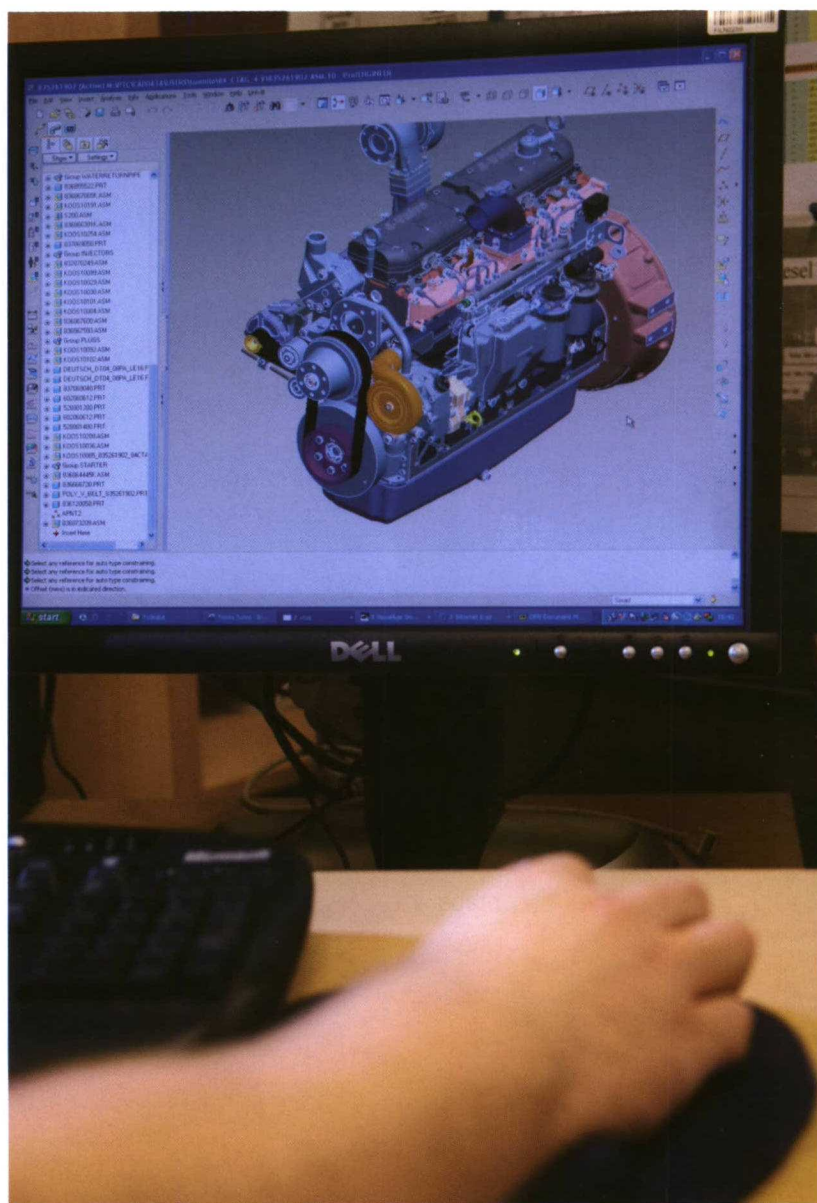


DE NUEVO LOS MOTORES

Los motores están permanentemente de actualidad. Durante los últimos años, los fabricantes se han visto obligados a afrontar importantes inversiones para adecuar la oferta a las exigentes directivas que han ido entrando en vigor. La próxima, en lo que se refiere a los tractores agrícolas de menos de 130 kW, sitúa en 2012 el horizonte para adaptarse al nivel de emisiones 3B, lo que está suponiendo la incorporación de nuevas tecnologías.

LUIS MÁRQUEZ

Con la entrada del motor diésel en los tractores agrícolas, se inicia un camino del que no se han separado los fabricantes a lo largo de su historia. La robustez y la simplicidad constructiva de los primeros mo-



tores diésel permitieron desplazar a sus 'competidores', aunque la eficiencia en el aprovechamiento del combustible era baja, pero tampoco oponían resistencia a la utilización de gasóleo de baja calidad, o incluso a un aceite vegetal.

