

# Dispositivos de anticontaminación empleados en los motores de automóviles

**MODALIDAD: ELECTROMECAÁNICA**

**EQUIPO: A**

**I.E.S. VIRGEN DE LA ENCINA**

**ALUMNO: KEVIN COPANO DOMÍNGUEZ**

**ALUMNO: JAVIER INSUNZA PRIETO**

**PROFESOR: DAVID ALONSO PELÁEZ**

# **PROCESO DE COMBUSTIÓN Y NECESIDAD DE LOS SISTEMAS ANTICONTAMINACIÓN:**

Los motores Otto y Diesel emplean combustibles fósiles cuya combustión completa no emite contaminante alguno:

Combustible + comburente = dióxido de carbono+vapor de agua + nitrógeno+oxígeno

El combustible utilizado en los vehículos actuales son distintos derivados del petróleo, generalmente gasolina o gasóleo, cuyas características varían notablemente entre sí, dando lugar a los motores de explosión y combustión respectivamente según el método utilizado para quemar el carburante, empleando un equipo auxiliar en el primero (sistema de encendido) o por compresión en el segundo. Ambos combustibles están formados por carbono e hidrógeno, denominándolos en adelante hidrocarburos.

La combustión completa en cualquiera de estos dos casos no es técnicamente posible, con lo cual obtenemos productos derivados de la misma que sí son contaminantes, algunos de los cuales son nocivos e incluso cancerígenos. Estos compuestos sufren distintas transformaciones químicas durante su recorrido por el tubo de escape y posteriores descomposiciones al contacto con la atmósfera exterior y los rayos solares, dando lugar a su vez a otros tipos de sustancias.

Los gases resultantes de la combustión más importantes atendiendo a su concentración en las emisiones de escape son los siguientes:

- Oxígeno: Procedente del exceso de aire contenido en el cilindro. Su proporción en los gases de escape da idea de la riqueza de la mezcla, aumentando la misma a medida que se reduce la concentración de oxígeno en los gases de escape. Ni contamina ni es perjudicial para la salud.
- Nitrógeno: Contenido en la atmósfera en un 70 % aproximadamente, no participa de la combustión en condiciones normales, saliendo por el escape en el mismo estado en el que fue aspirado al interior del cilindro. Tampoco es contaminante ni tóxico.
- Dióxido de carbono: Es un gas residual relacionado directamente con la calidad de la combustión. En caso de combustión perfecta, la totalidad de los átomos de carbono que

formaban parte de la molécula de hidrocarburo se han combinado con el oxígeno del aire para formar este compuesto. Esta sustancia no es contaminante, siendo emitida por la materia verde durante la fotosíntesis. Su concentración en la atmósfera es el principal causante del efecto invernadero y, por tanto, del cambio climático. Las emisiones del tráfico rodado no son nada despreciables teniendo en cuenta el número de vehículos y desplazamientos actual, razón por la cual las últimas normativas europeas anticontaminación limitan sus emisiones por kilómetro recorrido para tratar de minimizar el impacto ambiental, ya que su formación es propia del proceso de combustión.

- Vapor de agua: El hidrógeno que formaba junto con el carbono la molécula de combustible también se oxida durante el proceso de combustión, combinándose con el oxígeno del aire para formar agua, en este caso, en estado gaseoso debido a las elevadas presiones y temperaturas reinantes en el sistema. Este gas no contamina ni tiene efectos secundarios perjudiciales para los seres vivos o el entorno.

- Monóxido de carbono: Cuando una combustión es defectuosa, generalmente por un exceso de combustible o defecto de oxígeno, se forma monóxido de carbono, procedente de la combinación del carbono del carburante que no encuentra suficiente cantidad de oxígeno con la que asociarse para oxidarse completamente. Este compuesto se combina fácilmente con la hemoglobina de la sangre con alto riesgo de asfixia incluso para concentraciones relativamente bajas y tiempos de exposición cortos. Su emisión está asociada a mezclas ricas (con defecto de aire).

- Hidrocarburos: Gas procedente del combustible sin quemar o parcialmente quemado, de ahí su naturaleza cancerígena. Su concentración aumenta por exceso (se apaga el frente de llama y se detiene la combustión, vertiéndose el combustible aún no quemado por la tubería de escape al exterior) y defecto de aire (no hay suficiente cantidad de oxígeno para oxidar el compuesto) en la mezcla a quemar. Este incremento se acentúa para el caso de las mezclas ricas.

- Óxidos de nitrógeno: son venenosos, ya que destruyen el tejido pulmonar, siendo sus daños de carácter acumulativo. Esta sustancia se forma partiendo del oxígeno excedente (no utilizado para combustionar el hidrocarburo) y del nitrógeno del aire. En condiciones normales, el aire y el nitrógeno se encuentran sin mezclar en el aire atmosférico. Este gas contaminante se forma al alcanzar presiones y temperaturas de combustión suficientemente elevadas durante el proceso, superando el umbral de combinación de estas sustancias.

- Hollín: partículas sólidas de difícil eliminación formadas básicamente por carbono puro. Su emisión aumenta considerablemente durante las secuencias de calentamiento del motor y el funcionamiento del motor con bajas cargas.
- Dióxido de azufre: estas emisiones están relacionadas con la calidad del combustible, es decir, la calidad del proceso de refinado, durante el cual se separan los estériles e impurezas del combustible, entre los que destaca el azufre. Su eliminación es muy difícil, siendo los causantes de la lluvia ácida.

Para reducir al máximo posible las concentraciones de estos gases se introducen en el motor diferentes subsistemas para su conversión en sustancias inofensivas que trataremos a continuación.

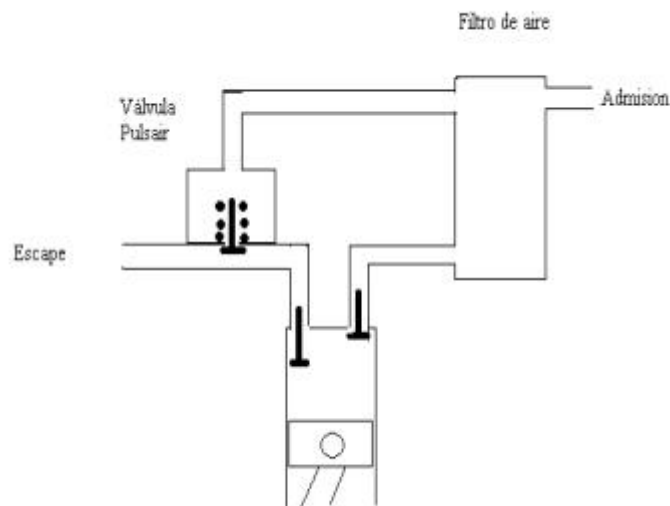
## **REACTORES TÉRMICOS**

La concentración de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en los gases de escape se puede reducir notablemente forzando su recombustión antes de verterlos a la atmósfera. Este proceso requiere de elevadas temperaturas, próximas a los 800 ° C, por lo que el reactor térmico se sitúa en el tramo inicial de la tubería de escape, muy próximo a su unión con la culata mediante los colectores.

