

SOLUCIONES TECNOLÓGICAS EN LOS MOTORES QUE PERMITEN CUMPLIR LOS NIVELES MÁS ERICTOS DE LAS NORMAS ANTICONTAMINACIÓN



La entrada en vigor del nivel IIIB para las emisiones en los gases de escape de los motores agrícolas, y la proximidad del nivel IV (año 2014), está obligando a los fabricantes de tractores a buscar soluciones que se adapten a las características de los mismos, a partir de lo que ya se utiliza en el motor industrial y para el transporte por carretera. Unos han resuelto el problema recurriendo a la regeneración catalítica selectiva (SCR) mediante la inyección de urea, otros han preferido la utilización de una combinación de catalizadores diésel (DOC) y filtros de partículas (DPF).

LUIS MÁRQUEZ

Los fabricantes de motores ofrecen diferentes soluciones, con sus ventajas e inconvenientes, que tienen la capacidad de reducir las emisiones hasta los niveles establecidos por la reglamentación. La elección de aquellas que mejor se adaptan a las particularidades de los tractores agrícolas se hace teniendo en cuenta su potencial para reducir el consumo de combustible, al conseguir la mayor eficiencia de los motores, pero también su sencillez constructiva y el volumen necesario para que sea

factible su incorporación en un tractor agrícola, especialmente en los de tipo compacto.

A partir de la documentación técnica aportada por los diferentes fabricantes de motores para usos agrícolas, y especialmente la que suministra un fabricante como Deutz, cuya oferta comercial incluye las diferentes alternativas posibles, seguidamente se analiza el estado de la técnica para reducir las emisiones de los gases de escape de los motores, tanto en lo que afecta a los componentes integrados en el motor, como los que actúan directamente sobre los gases de escape.

Gases emitidos por el escape de los motores

La transformación de la energía química del combustible en energía mecánica que se produce en los motores de combustión interna tiene como consecuencia la emisión de CO₂ a la atmósfera, cuantificable en aproximadamente 2.3 kg de CO₂ por litro de gasolina y 2.6 kg por litro de gasóleo. La reducción del consumo de combustible permite reducir las emisiones de CO₂. Los motores más eficientes, de menor consumo de combustible, interesan a los fabricantes de los tractores y también a los usuarios.

Con la combustión del gasóleo se produce CO_2 , no tóxico, un gas presente en la atmósfera y que necesitan las plantas para su función clorofílica, aunque el aumento de su porcentaje en la atmósfera puede incrementar la temperatura global, ya que se trata de un gas que actúa con 'efecto invernadero'.

Pero los motores de combustión interna no solo emiten CO_2 , sino que producen otros compuestos químicos como NO_x , HC y CO, así como partículas (humos), especialmente en los motores diésel. El tipo de combustible utilizado afecta al nivel de emisiones.

La producción de NO_x aumenta cuando la combustión se realiza a altas temperaturas y con exceso de aire (mezcla rica), especialmente en los motores de encendido por compresión (diésel). Se estima que el 50% de las emisiones a la atmósfera de NO_x son producidas por los vehículos de motor; de aquí la importancia que han tomado las limitaciones establecidas, tanto en la UE, como en USA y Japón, ya que su 'efecto invernadero'

es 300 veces mayor que el que provoca el CO_2 .

Con independencia del efecto que pueden tener los gases de escape de los motores sobre la atmósfera, hay que tomar en consideración su influencia sobre la salud de las personas. Así, el monóxido de carbono (CO) es inodoro e incoloro, pero causa adormecimiento, asfixia

Límites establecidos para las emisiones

El control de las emisiones en el escape de los motores para los tractores agrícolas (y máquinas autopropulsadas), necesario para la homologación de tipo CE, se ha venido realizando de acuerdo con la Directiva 77/537/CEE, que sólo

La producción de NO_x aumenta cuando la combustión se realiza a altas temperaturas y con exceso de aire, especialmente en los motores diésel

y muerte eventual; los hidrocarburos sin quemar (HC) son irritantes para los ojos y las fosas nasales; los NO_x irritan los pulmones y producen náuseas y las partículas de carbono pequeñas (PM) son causantes de problemas respiratorios (cáncer de pulmón).

consideraba la opacidad de los gases de escape (presencia de humo) en los motores diésel de los tractores. La opacidad de los gases de escape está relacionada directamente con el consumo de combustible, por lo que el control de estas emisiones ayuda a mantener un bajo nivel