Cuando se pasa de los motores 'semidiésel', en los que la ig-

nición se consigue al pulverizar el gasóleo sobre una superficie caliente (cabeza del cilindro), a los de inyección por presión con precámara, el diseño y la fabricación de la bomba inyectora y de los propios inyectores, encarece la fabricación del motor, pero a la vez se hace más eficiente en el aprovechamiento del combusti-

ble y aumenta su potencia específica. Esta evolución continúa con la inyección directa, que aún mejora las prestaciones y hace que el motor reduzca su consumo específico, pero también que sea más exigente en la calidad del combustible que necesita para su funcionamiento.

Con el paso del tiempo se ha podido apreciar que los motores para los tractores agrícolas aumentan en potencia y su consumo específico se reduce año tras año. La eficiencia del motor mejora como consecuencia del aumento de la presión de inyección y de la incorporación del turbocompresor con refrigeración del aire de admisión. Esto era una consecuencia de la mejora de la mezcla del combustible con el aire en los cilindros, lo que debe de hacerse en un periodo de tiempo muy corto, y el mejor llenado de los cilindros en unos motores en los que la cantidad de aire necesaria para conseguir una buena combustión tenía que ser muy superior a la imprescindible para suministrar el oxígeno que se precisaba para la misma.

En estas circunstancias, cuando se ensayaban motores, además de la potencia máxima que podían suministrar, la determinación de su consumo específico servía para valorar su eficiencia energética. Cuando se intentaba 'sacar más potencia' el consumo específico aumentaba, a la vez que los humos (partículas del combustible sin quemar) en el escape indicaban claramente que se estaba sobrepasando los límites de lo razonable.

La limitación de humos en el escape

La limitación en los humos en el escape fue la referencia para verificar la eficiencia de los motores, a la vez que se controlaban las emisiones a la atmósfera, y los fabricantes optimizaron los diseños para conseguir, dentro de

los límites establecidos, la máxima eficiencia. Si bien la limitación establecida sobre los humos impedía superar determinados niveles de potencia en función de la cilindrada, salvo que se aumentara la sobrepresión del 'turbo', el bajo nivel de humos indicaba que el motor era eficiente por su menor consumo específico.

Estas fueron las reglas que se aplicaban hasta los finales del siglo XX, pero se puede decir que las autoridades administrativas las cambiaron de golpe, ya que decidieron aplicar a los motores de los vehículos extraviarios, como los tractores agrícolas, las limitaciones que tenían programadas para los vehículos que circulan por las carreteras y las calles de las ciudades (vehículos viarios).

Pero los motores para automóviles y camiones y para tractores agrícolas no son iguales, ya que en un tractor se necesita potencia y par motor a bajo régimen de funcionamiento, para trabajar a régimen constante y a alto nivel de carga durante muchas horas por día, mientras que en el vehículo de carretera el régimen de funcionamiento del motor es elevado (la demanda

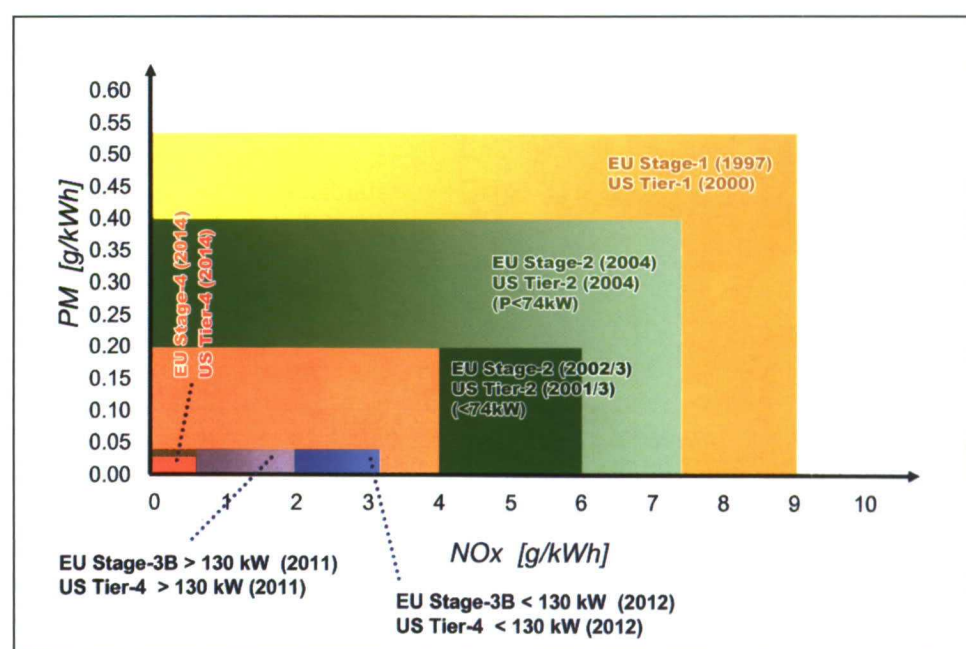
de potencia aumenta con la velocidad de marcha) y generalmente trabaja con cargas y régimen de funcionamiento variable.