Un reactor térmico consiste en un expansor del tubo de escape en el que se mantienen los gases unos instantes antes de continuar su camino hacia el exterior. En este corto intervalo el CO y HC residuales entran en contacto con el oxígeno residual de la combustión debido a la elevada cinética que los caracteriza, combinándose hasta oxidarse completamente, obteniéndose así de forma natural su recombustión.

Cuando los gases de escape no contienen suficiente oxígeno es necesario insuflarlo desde el exterior por medio de un sistema independiente, conocido como inyección de aire en el escape o inyección de aire secundario. En los automóviles equipados de reactor térmico, el sistema de inyección de aire en el escape más utilizado consistía en la inclusión en el colector de una válvula Pulsair.

Esta válvula de accionamiento neumático se instala conectando el colector de escape con el filtro de aire, como se muestra en el dibujo. Durante el tiempo de escape los gases quemados encerrados en el cilindro escapan a través de la válvula de escape a gran velocidad, impulsados por su elevada presión y temperatura.



Disposición de la válvula Pulsair en el motor.

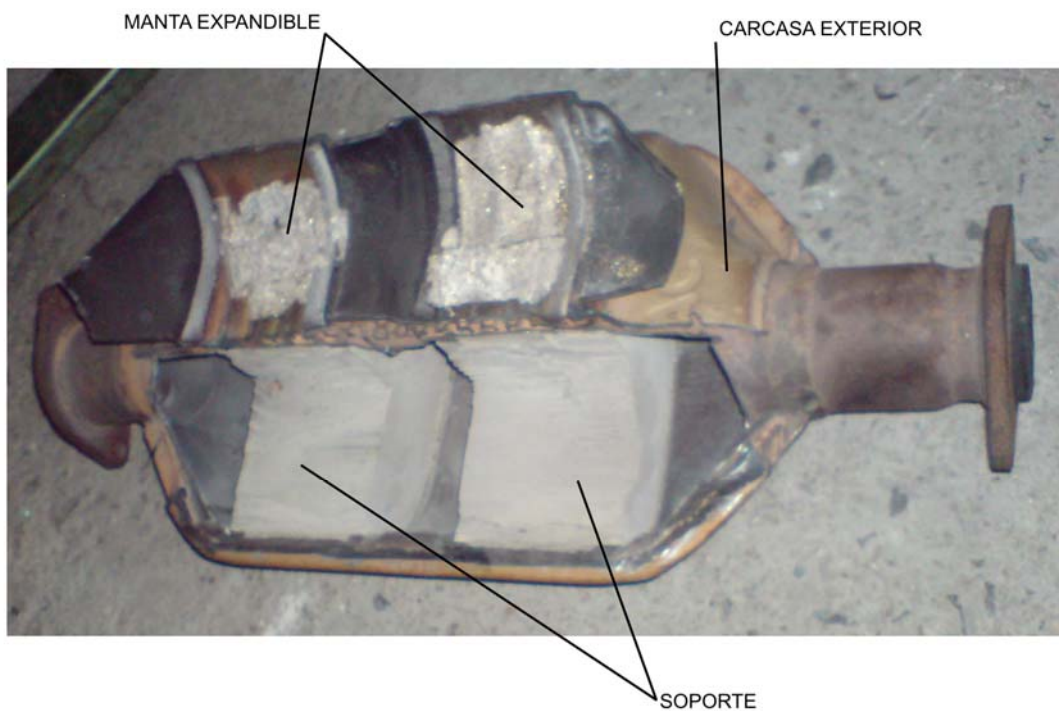
Tras su salida, este flujo genera una cierta depresión que, aplicada a la cara interna de la membrana de acero de la válvula provoca su flexión contra la acción del muelle interno, forzando la apertura de la tubería de escape, que queda ahora comunicada con el filtro de aire del vehículo. El aire limpio y fresco penetra así en la tubería para aportar oxígeno en cantidad suficiente para la recombustión en el reactor.

En condiciones normales, la presión existente en el colector de escape unida a la fuerza ejercida por el muelle interno mantienen la válvula cerrada, disponiéndose normalmente una válvula de este tipo por cada pareja de cilindros síncronos del motor.

## CONVERTIDORES CATALÍTICOS

La capacidad de los reactores térmicos está muy limitada, habiendo sido sustituidos actualmente en la totalidad de vehículos del mercado por los convertidores catalíticos, más conocidos como catalizadores. Un catalizador es toda sustancia en presencia de la cual se acelera una determinada reacción química, en este caso de oxidación, reducción o ambas según el modelo.

Este componente consiste en un tramo de la tubería de escape sobre la que se sitúa un panel de forma cuadrangular o hexagonal denominado sustrato, recubierto por una fina capa llamada washcoat impregnada de estas sustancias catalizadoras, en este caso metales preciosos distintos según la funcionalidad del convertidor (platino, paladio, rodio...). Entre el sustrato soporte (metálico o cerámico) y la carcasa del elemento (fabricada en acero) se intercala un expansor o junta de estanqueidad que fuerza a circular al flujo de gases de escape a través del interior del soporte, absorbiendo las diferencias de dilatación entre los diferentes tipos de materiales.



Sección de un catalizador de tres vías.

Atendiendo al número de gases de escape que es capaz de convertir un catalizador se clasifican en:

- De dos vías u oxidación: La reacción química que se cataliza es la de oxidación de los gases, quedando así afectados únicamente el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados (HC). En ambos casos se añade oxígeno a la molécula resultando dióxido de carbono de la primera ( $\text{CO}_2$ ) y dióxido de carbono y vapor de agua de la segunda ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ).
- De tres vías o de oxidación-reducción: Además de la transformación lograda por el anterior, este catalizador trata los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), disociando su

molécula (separando sus compuestos), dando como resultado gas nitrógeno ( $N_2$ ) y oxígeno ( $O_2$ ).

Los catalizadores de reducción son más utilizados por los motores de gasóleo, ya que las presiones y temperaturas desarrolladas durante la combustión los hacen más propensos a la emisión de óxidos de nitrógeno. Actualmente, se emplean catalizadores de tres vías en la práctica totalidad de modelos del mercado.