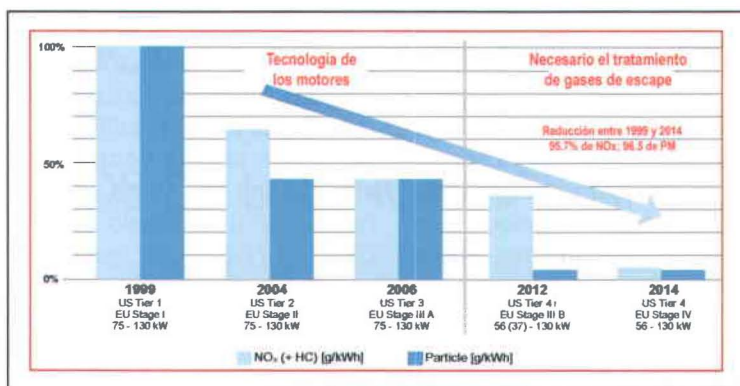
TABLA 1.- LÍMITES MÁXIMOS ADMITIDOS EN EL NIVEL DE EMISIONES CONTAMINANTES (FASES IIIA-IV)

Fase IIIA	Potencia neta (P) [kW]	Monóxido de carbono (CO) - [g/kWh]	Hidrocarburos y Óxidos de nitrógeno (HC) + (NO_x) -[g/kWh]	Partículas (PT) [g/kWh]
H	$130 \leq P \leq 560$	3.5	4.0	0.2
I	$75 \leq P \leq 130$	5.0	4.0	0.3
J	$37 \leq P \leq 75$	5.0	4.7	0.4

Fase IIIB	Potencia neta (P) [kW]	Monóxido de carbono (CO) -[g/kWh]	Hidrocarburos (HC) [g/kWh]	Óxidos de nitrógeno (NO_x) [g/kWh]	Partículas (PT) [g/kWh]
L	$130 \leq P \leq 560$	3.5	0.19	2.0	0.025
M	$75 \leq P \leq 130$	5.0	0.19	3.3	0.025
N	$56 \leq P \leq 75$	5.0	0.19	3.3	0.025

Fase IV	Potencia neta (P) [kW]	Monóxido de carbono (CO) - [g/kWh]	Hidrocarburos (HC) [g/kWh]	Óxidos de nitrógeno (NO_x) [g/kWh]	Partículas (PT) [g/kWh]
Q	$130 \leq P \leq 560$	3.5	0.19	0.4	0.025
R	$56 \leq P \leq 130$	5.0	0.19	0.4	0.025

FIGURA 1.- LÍMITES DE EMISIONES DE NOX Y PM EN EL PERIODO 1999-2014 (DEUTZ)



de consumo, lo que favorece al usuario, además del efecto de la medida sobre el ambiente.

Posteriormente, con la directiva 97/68/CE se establecieron medidas específicas contra la emisión de gases y de partículas contaminantes en los motores que se instalen en máquinas móviles no de carretera, con unos niveles de emisiones que se indican en la Tabla 1 (solo se incluyen motores diésel entre 37 y 560 kW).

Esto significa que para cumplir la normativa que entrará en vigor en 2014 se tendrán que reducir las emisiones de NO_x en los gases de escape del 95.7% y de partículas (PM) del 96.7% con respecto a los niveles admitidos en 1999. Mientras que los límites impuestos en el nivel IIIA de emisiones podían cumplirse con modificaciones tecnológicas que afectan solo a los motores, para las siguientes fases hay que recurrir además a tecnologías para el tratamiento posterior de los gases de escape.

La combustión en motores diésel y las emisiones de NO_x

Tomando como referencia la combustión de un hidrocarburo tan simple como el metano (CH₄), cuya molécula necesita dos moléculas de oxígeno (O₂),

FIGURA 2.- MOTOR CON TURBO DE GEOMETRÍA VARIABLE Y RECIRCULACIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE



si la combustión es perfecta, se produciría una molécula de anhídrido carbónico (CO₂) y dos moléculas de agua (H₂O). En términos de masa, para quemar 16 kg de metano se necesitarían 64 kg de oxígeno, que se encuentran en 276.8 kg de aire. En principio, el nitrógeno, que forma parte en un elevado porcentaje del aire que entra en el motor, debería 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. Así, en el caso del metano se necesitan 3.5 moléculas de oxígeno por cada dos de metano,

con lo que aparece una molécula de anhídrido carbónico, otra de monóxido de carbono (CO) y 4 de agua (H₂O), pero, además, la parte del combustible sin quemar, las partículas procedente de la combustión y los 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 es más elevada a medida que aumenta la eficiencia de los mo-

tores, los óxidos de nitrógeno siempre tendrían que ir unidos a aquellos que ofrecen las mejores prestaciones (bajo consumo específico).