De esta forma los motores de los tractores agrícolas, que en los últimos tiempos habían tenido una importancia secundaria en la investigación aplicada que realizan los fabricantes de tractores, se convirtieron, de un día para otro, en el punto crítico de las empresas para competir en el mercado de los países más desarrollados, que son los que impusieron las limitaciones.

En un periodo de menos de 10 años, para motores de menos de 130 kW (177 CV) de potencia, que son los más utilizados en los tractores agrícolas, se pasa de un límite de partículas en los gases de escape de más de 0.5 g/kWh a 0.2 g/kWh, pero, lo más importante, de 9 g/kWh de NOx en el 1997 (Unión Europea), a sólo 4 g/kWh en el 2008.

Si a esto se le suma el calendario de reducción previsto, se explica la preocupación de la industria del tractor agrícola, y los recursos que todos están dedicando en investigación y desarrollo para no quedar fuera del mercado.

FIGURA 1.- LIMITACIONES PARA LAS EMISIONES DE LOS MOTORES EN LOS TRACTORES AGRÍCOLAS



Fuente: CEMA - Agrievolution 2008

Óxidos de nitrógeno en el escape de los motores

En la combustión de un hidrocarburo como es el gasóleo, el combustible presente en el cilindro del motor reaccionaría con el oxígeno del aire para dar CO_2 y agua. En principio, el nitrógeno, que forma parte en un elevado porcentaje del aire que entra en el motor, debería de quedar inalterado.

Sin embargo, dada la rapidez en la que se realiza la mezcla y el proceso de combustión, la reacción no es tan perfecta. Aparecen otros elementos como el CO, parte del combustible sin quemar, partículas procedentes de la combustión y óxidos de nitrógeno (NO_x), estos últimos como consecuencia de la reacción del nitrógeno del aire por las altas temperaturas que se alcanzan en la combustión. Dado que la temperatura alcanzada es más elevada a medida que aumenta la eficiencia de los motores, los óxidos de nitrógeno siempre tendrían que ir unidos a ellos. Hacer motores menos eficientes para reducir la emisión de óxidos de nitrógeno en los gases de es-

cape no es una solución que pueda agrandar a los usuarios de los tractores.

La tecnología hace posible diseñar motores más eficientes a la vez que se limitan las emisiones, pero esto tiene un coste, y puede condicionar la 'fiabilidad' de los motores, especialmente cuando tienen que trabajar en situaciones en las que el mantenimiento, o el combustible disponible, no está a la altura que la nueva tecnología exige.

Muchos años de experiencia han puesto de manifiesto que los motores con precámara expulsan menos NO_x que los motores de inyección directa, pero consumen algo más de combustible, a la vez que el movimiento del aire en contra de la inyección del combustible favorece la mezcla y una combustión completa.



LA TEMPERATURA ALCANZADA ES MÁS ELEVADA A MEDIDA QUE AUMENTA LA EFICIENCIA DE LOS MOTORES Y TAMBIÉN LOS ÓXIDOS DE NITRÓGENO



Por otra parte, una inyección retardada disminuye la emisión de óxidos de nitrógeno y el mayor retardo aumenta el consumo de combustible. Así, la variación de 1° en el ángulo del cigüeñal sobre el valor nominal de comienzo de la inyección puede elevar las emisiones de NO_x y de hidrocarburos sin quemar entre el 5 y el 15%.