Existe otro tipo de catalizador de tres vías, el conocido como acumulador de óxidos de nitrógeno, capaz de almacenar en su interior estas sustancias cuando, por exceso de concentración no pueden ser transformadas en su totalidad, liberándose más tarde en las fases de trabajo del motor en las que normalmente no se emiten estos compuestos, aumentando así la capacidad global de conversión del equipo.

Estos convertidores son utilizados principalmente en motores que trabajan con mezclas pobres y ultra pobres. La materia activa que lo compone es el platino y el óxido de bario. El óxido de nitrógeno se oxida en presencia del platino en el catalizador y forma dióxido de nitrógeno. Estos últimos se combinan con el óxido de bario que impregna el catalizador formando nitrato de bario durante la fase de acumulación que se desarrolla con el funcionamiento del motor en modo pobre o ultra pobre (exceso de oxígeno en los gases de escape).

Tras un periodo limitado de tiempo el catalizador queda saturado, siendo necesaria su liberación. Para ello el sistema de alimentación del motor permuta a un modo de funcionamiento homogéneo rico, cuyos gases residuales contienen una mayor concentración de hidrocarburos y de monóxido de carbono que reducen el nitrato de bario para resultar en el óxido de bario original, desprendiendo para ello el dióxido de nitrógeno acumulado en la fase anterior dividiéndolo en óxido de nitrógeno y dióxido de carbono, este último resultado de la combinación con el monóxido de carbono que ha provocado la reacción. El óxido de nitrógeno restante se transforma en nitrógeno y oxígeno de forma análoga a como sucede en un catalizador de reducción como los tratados anteriormente.

Independientemente del tipo de catalizador o su número de vías, es imprescindible que el vehículo trabaje con un combustible sin plomo, ya que los residuos de éste se

depositan sobre los metales nobles que impregnan el catalizador, aislándolos de la corriente de aire, impidiendo que se produzca la catálisis de las sustancias mencionadas, hecho conocido como envenenamiento del catalizador.

Los vehículos más modernos incorporan además precatalizadores, de funcionamiento idéntico a los anteriores, caracterizados por un sustrato metálico en la mayoría de los casos, para soportar las mayores temperaturas a las que se encuentran expuestos por su montaje muy próximo a la culata, a fin de evitar la fusión del monolito.



Distintos modelos de precatalizadores que integran o no a los colectores de escape en una única pieza.

Cualquiera de los catalizadores tratados precisa una temperatura suficiente para que las reacciones químicas comentadas se lleven a cabo, cercana a los  $350^{\circ}\text{C}$ , razón que explica el empleo de estos últimos para lograr su rápida entrada en funcionamiento, evitando así un incremento en las emisiones de contaminantes durante la fase de calentamiento del motor.

## **BUCLE DE REGULACIÓN LAMBDA**

Al discriminante térmico citado debemos añadir la capacidad de conversión limitada que presentan los catalizadores, cuya eficacia es máxima cuando el motor ha quemado una mezcla de aire y combustible próxima a la estequiométrica o ideal, caracterizada por disponer 14'7 partes de aire por cada parte de gasolina, siempre efectuando la medida en masa.



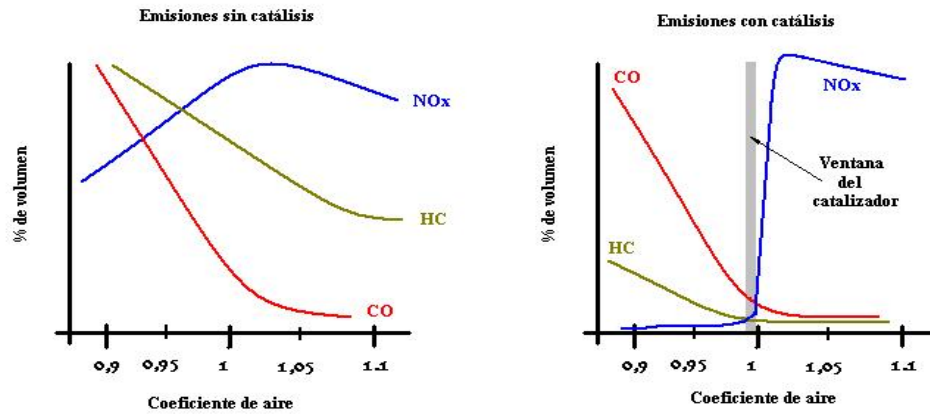
Este requisito exige una enorme precisión al sistema de alimentación en cuanto a la dosificación del carburante se refiere, razón por la cual se emplea un sistema conocido como bucle de regulación lambda, encargado de mantener al equipo de inyección trabajando para lograr coeficientes de aire en la mezcla muy próximos a la unidad.

El coeficiente de aire o factor lambda ( $\lambda$ ) establece la relación entre la cantidad de aire realmente aspirada por el motor y la teóricamente insertada en el cilindro, cuyo cociente da como resultado un valor  $\lambda=1$  para la mezcla estequiométrica (la cantidad real aspirada y la teóricamente ideal coinciden), valores mayores que la unidad ( $\lambda>1$ ) cuando se inserta mayor cantidad de aire en el cilindro de la que se precisa para el combustible dosificado y valores menores que uno ( $\lambda<1$ ) siempre que se presente un exceso de carburante en la mezcla con respecto a la estequiométrica (cantidad real menor de la teórica).

Las exigencias del motor varían con la utilización del vehículo, estando sometido a constantes aceleraciones y deceleraciones, trabajo en frío, entrada en funcionamiento de otros equipos (climatizador...), razón que justifica el empleo de mezclas distintas de las teóricamente ideales. Así, para lograr un incremento de régimen del motor o de la potencia entregada por el mismo se precisa un enriquecimiento de la mezcla, por lo que durante esta fase el coeficiente de aire de la mezcla combustionada será menor que la unidad.

El coeficiente de aire en la mezcla próximo a la unidad se conoce como ventana del catalizador, así denominada puesto que para el trabajo del motor en este intervalo ( $1,02<\lambda<0,98$ ) el convertidor presenta su máxima eficacia una vez ha alcanzado temperatura suficiente.

Las siguientes gráficas muestran la concentración en porcentaje de volumen de los distintos contaminantes contenidos en los gases de escape, en las que podemos observar como sus emisiones se minimizan con el empleo de un catalizador, siempre que se trabaje en el entorno próximo a  $\lambda=1$  (mezcla estequiométrica).