Si se utilizan hidrocarburos de cadena larga y en mezcla, como sucede en el gasóleo (con base cetano -C₁₂H₂₆), la situación se complica, y resulta más difícil realizar una combustión completa para reducir las emisiones contaminantes de los gases de escape.

Además, hay que tener en cuenta que:

- La temperatura de vaporización del gasóleo es más elevada que la de la gasolina.
- El encendido por compresión

exige una mezcla muy rápida de aire y gasóleo, y ésta es poco homogénea.

- Si el exceso de aire no es suficiente, aumentan las emisiones de hollín, monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC).
- La combustión se inicia con un ligero retardo respecto a la inyección y afecta al rendimiento del motor.
- La temperatura de combustión influye en la formación de óxidos de nitrógeno (NOx).

Para conseguir una purificación de los gases de escape se puede actuar:

Sobre la forma de la cámara de combustión, de manera que:

- Los motores con precámara expulsan menos NOx que los motores de inyección directa, aunque estos consumen menos combustible.
- El movimiento del aire en contra de la inyección del combustible favorece la mezcla y una combustión completa. La inflamación precisa alta temperatura.

Sobre la inyección del combustible, ya que:

- La pulverización del combustible influye en la emisión de sustancias contaminantes; una inyección retardada disminuye la emisión de óxidos de nitrógeno y el mayor retardo aumenta la emisión de HC y el consumo de combustible.
- La variación de 1° en el ángulo del cigüeñal sobre el valor nominal de comienzo de la inyección puede elevar las emisiones de NOx y HC entre el 5 y el 15%.
- La elevada sensibilidad obliga a una regulación muy precisa de los ciclos de inyección (preferentemente regulación electrónica y marca en el cigüeñal); se consigue gran precisión si el inicio de la inyec-

El combustible finamente pulverizado favorece la mezcla de aire y combustible

ción se mide directamente en la válvula de inyección (sensor en la aguja del inyector).

- El combustible que llega a la cámara de combustión, después de que finaliza la combustión, puede pasar al tubo de escape sin quemarse, aumentando la emisión de HC, por lo que se necesita que las válvulas de inyección acumulen, entre el asiento de estanqueidad y el extremo del orificio de inyección, el menor volumen de combustible posible.
- El combustible finamente pulverizado favorece la mezcla de aire y combustible (muy alta presión y forma de los orificios), lo que contribuye a reducir la emisión de HC y partículas (PM).
- Se necesita limitar la cantidad de combustible en relación con la cantidad de aire aspi-

rado (exceso de aire mínimo del 10 al 20%).

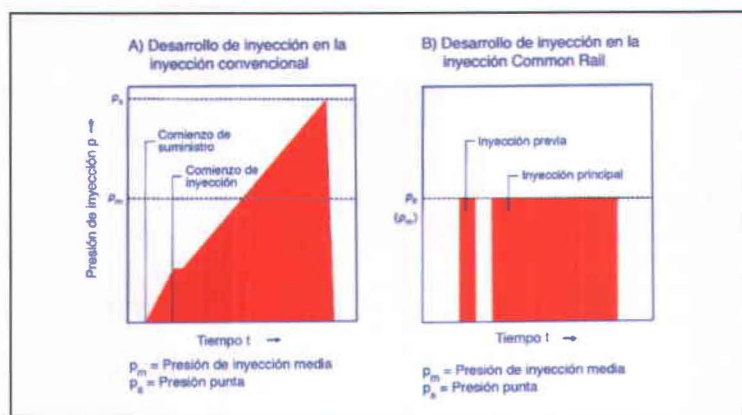
Por otra parte, la temperatura del aire aspirado afecta a la emisión de gases, de manera que:

- Si aumenta, se eleva la temperatura de combustión y la emisión de NOx.
- El enfriamiento del aire comprimido en los motores turboalimentados es efectivo para reducir las emisiones de NOx.