La elevada sensibilidad en la variación del ángulo de inyección obliga a una regulación muy precisa de los ciclos de inyección (preferentemente regulación

electrónica y marca en el cigüeñal), y se consigue gran precisión si el inicio de la inyección se mide directamente en el inyector.

Por otra parte, la temperatura del aire aspirado afecta a la emisión de gases, por lo que el enfriamiento del aire comprimido en los motores turboalimentados es efectivo para reducir las emisiones de NO_x .

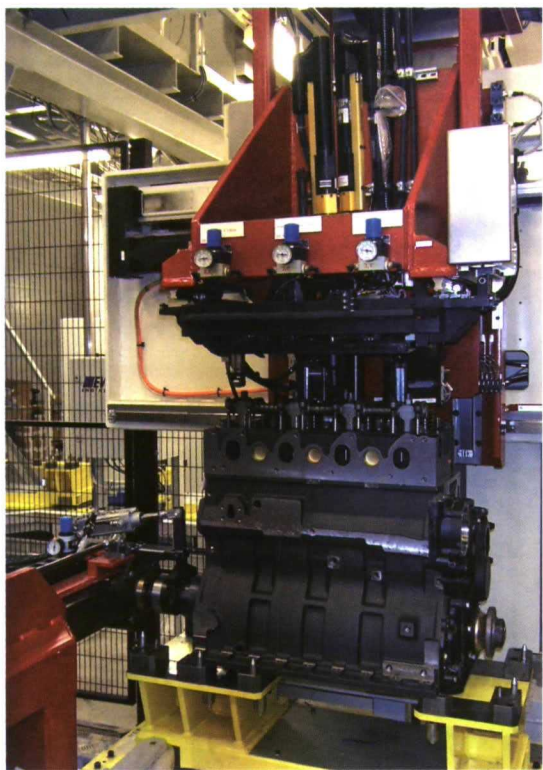
Un motor diésel necesita, para conseguir una combustión completa, contar con aire en exceso, pero como alternativa se puede recurrir a la retroalimentación parcial de los gases de escape (válvula EGR), de manera que si el aire aspirado se mezcla con gases de escape se reduce la entrada de oxígeno en la alimentación y se eleva su calor específico, lo que reduce la temperatura de combustión (menor formación de NO_x) y la cantidad de gases de escape expulsados, aunque la cantidad de gases recirculados debe de estar limitada para disponer de oxígeno suficiente en la cámara de combustión para el gasóleo inyectado.

También se puede recurrir al tratamiento posterior de los gases de escape empleando catalizadores. Al ser un tratamiento 'posterior' y en la salida de los gases de escape, se dispone de libertad para hacer el motor más eficiente, con menor consumo específico de combustible.

En los números de **agrotécnica** de Febrero de 2007 y de abril de 2006 se analizan las opciones que actualmente se utilizan para reducir las emisiones de gases de escape en los motores de los tractores agrícolas. Se puede obtener estos artículos en:

http://www.mapa.es/es/ministerio/pags/Biblioteca/revistas/art_datos.asp?articuloId=1694&codrevisa=Agrotec

http://www.mapa.es/es/ministerio/pags/Biblioteca/revistas/art_datos.asp?articuloId=1540&codrevisa=Agrotec



Objetivos: Euro 3B y Euro 4

El escaso tiempo que queda para adaptar los motores de los tractores agrícolas al nivel de emisiones 3B, que para los de menos de 130 kW de potencia entra en vigor en el 2012, está obligando a los fabricantes a incorporar nuevas tecnologías, como la reducción catalítica de los gases de escape (SCR) que ya ha llegado al mercado de la mano de AGCO Sisu en los Citius que equipan a los tractores Massey Ferguson de la serie 8600, así como en otros modelos de Valtra.