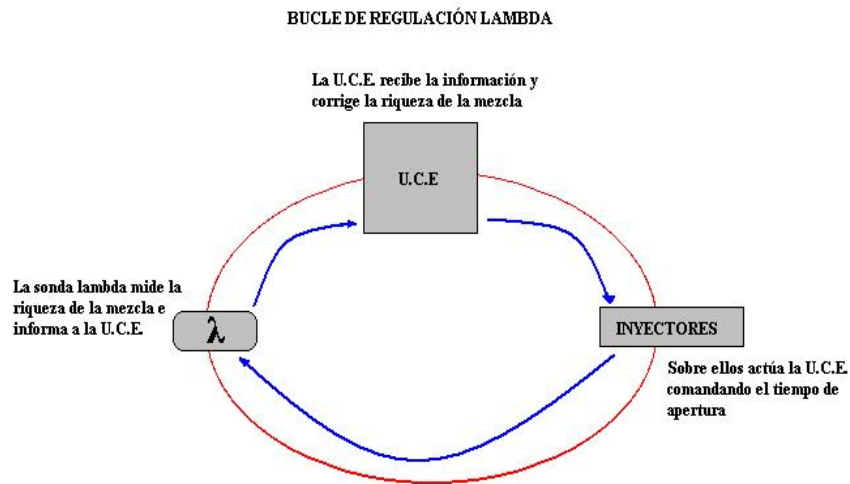


Comparación de las emisiones contaminantes con y sin catalizador.

Para mantener al motor trabajando dentro de este reducido intervalo el sistema se sirve de un sensor de oxígeno situado en la tubería de escape, antes del catalizador, conocido comúnmente como sonda lambda. Este elemento envía una señal a la U.C.E. informándola de la riqueza de la mezcla, midiendo el oxígeno existente en los gases de escape que, como ya sabemos, es proporcional a la riqueza de la mezcla original.

Así, cuando la unidad de control detecta que existe una elevada concentración de oxígeno en los gases de escape lo interpreta como un defecto de riqueza de mezcla, procediendo a incrementar el caudal de gasolina suministrado al motor en el siguiente ciclo, tras cuya combustión se procede a un nuevo análisis por el sensor de oxígeno, que informa de nuevo a la unidad de mando del sistema de alimentación. Si el enriquecimiento ha sido insuficiente, se detectará de nuevo una mezcla excesivamente pobre (elevada concentración de oxígeno en los gases de escape), procediendo la centralita a un nuevo salto en el enriquecimiento. Si, por el contrario, el enriquecimiento previo ha sido excesivo, la sonda lambda detectará una concentración baja de oxígeno en los gases de escape, modificando su señal e informando a la unidad de mando de que se ha quemado una mezcla rica, procediendo ésta a cambiar el sentido de la corrección de la riqueza, empobreciendo una medida el patrón de inyección anterior.

Esta constante medición y corrección se conoce como bucle de regulación lambda, cuya medida base se encarga a la sonda lambda y el tratamiento de la información y la modificación de la riqueza de la mezcla a la unidad de mando, que actúa modificando el tiempo de apertura de los inyectores y el ángulo de encendido.



Esquema de funcionamiento del bucle de regulación lambda.

Al igual que sucedía con los catalizadores, las sondas lambda precisan una temperatura mínima para funcionar, también cifrada en torno a los 350 ° C, existiendo distintos tipos según su constitución, características y señal emitida que pasamos a detallar:

## SONDA LAMBDA CONVENCIONAL O DE ZIRCONIO

Esta sonda dispone en su interior de una cápsula de dióxido de zirconio que, protegida por la correspondiente caperuza metálica, queda expuesta a los gases de escape. La cara externa del sensor está sumergida en la atmósfera formada por los gases residuales de la combustión, cuya concentración de oxígeno es proporcional a la riqueza de la mezcla de la que proceden, mientras que la cara interior se comunica con la atmósfera exterior, cuya concentración de oxígeno podemos considerar constante (aproximadamente del 20 % en volumen).



Sonda lambda convencional de dióxido de zirconio ( $ZrO_2$ ).

El sensor es capaz de generar una tensión próxima a los 950 mV cuando la diferencia de concentración de oxígeno entre las dos atmósferas es máxima, es decir, la mezcla

inflamada ha sido rica. Cuando se combustiona una mezcla pobre, la concentración de oxígeno en los gases de escape es elevada, siendo entonces mínima la diferencia con respecto al porcentaje exterior (constante), con lo que la tensión aparecida entre los dos electrodos de la cápsula sensora es baja, en torno a los 50 mV. Esta tensión emitida con un barrido de frecuencia superior al hertzio (como mínimo una medición por segundo) es remitida a la unidad de mando que la utiliza de la forma ya conocida para corregir el caudal inyectado.

El hilo conductor de la señal hasta la unidad de control se conecta al electrodo externo de la sonda, mientras que el electrodo interno queda conectado al chasis del vehículo a través del tubo de escape (sonda lambda de un único terminal) o, en caso de que este no disponga una conexión directa con el negativo de batería a través de un segundo cable (sonda de dos hilos). Algunas sondas lambda disponen de una resistencia interna que funciona durante los instantes iniciales (aproximadamente 30 segundos) ayudando al calentamiento de la propia sonda, logrando así con mayor rapidez la temperatura de trabajo necesaria, dando como resultado las sondas lambda de tres y cuatro vías según se encuentre el escape aislado de masa (conector de 4 hilos) o no (3 cables). Los colores de los cables suelen ser comunes para los diferentes fabricantes:

1 vía → Negro: señal, y masa a través de la rosca.

2 vías → Negro: señal, Gris: masa.

3 vías → Negro: señal, Blanco (x2): Alimentación + y – de la resistencia de caldeo, masa a través de la rosca.

4 vías → Negro: señal, Blanco (x2): resistencia de caldeo, Gris: masa.

## **SONDA LAMBDA PLANA O DE TITANIO**

En estas sondas el compuesto con el que se fabrica el elemento sensor es el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), el cual tiene la ventaja de no necesitar una referencia de oxígeno externo, lo que nos permite suprimir el orificio de entrada de aire exterior, aumentando por tanto su resistencia a la temperatura y suciedad, prolongando así su vida útil.

El dióxido de titanio varía su resistencia dependiendo del volumen de oxígeno existente en los gases de escape y de la temperatura de estos, provocando una caída de tensión diferente según la concentración de oxígeno en los citados gases, siendo por tanto

proporcional la tensión emitida a la riqueza de la mezcla, presentando este modelo notables ventajas con respecto a su predecesor ya comentado, puesto que en el modelo anterior la unidad de mando tan sólo conoce si existe defecto o exceso de aire en la mezcla, pero no cuánto de rica o pobre ha sido la misma.