Como alternativa para sustituir el aire en exceso, que se necesita en los motores diésel, se puede recurrir a la retroalimentación parcial de los gases de escape:

- Si el aire aspirado se mezcla con gases de escape, se reduce la entrada de oxígeno de la sobrealimentación y se eleva su calor específico, lo que reduce la temperatura de combustión (menor formación de NOx) y la cantidad de gases de escape expulsados.
- Si se recupera una cantidad excesiva de gases de escape se aumenta la emisión de partículas y CO por la insuficiencia de aire (oxígeno), por lo que hay que establecer una limitación de la cantidad de gases recuperados.

FIGURA 3.- DIFERENCIAS EN EL SISTEMA DE INYECCIÓN COMMON RAIL CON RESPECTO A LA INYECCIÓN CONVENCIONAL



Tecnologías incorporadas a los motores para reducir las emisiones

En consecuencia, para reducir las emisiones de los gases que salen de los cilindros se recurre al sistema de inyección por 'common rail' con muy altas presiones de inyección e inyectores electrónicos, cámaras de combustión que facilitan la mezcla del aire con el combustible inyectado, turbo alimentación doble en serie y con geometría variable en motores con cuatro válvulas por cilindro, y unidad de control electrónico de alta potencia de procesado de la información para ajustar los parámetros de funcionamiento del motor a las condiciones de trabajo.

Además, se puede reemplazar parte del aire en exceso en los motores diésel, cuyo oxígeno no se utiliza en la combustión, por gases de escape, conseguidos dando entrada por las válvulas de admisión de parte de los gases que salen por las de escape (cruce de válvulas), lo que se conoce como 'EGR' interno, o bien dosificando de forma más precisa los gases procedentes del colector de

escape, filtrados y refrigerados, mediante una válvula de control electrónico (EGR externo - *Exhaust Gas Recirculation*). El retorno de los gases de escape a la cámara de combustión habitualmente se encuentra en el intervalo de 5-15%.

En motores de muy alta potencia también se utilizan sistemas de bomba inyectora independiente para cada cilindro, con presiones de inyección de superiores a los 2 000 bar, junto con sobrealimentación con doble turbo en serie.

El sistema common rail permite que la inyección y la presión a la que se produce sean independientes entre si y en cada punto de funcionamiento del motor. La inyección se realiza al menos en dos etapas: la primera tiene lugar con un anticipo hasta de 90° del punto muerto superior, y en ella se suministra una pequeña cantidad de combustible para el acondicionamiento previo de la cámara de combustión, con lo que aumenta ligeramente la compresión y mejora el rendimiento. Así, se

FIGURA 5.- ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS GASES DE ESCAPE (DEUTZ)

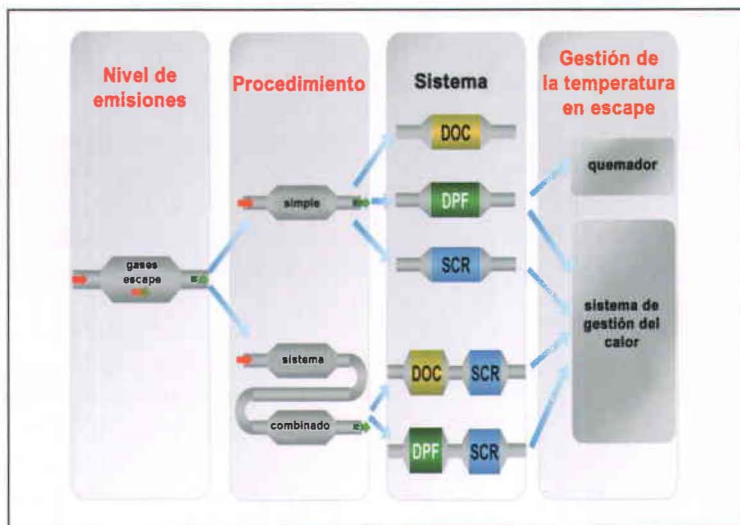
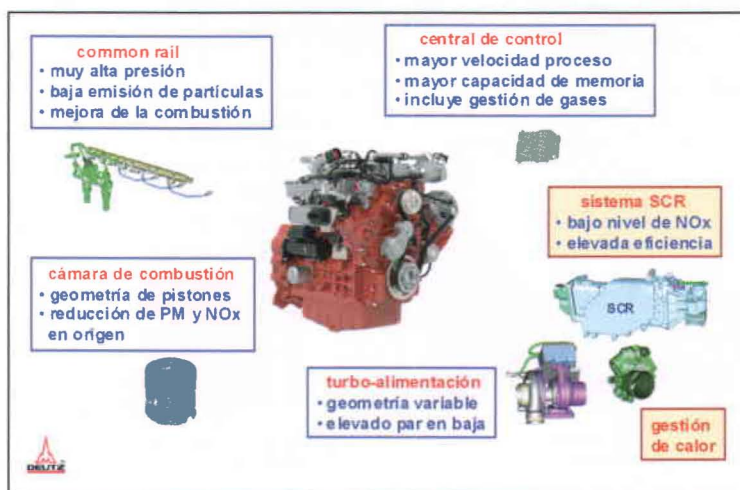