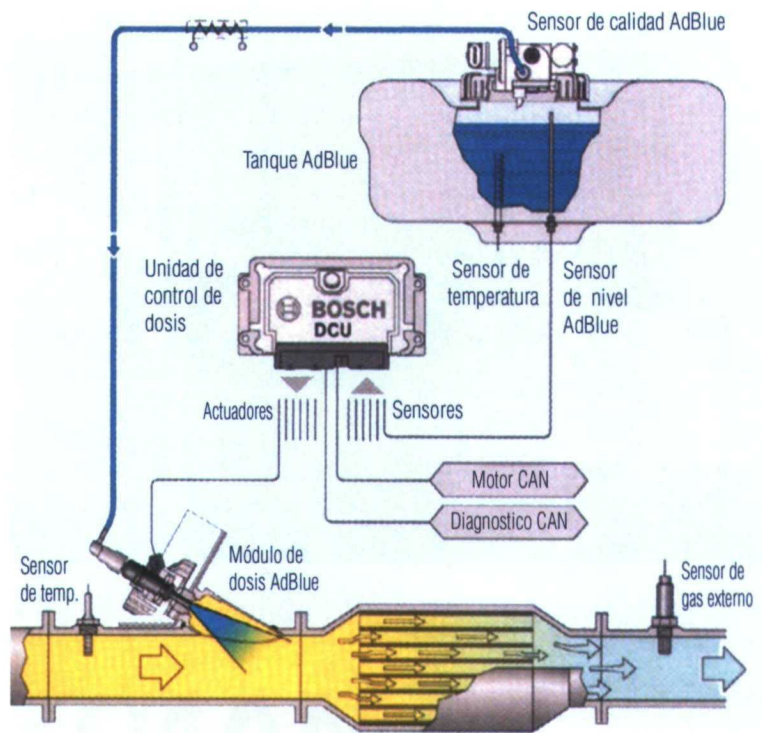
La tecnología utilizada, procedente de Bosch, ya incorporada en motores de camión, recurre a la inyección precisa de urea en un catalizador al que llegan los gases de escape procedentes del motor.

Los sistemas que se están utilizando en motores para camión suelen incluir un catalizador de oxidación en el que el CO se transforma en CO₂ y una parte del monóxido de nitrógeno se convierte en óxido de nitrógeno (NO₂), a la vez que se produce la post-combustión de los hidrocarburos no quemados (HC) que se convierten en CO₂ y vapor de agua. Seguidamente se sitúa un filtro de partículas, que puede retener hasta el 90% de las partículas sólidas que lo atraviesan y que se tienen que regenerar de forma periódica y continua para evitar que queden colmatados.

En la última etapa se sitúa un catalizador reductor selectivo que convierte los óxidos de nitrógeno (NO_x) en nitrógeno molecular (N₂) y vapor de agua.

Los gases de escape de los motores diésel, por su fuerte presencia de oxígeno, son oxidantes, por lo que hay que convertirlos en un medio reductor con escasa presencia de oxígeno, lo cual puede hacerse añadiendo a los gases que llegan al catalizador una solución acuosa de urea que convierte el NO_x en

FIGURA 2.- ESQUEMA DEL SISTEMA SCR CON INYECCIÓN DE UREA



Fuente: Bosch

CON EL SISTEMA SRC SE PUEDEN MEJORAR LAS PRESTACIONES DEL MOTOR, SIN QUE HAYA QUE PREOCUPARSE DE LAS EMISIONES DE NO_x QUE SE PRODUCEN EN CONDICIONES DE MÁXIMA EFICIENCIA

namiento del motor, situado en la memoria de la Unidad Electrónica de Control (ECU). Para evitar que los gases de escape puedan salir con restos de urea (amoníaco), en la última etapa el catalizador oxida la urea para convertirla en nitrógeno molecular y agua.

Con el sistema SRC se pueden mejorar las prestaciones del motor, sin que haya que preocuparse de las emisiones de NO_x que se producen en condiciones de máxima eficiencia, puesto que será eliminado antes de salir a la atmósfera, a la vez que se evita la recirculación de los gases de escape pre-enfriados, pero hay que incluir en el tractor un depósito para la urea, que se consume en una cantidad aproximadamente igual al 3% del gasóleo, contar con el espacio para incorporar el catalizador SCR en el escape y desarrollar la electrónica que hace posible el buen funcionamiento del sistema.■

N₂ dentro del catalizador reductor selectivo (Figura 2).

Para determinar la cantidad de urea necesaria se utiliza un sensor de temperatura en la entrada del catalizador y otro que sirve para determinar los resultados obtenidos en los gases de escape, junto con un 'mapa' con los NO_x que se producen para las diferentes condiciones de funcio-

En el próximo número publicaremos la oferta actual de motores de los distintos fabricantes a partir de 75 kW. En el siguiente, nos ocuparemos de los de menor potencia.