Con el empleo de este nuevo tipo de sonda, cuya tensión de referencia oscila desde 0'4 hasta 3'8 V, la unidad de control presenta un menor tiempo de respuesta al ser capaz de modificar la riqueza de la mezcla no salto a salto entre los patrones de inyección anterior o siguiente, sino que puede modificarla tres o cuatro escalones de la gráfica en una única corrección.



Sonda lambda plana

Al mismo tiempo, puesto que la resistencia de la sonda varía con su temperatura la unidad de control es capaz de adaptar el valor de tensión emitido según la temperatura del motor, por lo que su entrada en funcionamiento es más corta y además se puede conocer de forma indirecta la temperatura del catalizador, evitando su sobrecalentamiento y posible deterioro.

## **SONDA LAMBDA DE BANDA ANCHA**

Las sondas lambda tratadas anteriormente presentan el inconveniente, principalmente la convencional, de no ser capaces de medir para mezclas muy pobres o ultrapobres, utilizadas por la inmensa mayoría de los motores actuales las primeras y los de inyección directa de gasolina las segundas.

Este nuevo tipo de sonda lambda sin embargo suprime esta limitación. Para ello, su principio de funcionamiento difiere sustancialmente con respecto a las anteriores, empleando una célula de bombeo que insufla el gas de escape a una cámara de medición interna en la que se encuentra el elemento sensor, en este caso, de dióxido de platino (PTO<sub>2</sub>), que se encuentra conectado a un pequeño circuito electrónico de control.

Este circuito modifica el caudal impulsado al interior de la cámara de medición modificando la intensidad de corriente que circula a través del elemento de bombeo, dando como resultado un caudal proporcional a la intensidad eléctrica consumida. La cámara de medición dispone de un orificio de salida de gases en el extremo opuesto a la entrada desde la célula de bombeo, de tal forma que la cantidad de oxígeno contenido en la cámara de medición es proporcional a la riqueza de la mezcla y al consumo eléctrico del elemento de bombeo, tratando el circuito electrónico en todo momento de mantener la tensión generada por el elemento sensor en los 450 mV.

Así, cuando el motor quema una mezcla rica, la cantidad de oxígeno en los gases de escape disminuye, aumentando la tensión emitida por el elemento sensor que informa al pequeño circuito electrónico. Éste procede a incrementar el caudal en circulación para aumentar la cantidad de iones de oxígeno contenidos en la cámara de medición y reducir así la tensión entregada por el sensor, para lo cual incrementa el caudal bombeado aumentando la intensidad de corriente que circula por la célula de bombeo.

Para una mezcla pobre, la tensión entre los electrodos es menor, esto hace que la pequeña centralita haga entrar un caudal menor de gases. Lo que supone un menor consumo de la célula de bombeo y una menor proporción de oxígeno en la cámara, por lo que la tensión entre los electrodos aumenta. De aquí resulta que la intensidad consumida es proporcional a la riqueza de la mezcla, modulando su señal este tipo de sonda lambda en intensidad y no en tensión como las anteriores, oscilando los valores entregados desde -1'5 hasta 3 mA, según la polaridad de alimentación de la célula.

## **BUCLE DOBLE DE REGULACIÓN LAMBDA**

Este sistema, que actualmente copa el mercado, incorpora dos sondas lambda, situadas antes y después del catalizador. Este tipo de gestión permite a la unidad de control efectuar una diagnosis del catalizador, ya que la tensión emitida por la primera sonda será proporcional a la riqueza de la mezcla mientras que la enviada por la segunda indicará, salvo tras una aceleración o situación similar, mezcla pobre, puesto que los gases ya han sido tratados por el catalizador. En caso de que no exista diferencia entre las dos señales durante un cierto tiempo que no se corresponda con las secuencias de

calentamiento del motor, la unidad de mando para la gestión del motor interpretará que el catalizador se ha agotado o bien que existe una desviación excesiva en la medida efectuada por una de las dos sondas.

Al mismo tiempo, el bucle de regulación doble permite reaccionar al equipo en un menor tiempo sin que sea preciso el empleo de costosas sondas lambda de banda ancha, ya que, en caso de que el motor queme una mezcla rica, la primera sonda detectará esta características emitiendo una tensión alta (950 mV). Si tras la conversión catalítica la mezcla continúa siendo rica la segunda sonda emitirá también una tensión alta, procediendo la unidad de mando a corregir de nuevo el patrón de inyección sin que sea preciso esperar a la segunda respuesta de la primera sonda lambda.



Segunda sonda lambda tras el catalizador.

El empleo de dos sondas lambda permite además a la unidad de control adaptar la señal emitida por la primera sonda (denominada sonda de bucle rápido) a su grado de desgaste o contaminación.

## **SENSOR DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO**

Los vehículos equipados con catalizador acumulador de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) precisan en su gran mayoría de un sensor que informe a la unidad de mando para la gestión del motor del grado de saturación del mismo, a fin de establecer las secuencias de trabajo para su liberación y las fases de trabajo de acumulación de estas sustancias.

Este sensor, dispuesto en el sistema de escape tras el convertidor acumulador incorpora una pequeña centralita para el control de la alimentación de las dos células de bombeo de que dispone para cada una de las dos cámaras de medición que integra. Dentro de la

primera de éstas se efectúa una medición de la concentración de oxígeno en los gases de escape de forma idéntica a como se realiza en las sondas lambda de banda ancha ya conocidas, manteniendo la centralita en este caso una tensión constante entre los electrodos del elemento sensor equivalente a 425 mV, ligeramente por debajo de la tensión para el modelo anterior.

Los gases de escape continúan su camino hasta la segunda cámara tras efectuarse la medición de la riqueza de la mezcla en la primera, debiendo atravesar un pequeño filtro separador impermeable para los iones de oxígeno. En esta segunda cámara las moléculas de óxidos de nitrógeno se separan, siendo entonces proporcional la cantidad de iones de oxígeno existentes con la de óxidos de nitrógeno disociados, modulando la pequeña centralita del sensor la intensidad de corriente a través de la célula de bombeo que es precisa a fin de variar el caudal en circulación y, por tanto, la concentración de óxidos de nitrógeno en disociación existentes en esta segunda cámara para mantener la tensión entregada por el segundo elemento sensor en 450 mV.