FIGURA 4.- ELEMENTOS QUE PERMITEN REDUCIR LAS EMISIONES DE ESCAPE EN LOS MOTORES



produce un retraso de la combustión en la fase principal y los valores punta de la presión; disminuye el ruido, el consumo de combustible y las emisiones de gases.

En la fase principal de la inyección se aporta la mayor parte del combustible, manteniendo inalterada la presión de inyección. Normalmente, a la inyección principal sigue una inyección complementaria durante la fase de expansión y que puede llegar hasta la fase de escape (hasta 200° después del PMS). Así se introduce combustible que se evapora y actúa como reductor para que con un cata-

lizador disminuya el NOx. Los tiempos y las fases de inyección son diferentes en los distintos puntos de funcionamiento del motor.

Alternativas para el tratamiento de los gases de escape

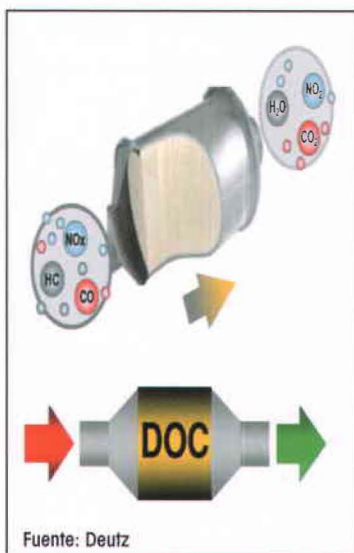
Estos sistemas incorporados a partir de los colectores de escape de los motores reducen las emisiones gaseosas (NOx, HC y CO) o retiene las partículas (PM), o ambas en determinados casos.

Catalizadores disponibles

• Oxidación Catalítica (DOC)

Este catalizador oxidante, denominado internacionalmente como DOC (*Diesel Oxidation Catalyst*) se encarga de capturar una parte de las partículas más finas producidas en la combustión de los motores diesel. Retiene entre el 20 y el 40% de las partículas no carbonosas, que constituyen la fracción soluble derivada de hidrocarburos y aceite no completamente quemado. Es muy eficiente para eliminar los hidrocarburos poliaromáticos, que son muy tóxicos.

FIGURA 6.- OXIDACIÓN CATALÍTICA



Está formado por una matriz cerámica saturada en panel de abejas, sobre la que se aplica una fina capa de metales nobles (platino, paladio, rodio), que son los que realizan el proceso mediante una reacción química muy rápida.

Desde una perspectiva ambiental, el DOC reduce la fracción más fina de PM (con dimensiones inferiores a 2.5 μm) y evita la formación de ozono. Uno de los potenciales problemas que se derivan de su utilización es la liberación de partículas ultrafinas cuando recibe humos de escape producidos con gasóleo de alto contenido de azufre (> 15 ppm), algo que sucede frecuentemente con los gasóleos utilizados en la agricultura.

Se puede resumir indicando que el DOC, conocido como 'catalizador diésel', hace que el monóxido de carbono (CO) con más oxígeno se transforme en CO₂ y que los hidrocarburos sin quemar (HC) se queman totalmente.

• Regeneración Catalítica (DPF)

El filtro de partículas, denominado internacionalmente DPF (*Diesel Particulate Filter*), está

FIGURA 7.- REGENERACIÓN CATALÍTICA



El DOC reduce la fracción más fina de PM (con dimensiones inferiores a 2.5 μm) y evita la formación de ozono

formado por un tamiz muy fino de material refractario que retiene las partículas con mayores dimensiones que las de la malla del filtro.

Como sucede en todos los filtros, se colmata progresivamente, disminuyendo la superficie de filtración y oponiendo mayor resistencia al paso de los gases de escape hacia la atmósfera. Esto da lugar a menor rendimiento del motor a medida que el filtro se colmata, lo que obligaría a sustituir el filtro. Como esto no es posible por criterios económicos, se debe proceder periódicamente a su regeneración.

