las variaciones del índice de cetano.

Los fabricantes de motores diésel en Europa establecen para los motores extraviarios que el número de cetano sea superior a 45. Con valores inferiores se suele producir humo blanco

en el escape, así como fallos en el encendido.

Una reducción del índice de cetano obliga a modificar las regulaciones del sistema de inyección, especialmente el avance, y siempre reducirá el rendimiento de los motores, a no ser que se modifiquen para el nuevo índice de cetano. En el mercado americano se permite un índice de cetano mínimo de 40, lo que exige cambiar la regulación de la inyección en los motores. En cualquier caso, se recomienda que, para el invierno, el índice de cetano sea superior a 40. La utilización de combustibles con bajos niveles en el índice de cetano no garantiza que se cumplan los niveles de emisión de gases en el escape.

Otras limitaciones de parámetros que afectan a los motores

Pasar de clase 1 a clase 2 en el nivel de corrosión, medido mediante el ensayo de la 'lámina de cobre' significa una mayor acción agresiva del combustible sobre depósitos y conducciones que estén en contacto con el gasóleo, lo que obligará a utilizar materiales más resistentes. La agresividad es mayor cuando

se utilizan biocombustibles, ya que incorporan oxígeno en su molécula.

La inclusión en el combustible de trazas de cinc puede provocar depósitos en los inyectores, especialmente cuando se trabajan con sistemas de *common rail* de muy alta presión. Por ellos no se permiten los recubrimientos de cinc en los tanques, ni en las tuberías por las que circule el combustible. También se debe evitar el empleo de materiales con contenidos de cobre (tuberías, piezas de latón)

Por otra parte, las normas europeas (y nacionales de los diferentes países) permiten u obligan a la incorporación de una cierta cantidad de biodiésel en el gasóleo. Lo normal es la incorporación de porcentajes con un máximo del 7% en volumen en la UE (norma EN 590) y del 5% en USA (norma ASTM D975). Con la incorporación de biodiésel al gasóleo éste se hace más agresivo, por tratarse de un combustible oxigenado; los motores modernos se preparan para esta posibilidad. Cuando los porcentajes de biodiésel aumentan (B20 a B100) los motores deben estar específicamente preparados para este combustible, y los

CUADRO 2.- ESPECIFICACIONES DEL GASÓLEO SEGÚN LA NORMA EN 590

Características	Unidades	Valor límite	Norma de ensayo
Índice de cetano		min. 51	EN 590
		min. 46	EN-ISO 4264
Densidad a 15 °C	kg/m ³	820-845	EN-ISO 3675 y 12185
Hidrocarburos policíclicos aromáticos	% (m/m)	máx. 11	EN 12916
Contenido de azufre	mg/kg	máx. 10	EN-ISO 20846 ó 20847
Punto de inflamación	°C	min. 55	EN-ISO 2719
Residuos de carbón (de 10% de residuos de destilación)	% (m/m)	máx. 0.30	EN-ISO 10370
Contenido de cenizas	% (m/m)	máx. 0.01	EN-ISO 6245
Contenido de agua	mg/kg	máx. 200	EN-ISO 12937
Suciedad general	mg/kg	máx. 24	EN 12662
Corrosión del cobre (3 h a 50 °C)	grado	Clase 1	EN-ISO 2160
Estabilidad oxidación	g/m ³	máx. 25	EN-ISO 12205
		h	min. 20
Lubricidad 'WSD 1.4) a 60 °C	µm	máx. 460	EN-ISO 12156-1
Viscosidad a 40 °C	mm ² /s	2.00-4.50	EN-ISO 3104
Destilación			EN-ISO 3405
- captada a 250 °C	% (V/V)	máx. 65	
- captada a 350 °C	% (V/V)	min. 85	
- 95 vol. % a:	°C	360	
Contenido de metil-éster (biodiésel)	% (V/V)	7	EN 14078
Límite de filtrabilidad	°C	(*)	EN 116

(*) Establecido en cada país en función de la temperatura ambiente en cada época del año.

tiempos de cambios de aceite en el motor se reducen considerablemente.

Limitaciones que imponen los sistemas de tratamiento de los gases de escape

Para reducir las emisiones de CO, HC, NOx y partículas en el escape de los motores, se han tenido que incorporar catalizadores de diferente tipo, como el DOC (catalizador diésel), el DPF (filtro de partículas) y el SCR (reducción catalítica con inyección de urea)

En estos elementos se producen reacciones aceleradas por compuestos químicos específicos que actúan como catalizadores, que pueden ser afectados en el proceso catalítico, o en la regeneración del catalizador, por la presencia de elementos como el fósforo y el azufre en el combustible utilizado por el motor. Asimismo debe evitarse la presencia de calcio,

magnesio, sodio y potasio que acompañan a algunos combustibles, especialmente de origen orgánico.

Las especificaciones establecidas en los combustibles para el ensayo de los motores que cumplen los límites de emisiones en gases de escape corresponden a la norma EN 590 (Cuadro 2).

Si se superan los límites establecidos, especialmente en lo que respecta al azufre, no se pueden garantizar que se cumplan los límites fijados para las emisiones, ni la vida útil de los sistemas de tratamiento posterior de los gases en el escape.

Los combustibles con un contenido de azufre de más de 0.5% (m/m) (5 000 mg/kg) obligan a cambiar el aceite de los motores con intervalos más cortos y no se pueden utilizar en motores que cumplan los niveles de emisiones IIIB (o Tier 4i). Los que contienen más del 1% (m/m) de azufre provocan en

los motores una gran corrosión, con fuerte reducción de su vida útil, por lo que no se consideran aptos. La regeneración de los catalizadores DPF (filtro de partículas) se puede ver afectada sin las cantidades de azufre presente en el combustible supera los 15 mg/kg.

Por otra parte, un contenido de azufre bajo (<500 mg/kg) puede provocar problemas de desgaste por baja lubricidad. Los combustibles con bajo contenido de azufre (<50 mg/kg) o exentos de azufre (<15 mg/kg ó <10 mg/kg), si cumplen la norma EN 590 se garantiza la suficiente lubricidad, conseguida mediante la incorporación de aditivos.

El biodiésel, conforme a lo que especifica la norma de calidad para este combustible (EN 14214), puede contener hasta 5 mg/kg de sodio+potasio. Una cantidad superior dañaría los catalizadores SCR (inyección de urea), lo que obligaría a una sustitución periódica del mismo. ■