Este sensor dispone de un conector de 9 vías:

- Vía 1: Señal cámara de NOx.
- Vía 2: Señal cámara de riqueza.
- Vía 3: Temperatura sensor NOx.
- Vía 4: Tensión sonda lambda.
- Vía 5: Tensión sonda NOx.
- Vía 6: Alimentación positiva para centralita.
- Vía 7: Alimentación negativa para centralita.
- Vía 8: Alimentación positiva para resistencia de caldeo.
- Vía 9: Alimentación negativa para resistencia de caldeo.

Así, la unidad de mando para la gestión del motor conoce la concentración de óxidos de nitrógeno en los gases de escape según la evolución de la intensidad que atraviesa la vía de señal y negativo conectadas con la cámara de medición de óxidos de nitrógeno. Cuando esta aumenta a partir de un cierto valor, la centralita interpreta la saturación del catalizador acumulador, procediendo a forzar su liberación, para lo cual inhibe el programa de inyección homogéneo pobre (inyección indirecta y directa) y ultrapobre



(sólo modelos de inyección directa de gasolina), pasando a utilizar un modo homogéneo de formación de la carga en la cámara de combustión con mezcla estequiométrica.

## **SENSOR DE TEMPERATURA DE GASES DE ESCAPE**

Todos los sistemas de inyección que incorporan un sensor de óxidos de nitrógeno disponen también a la entrada del catalizador acumulador de un sensor de temperatura de gases de escape, cuya señal sirve para establecer la eficacia del precatizador así como la detección de la temperatura mínima de formación de los óxidos en cuestión. Este tipo de sensores, formados por una termoresistencia emiten una tensión variable con la temperatura de los gases que oscila entre 0 y 5 voltios generalmente.

## **RECICLADO DE GASES DE ESCAPE (E.G.R.)**

Cuando el motor trabaja a bajas revoluciones o con mezclas pobres o ultrapobres, la concentración de óxidos de nitrógeno en los gases de escape incrementa notablemente, por lo que se hace necesario un sistema que pueda reducir este problema. Este sistema es el llamado reciclado de gases de escape (Exhaust Gas Recirculation), que no hace más que introducir un porcentaje, como máximo un 20%, de gases de escape de nuevo en la admisión. Lo que se consigue con esto, es que el espacio ocupado por los gases de escape (inertes), no pueda ser llenado por gases frescos y por lo tanto la energía liberada en la combustión sea menor, reduciendo la presión y la temperatura en la cámara de combustión, manteniendo las condiciones de trabajo del motor por debajo del umbral de formación de óxidos de nitrógeno.

Los requisitos para la puesta en funcionamiento del reciclado de gases son muy diversos dependiendo del modelo del vehículo. Ante todo, nunca debe perjudicarse a la entrega de potencia del motor, siendo normalmente necesaria una temperatura mínima del mismo, una cierta carga y una altitud de circulación por debajo de 1500m. Pero no siempre con estas condiciones se activa el sistema, ya que en determinadas secuencias de trabajo del motor, como por ejemplo la fase de arranque, calentamiento,

aceleraciones bruscas, corte en retención... se fuerza la desactivación del reciclado de gases.



Electroválvula de reciclado de gases de escape.

El reciclado se controla por medio de la unidad de mando para la gestión del motor, que actúa sobre una electroválvula, denominada generalmente EGR o AGR, de control neumático o eléctrico, cuyos detalles se tratan a continuación, siendo común en todos los casos la conexión de la misma, situada entre los colectores de escape y la admisión.

## NEUMÁTICA

Este sistema de reciclado es el más antiguo, formado por una electroválvula de mando eléctrico y otra neumático que constituye la propia EGR. Una memoria interna de la unidad de control contiene los estados en los que debe activarse el reciclado de gases, para lo cual la centralita excita eléctricamente la electroválvula de mando del sistema, conectada en serie entre el acumulador de vacío o depresor del motor y la válvula EGR neumática. De este modo, cuando se establece el paso de corriente a su través el vacío queda aplicado a la membrana interna de la electroválvula, que se deforma en contra de la acción de su muelle interno para abrir el paso de aire desde la tubería de escape hacia la admisión.

En condición de reposo, esto es, cuando la centralita del equipo no activa la electroválvula de mando, la EGR permanece cerrada por acción del resorte interior, impidiéndose el paso de los gases de escape hacia la admisión.

El caudal aspirado es proporcional a la apertura de la válvula EGR para una condición determinada de servicio del motor, siendo esta sección de paso controlada por la

centralita mediante la modulación del impulso de la mando de la electroválvula de control en cuestión (RCO), cuya señal puede ser de frecuencia fija o variable con dwell variable, ya que el desplazamiento de la membrana obturadora de la válvula es proporcional a la depresión aplicada sobre la misma.

## **ELECTROVÁLVULA**

Al igual que en el caso anterior, la unidad central emplea las cartografías memorizadas de que dispone para regir los tiempos de apertura de la electroválvula, en este caso, de accionamiento puramente eléctrico, es decir, se suprime la electroválvula de mando y la válvula neumática EGR se ve reemplazada por otra de tipo eléctrico pilotada directamente por la unidad de control para la gestión del motor.

La nueva válvula está formada por un pequeño bobinado interno arrollado en torno a un núcleo magnético al que se encuentra unido el vástago de accionamiento, solidario del cual se mueve la trampilla que controla el paso de gases de escape a la admisión. Así, cuando la unidad de control permite el paso de corriente a través del citado bobinado el campo magnético generado repele al núcleo en contra de la acción de un resorte interior, forzando la apertura de la válvula. Podemos encontrar modelos cuya activación se basa en la atracción del núcleo, montándose en estos casos el muelle interno en oposición por compresión.

Al igual que en el modelo comentado anteriormente, el dwell característico de la señal pulsatoria continua de mando es modulado por la unidad de control del equipo, aumentándolo cuando se precisa un mayor caudal de reciclado, pudiendo oscilar este valor desde el 0 hasta el 100 %.

## **E.G.R. ELECTRÓNICA**

Este sistema constituye una evolución del anterior, de funcionamiento, estructura y características idénticas. Como principal novedad incorpora un potenciómetro cuyo

cursor es solidario del desplazamiento del núcleo de la válvula, por lo que la señal que remite a la unidad de mando es proporcional a su apertura.



EGR potenciométrica de mando eléctrico

Es por esto por lo que incorpora un total de cinco vías generalmente, a saber: Positivo de alimentación del bobinado, cierre a masa en la unidad de control del arrollamiento, positivo de alimentación (generalmente a 5 voltios) del potenciómetro, negativo y señal de este último.