La regeneración activa se produce cuando la diferencia de presión entre la entrada y la salida del filtro, detectada por sensores situados en ambos extremos, supera un determinado nivel. Para realizarla se inyecta una cierta cantidad de gasóleo en el filtro, lo que provoca la combustión de las partículas carbonosas que lo obstruyen, con lo que recupera su capacidad de filtración.

Durante la regeneración se produce un aumento del consumo del motor derivada del gasóleo inyectado en el filtro de partículas, que hace que la temperatura del filtro pase de 300

La reducción catalítica selectiva SCR permite reducir muy eficazmente el nivel de NOx presente en los gases de escape

a 600°C durante un periodo de 30 a 40 minutos; el proceso se realiza, en condiciones de trabajo normal de un tractor agrícola, cada 25 horas. Aunque los fabricantes no ofrecen por el momento datos técnicos precisos, se estima que el incremento del consumo de combustible para un tractor con consumo medio de 35 L/h, sería inferior a 0.2-0.3 L/h. Cuando el motor trabaja con alto nivel de carga la temperatura en el escape es elevada, lo que permite la regeneración pasiva del filtro sin tener que inyectarle gasóleo.

Se puede resumir indicando que el DPF retiene las partículas carbonosas (PM), y en sus utilización se necesita aumentar periódicamente la temperatura, inyectando combustible sobre el filtro, para que se quemen las partículas (con oxígeno del aire) que lo obstruyen, con lo que el filtro adquiere de nuevo la capacidad de filtrado.

• Reducción Catalítica Selectiva (SCR)

La reducción catalítica selectiva SCR (Selective Catalytic Reduction) permite reducir muy eficazmente el nivel de NOx presente en los gases de escape (más del 95%), y se realiza una vez que los gases de escape salen de la cámara de combustión.

Para ello se incorpora en el flujo de gases de escape un compuesto, previamente nebulizado, denominado comercialmente como AdBlue; es una solución acuosa al 32.5% de urea, que a alta temperatura se disocia desprendiendo amoníaco (no se utiliza directamente el amoníaco por su toxicidad y la necesidad de transportarlo en depósitos presurizados).

El amoníaco se combina en el catalizador con el monóxido de nitrógeno dando lugar a la formación a nitrógeno atmosférico (no tóxico) y vapor de agua.

Para minimizar la cantidad de urea necesaria, en la entrada del catalizador se sitúa un sensor que detecta la entrada de NOx, modulando la centralita del motor la cantidad de urea que se inyecta. Otro sensor detecta la temperatura de los gases de escape, ya que a baja temperatura no se produce el proceso catalítico. La solución de urea se solidifica a -11°C, por lo que hay que calentar el depósito que la contiene en los periodos fríos. El consumo de solución de urea se estima entre el 3 y el 8% del consumo de gasóleo.

En resumen, la SCR se consigue pulverizando una solución de urea (AdBlue) sobre los gases de escape para que el NOx se transforme en nitrógeno molecular (N_2) y vapor de agua (no tóxicos). El control de la temperatura es necesario para que se produzca la reacción.

Combinación de sistemas para el control de las emisiones

Los sistemas utilizados para la reducción de las emisiones de escape en los motores pueden ser simples o combinados a partir de diferentes alternativas de transformación de los gases.

FIGURA 8.- REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA

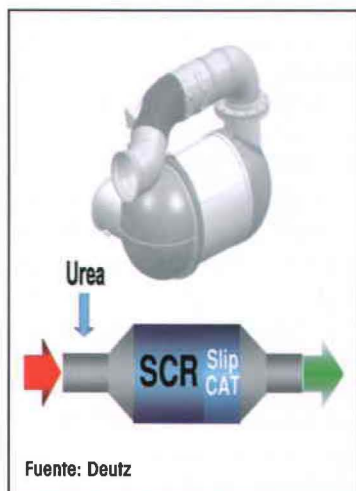
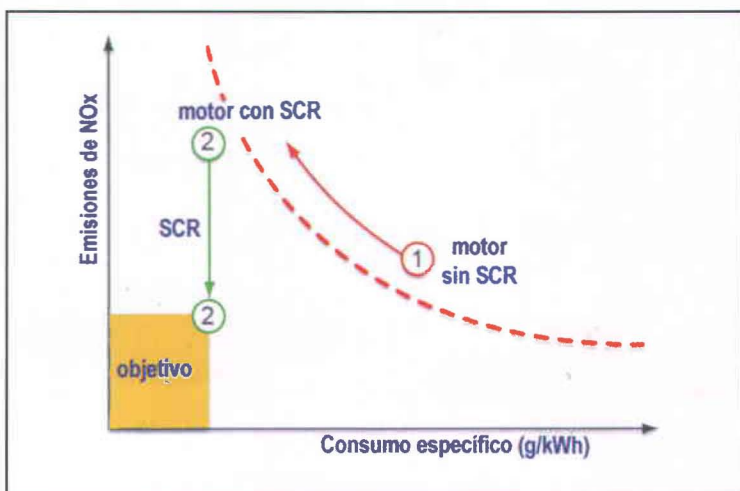


FIGURA 9.- RELACIÓN ENTRE EL CONSUMO ESPECÍFICO Y LAS EMISIONES DE NOx



• Sistemas simples

Utilizando solamente un catalizador oxidante (DOC) se pueden reducir la emisión de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos sin quemar (HC). Además, es un sistema abierto que no produce ningún impedimento a la salida de los gases de escape. Limita la densidad de potencia de los motores (<25 kW/L). Ofrece buenas posibilidades para incorporarse en motores de baja potencia que cumplan el nivel 4 de emisiones, como consecuencia de ser un tratamiento totalmente pasivo, sin mantenimiento y más fácil de instalar que un filtro de partículas (DPF) y que no necesita ningún cambio en sistema de control del motor.

Con un filtro de partículas (DPF) se consigue la reducción más eficaz de partículas PM, superando el 99% de cantidad de partículas retenidas, así como la mayor reducción del número de partículas. Necesita regeneración y la utilización de aceites y combustibles con bajos contenidos de fósforo y azufre (<10-15 ppm de azufre). Se recurre a este sistema por ser el más eficaz para reducir el contenido de partículas, siendo una solución aplicable en cualquier condición, que no necesita contar con un segundo fluido (solución de urea) y se puede instalar en espacios reducidos.

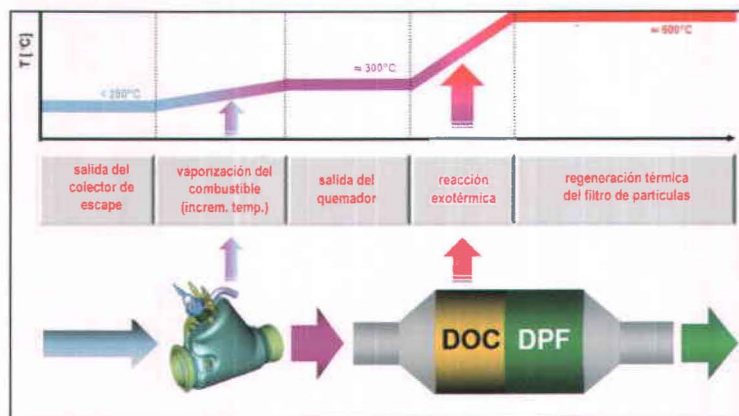
Con el sistema de reducción catalítica selectiva SCR se consigue la mayor eficiencia en la eliminación del NOx (más del 95%), siendo un sistema abierto que no reduce el paso de los gases de escape, y tolerante a la presencia de azufre en el combustible. Como inconveniente hay que indicar la necesidad de contar con un depósito auxiliar para la solución de urea y el módulo de dosificación. Es un procedimiento de control de emisiones muy utilizado en los

Con un filtro de partículas (DPF) se consigue la reducción más eficaz de partículas PM, superando el 99% de cantidad de partículas retenidas

• Gestión de la temperatura en el escape con DOC+DPF

La regeneración del filtro de partículas se puede combinar con el control de la temperatura en el escape. La cantidad de partículas retenidas en el filtro aumenta si el motor trabaja con bajo nivel de carga, de forma que no se superan los 250 °C en el escape. Cuando el sensor de presión detecta cierto grado de obstrucción del filtro, induce un sistema de gestión del calor en el mismo. Los parámetros de control para modificar la temperatura son el tiempo de inyección, la recirculación de gases de escape (válvula EGR) y la presión de sobrecarga. Es-

FIGURA 10.- REGENERACIÓN DEL FILTRO DE PARTÍCULAS CON QUEMADOR (DEUTZ)



tractores agrícolas de alta potencia, porque aumenta la eficiencia del motor (bajo consumo de combustible) con un nivel de emisiones reducido, admitiendo elevada densidad de potencia en los motores. Ha sido una tecnología muy probada en el transporte industrial (camión), que no requiere más mantenimiento que el llenado periódico del depósito de urea. Son elementos necesarios para su instalación el sistema de bombeo de la solución de urea, la unidad de dosificación y el sistema de calentamiento del depósito que contiene la urea.

te sistema de gestión hace que la temperatura aumente hasta superar los 310 °C, optimizando la relación entre NOx y PM (>50:1).