La unidad de mando para la gestión del motor determina un porcentaje de reciclado determinado, modificando el RCO de la señal de activación en el sentido adecuado (incrementándolo para lograr una mayor apertura o decrementándolo para el cierre) según este cálculo, comparando la señal remitida por el potenciómetro de la EGR en todo momento con el valor que teóricamente debería estar ocupando, lo que permite una mayor precisión del equipo al ser éste capaz de modificar los patrones básicos de funcionamiento en función de parámetros externos al sistema (desgaste, temperatura...), siendo además posible una autodiagnosia más eficaz (detección de agarrotamiento de la válvula, válvula permanentemente abierta o cerrada...).

Determinados modelos sustituyen la bobina interna por un motor de pasos, es decir, un doble bobinado arrollado en sentidos opuestos para enfrentarse con el imán permanente del rotor o viceversa. Este motor es pilotado por la centralita mediante señales de corriente pulsatorias simétricas entre ambos bobinados.

## **RADIADOR PARA GASES DE ESCAPE**

Algunos vehículos emplean un radiador para gases de escape situado en serie con la tubería a través de la cual circulan los gases de escape hacia la admisión durante el reciclado. Este sistema es característico de motores que alcanzan temperaturas de trabajo muy altas. Lo que conseguimos con este componente es refrigerar los gases de escape que van a volver a entrar en el motor debido a la recirculación, esto hace que la temperatura en la cámara de combustión se reduzca notablemente, siendo preciso de esta manera un menor tiempo de reciclado de gases de escape para obtener la misma reducción de temperatura en la cámara y, por tanto, la misma reducción en la emisión de óxidos de nitrógeno.

## **VAPORES DE ACEITE Y COMBUSTIBLE**

Las fuentes de emisiones contaminantes de los vehículos actuales no se reducen únicamente a los gases residuales de la combustión, sino que también se producen vapores de combustible y lubricante por las temperaturas a las que se somete normalmente al vehículo, muy cambiantes según la región geográfica en la que nos encontremos y el tipo de uso que se dé al automóvil.

Así, para satisfacer la normativa anticontaminación se hace imperativo el reciclado de los vapores de aceite producidos en el cárter inferior y de los gases de combustible generados en el depósito del vehículo y la instalación de alimentación, para lo cual se disponen en el automóvil sendos sistemas de reaspiración que conducen estos vapores hacia el motor, donde son quemados junto con la mezcla insertada en los cilindros para dar como resultado componentes inocuos (básicamente CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O).

El sistema de reciclado de vapores de aceite consiste en una serie de tuberías por las que se canalizan los gases generados en el cárter hasta un decantador. Estos compuestos aparecen por las elevadas temperaturas del lubricante, el batido de las bielas, filtraciones de la cámara de combustión....

Para controlar en todo momento los flujos de vapores, ciertos manguitos para la reaspiración disponen en su interior de un paso calibrado, que limita el caudal a su través hasta el decantador.

El decantador consiste en un expansor expuesto a la corriente de aire que genera el vehículo con la marcha para mantenerlo a la menor temperatura posible. En su interior, los gases de aceite se condensan al contacto con las paredes, licuándose y cayendo de nuevo al cárter inferior.

La parte de los vapores que no se condensa se desvía directamente hacia el motor para que sean quemados con el resto de la carga.

Por otro lado, los vapores de combustible se generan principalmente en el tanque del vehículo, situado normalmente en la parte trasera del mismo. Estos gases son recogidos de la parte alta del depósito y conducidos hasta un pequeño expansor, situado generalmente junto a la boca de llenado del tanque y, también en este caso, en contacto con el aire exterior (paso de rueda trasero) para reducir su temperatura.

De forma análoga a como hemos comentado para los vapores de lubricante, el combustible que se condensa se devuelve al depósito principal. Sin embargo, en este caso no se disponen pasos calibrados en los conductos de canalización de vapores, ni la salida del expansor se comunica directamente con el colector de admisión, sino que se conduce por medio de tuberías adecuadas hasta un filtro de carbono activo, conocido como cánister, localizado en la mayoría de modelos en la parte delantera del vehículo, normalmente bajo las aletas o zona inmediatamente posterior al paragolpes.

En su camino desde el depósito hasta el cánister los vapores atraviesan la válvula antivuelco, una válvula antirretorno que impide el vaciado del tanque en caso de vuelco del vehículo por accidente.

El filtro de carbono activo almacena en su interior los vapores de combustible y los separa del aire que los transporta, eliminando la presión de la instalación. Como era de esperar, la capacidad del filtro es limitada siendo precisa su liberación tras un cierto tiempo que oscila según las condiciones de servicio del vehículo.

El cánister se une al colector por medio de un segundo tubo de goma, sobre el cual hallamos, conectada en serie una válvula que controla el paso de los vapores hacia el motor, cuyo accionamiento puede ser neumático, eléctrico o electroneumático. Así, la

válvula de tipo neumático se abre cuando la depresión del motor supera el valor de tarado de su muelle interno, estableciéndose así el reciclado de vapores.

La válvula de control electroneumático permite la activación del reciclado incluso si la depresión generada por el motor es baja. Para ello la unidad de mando aplica vacío a la válvula neumática valiéndose de la activación de una electroválvula de mando (similar al sistema seguido para la EGR electroneumática) que aplica el vacío del acumulador (servofreno, depresor...) a la primera para forzar su apertura contra el resorte interior. La señal de activación es también de tipo pulsatorio y corriente continua, modulándose generalmente en dwell (RCO).



Electroválvula de reciclado de vapores de combustible (EVAP).

El sistema de activación puramente eléctrico suprime estos componentes, instalándose una válvula de mando eléctrico en la tubería de unión del cánister con el colector de admisión. El patrón de liberación del cánister, al igual que en el caso anterior, se encuentra memorizado en una cartografía de la unidad de mando para la gestión del motor que, en ciertas condiciones de marcha (temperatura, carga, régimen...) excita a la unidad de mando para que active el reciclado, la cual, a su vez, alimenta eléctricamente la electroválvula de control de vapores (EVAP) para su apertura.

Independientemente del tipo de activación o control para el reciclado de vapores de combustible, cuando se establece el mismo la depresión del motor succiona aire del exterior a través de la toma inferior del filtro de carbono, en cuyo paso a través del mismo (en este caso en sentido contrario al de acumulación de los vapores) arrastra los hidrocarburos consigo para que sean quemados en el motor.

## **FILTRO DE PARTICULAS**

Los vehículos Diesel, debido básicamente a su proceso de obtención de la energía del combustible, son propensos a la emisión de partículas sólidas, formadas principalmente a base de carbono puro, que resultan extremadamente resistentes a las altas temperaturas y dificultan enormemente su eliminación.