Otra alternativa es la regeneración activa del filtro de partículas utilizando un quemador, que permite la regeneración del filtro en cualquier condición de trabajo y climáticas, con una instalación totalmente integrada en el DPF. Para poder utilizar este sistema se necesita combustible con bajo contenido de azufre; se produce una elevada temperatura en el escape durante la regeneración.

• **Sistemas combinados**

Con la combinación en el escape de los motores del catalizador oxidante seguido del sistema de reducción catalítica selectiva (DOC+SCR) se consigue la más alta eficiencia en la eliminación del NOx (>90%) y el flujo de los gases de escape no tiene interrupciones, ni se necesita limpiar la ceniza en los filtros, aunque tiene algunas limitaciones relacionadas con el número de partículas retenidas que imponen algunas legislaciones (Suiza). La potencia es-

un sistema de reducción catalítica selectiva (DPF+SCR), que ofrece la mayor reducción de partículas (>99%) y de NOx (>90%), incluso en motores con elevada densidad de potencia. El sistema requiere la gestión de la temperatura en el escape y la regeneración del filtro con la eliminación de las cenizas (partículas). El sistema ofrece una gran eficacia, con emisión de gases de escape prácticamente limpios, asegurando la máxima eficiencia en el aprovechamiento del combustible.

se relaciona con tractores de baja potencia.

Durante un tiempo, se ha producido una diversificación de la oferta con soluciones en apariencia opuestas. Unas marcas han resuelto el problema recurriendo a la regeneración catalítica selectiva (SCR) mediante la inyección de urea, siendo esta la solución que mejor se adapta para minimizar las emisiones de óxidos de nitrógeno. Otros, por el contrario, han preferido la utilización de una combinación de catalizadores diésel (DOC) y filtros de partículas (DPF), que resulta la mejor opción para limitar la masa de partículas y el número de éstas, junto con la recirculación de los gases de escape en el motor.

La llegada del nivel IV puede obligar, al menos en los motores de más potencia, a combinar los sistemas de filtro de partículas con la regeneración catalítica selectiva antes de la expulsión de los gases de escape a la atmósfera, pero todavía no está todo dicho en relación con los tractores compactos y de baja potencia, por la limitación en el espacio disponible y el incremento del coste que supone la incorporación de estos sistemas.

Los avances en la tecnología en determinados componentes del propio motor, especialmente en lo que se refiera a los sistemas de inyección y diseño de las cámaras de combustión, puede facilitar el post-tratamiento de los gases de escape.

Por el momento, lo que queda de manifiesto es que, por primera vez, un incremento de los costes de fabricación de los tractores agrícolas no repercutirá directamente en mejoras de las prestaciones de las que se benefician directamente los usuarios. Hay mejoras para el 'medio ambiente', que benefician a todos, pero que pagarán los agricultores. ■



pecífica de estos motores no pueden superar los 25 kW/L de cilindrada. Hay que procurar que el motor emita un bajo nivel de partículas, y requiere un control de la temperatura en el escape para que se vaporice la urea inyectada y se produzca el proceso catalítico que reduce los NOx. El sistema combina simplicidad y flujo directo de los gases de escape, necesitando como único mantenimiento adicional el abastecimiento periódico del depósito de urea.

La otra alternativa es la combinación del catalizador diésel y filtro de partículas con

■ **Algunas conclusiones**

La entrada en vigor de los niveles más estrictos para emisiones en los gases de escape de los motores extra-viarios ha obligado a los fabricantes a intensificar su investigación para poder ajustar sus productos en los plazos establecidos.

Las inversiones realizadas en un tiempo muy corto han sido muy elevadas, y ahora pueden ofrecer soluciones que se adaptan a las particularidades de los tractores agrícolas, aunque todavía queda mucho por hacer, especialmente en lo que