Es por esto por lo que actualmente se ha impuesto la inclusión en el sistema de escape de estos vehículos de un equipo para el filtrado de partículas sólidas, conocidos comercialmente bajo las siglas FAP y DPF, según el modelo, siendo este subsistema complementario de otros como el reciclado de gases de escape, catalizadores de oxidación y reducción...

El conjunto está compuesto fundamentalmente por un filtro, colocado en el escape tras el catalizador, en el que se almacena y quema el hollín producido, para lo cual se precisan temperaturas de, al menos, 550 ° C. Los dos sistemas mencionados anteriormente difieren en su estructura y componentes, pero no en el método empleado para la eliminación de las partículas.

### F.A.P.:

Este sistema precisa un cierto mantenimiento para su correcto funcionamiento. El equipo está formado por:

- Depósito de aditivo: situado junto al tanque de carburante.
- Inyector de aditivo: colocado sobre el depósito de combustible.
- Bomba de aditivo: introducido en el contenedor de aditivo.
- Regulador de presión: junto al inyector.
- Filtro de partículas.
- Sensor de presión diferencial.
- Sensor de temperatura de gases de escape.
- Unidad de control de aditivación.
- Unidad de control para la gestión del motor (incluidos sensores y actuadores).



La unidad de control de aditivación dosifica adecuadamente una cierta cantidad de cerina (aditivo que reduce la temperatura de eliminación de las partículas de hollín de 550 a 450 ° C) cada vez que se reposta combustible, para lo cual se sirve de un sensor de apertura del depósito formado por un interruptor convencional, generalmente de tipo magnético.

Cuando esta centralita detecta que el tapón del depósito ha permanecido abierto un cierto tiempo (generalmente es preciso un intervalo superior a los 5 segundos), solicita a la central principal del automóvil la cantidad de carburante nuevo insertado en el tanque, para lo cual esta última se vale del aforador del vehículo, comparando los valores previo y posterior al repostaje para determinar los litros de gasóleo cargados.

Seguidamente se activa la bomba de aditivo, de tipo eléctrico de rodillos, sumergida en el fondo del depósito de cerina de 5 litros de capacidad. Esta bomba envía el aditivo en caudal más que suficiente hasta el inyector particular del equipo (idéntico a los utilizados en los sistemas convencionales de inyección indirecta multipunto de gasolina), situado en la parte superior del depósito del vehículo. La presión de alimentación del inyector se mantiene constante en torno a los 3 bares gracias al regulador incorporado en el conjunto, que se encarga de devolver al depósito de aditivo el volumen de cerina sobrante.

La cantidad de cerina suministrada al gasóleo repostado se controla pilotando el tiempo de apertura del inyector en base a unas cartografías memorizadas en el interior de la centralita de aditivación. De este modo, el combustible aditivado cuando sea quemado en el motor generará unas partículas de hollín que, para ser eliminadas requieren una temperatura inferior.

Estas partículas son transportadas en suspensión por los gases de escape que circulan a través del filtro, similar en estructura a un catalizador, pero cuyos conductos se encuentran cerrados en su parte final, forzando así a los gases de escape a atravesar sus paredes permeables sobre las que depositan el hollín.

El filtro de partículas tiene una capacidad limitada, pudiendo llegar a su obstrucción, razón por la cual se dispone el sensor de presión diferencial, componente encargado de

medir la diferencia de presión existente entre la entrada y la salida del filtro que, como se supone, será tanto mayor cuanto mayor sea la obstrucción y, por tanto, la cantidad de partículas almacenadas.

Este sensor emplea para ello una cámara de medición, separada en dos partes por una membrana flexible sobre la que se encuentran serigrafiadas unas piezoresistencias conectadas a un pequeño circuito electrónico de control y amplificación de la señal. Cada una de las dos partes en las que queda dividida la cámara se conecta, por medio de sendos tubos, con la entrada y salida del filtro, de tal modo que la deformación a la que se encuentra sometida la membrana es proporcional a la presión diferencial entre ambas subcámaras. Esta flexión varía la resistencia de los cristales, acusada inmediatamente por el circuito electrónico que amplifica la señal y la remite a la unidad de mando para la gestión del motor.

Así, el sensor dispone de un total de tres vías, a saber: negativo y positivo de alimentación, este último generalmente a 5 voltios, y señal, modulada en tensión de 0 a 5 voltios, proporcional a la diferencia de presión existente. La centralita identifica el grado de saturación del filtro con la tensión entregada por el sensor, distinguiendo básicamente seis estados:

- Presión diferencial nula: Tensión del sensor de presión diferencial menor de 50 mV. Se interpreta como una anomalía en el sistema, es decir, falta de estanqueidad de la tubería de escape o error en el sensor de presión.
- Bajo: Tensión del sensor baja pero superior a los 50 mV del estado anterior. Se identifica con un filtro de partículas limpio.
- Medio: Tensión del sensor intermedia-baja. La unidad de mando lo interpreta como filtro en fase de acumulación.
- Alto: Tensión del sensor intermedia-alta. El filtro tiene una carga de hollín elevada.
- Muy alto: Tensión del sensor alta. El filtro está saturado y es preciso regenerarlo.
- Presión diferencial por encima de 900 mBar: Tensión emitida por el sensor superior a 4'5 voltios. Se asocia, al igual que el estado cero, con un error en el equipo.

La unidad principal del sistema de alimentación trata de mantener el filtro de partículas en los niveles de carga bajo y medio. Para ello se sirve de la regeneración natural y económica. La regeneración natural del filtro es la que se presenta cuando se reúnen las

condiciones ideales para la eliminación de las partículas de forma externa, por ejemplo, cuando se rueda a altas velocidades por autovía, condición en la que los gases de escape se encuentran a temperaturas muy elevadas, superiores a los 450 ° C que se precisan para la combustión de las partículas de hollín.

La regeneración económica se establece por la unidad de mando cuando, a pesar de no llegar al nivel de saturación alto o muy alto del filtro, se reúnen las condiciones ideales para su regeneración, momento en el cual la unidad de control para la gestión del motor procede de la forma siguiente:

- Es necesario que el motor se encuentre a temperatura suficiente, generalmente por encima de 60 ° C.
- Velocidad de marcha, régimen y carga del motor suficientes.
- Desactivación de la recirculación de gases de escape.
- Incremento de los caudales brutos inyectados.
- Activación de la postinyección (inyección de un pequeño caudal durante el tiempo de escape para que se quemé al circular por la tubería de escape y aumentar así notablemente la temperatura de los gases).
- Puesta en marcha de accesorios como la luneta térmica, el compresor del aire acondicionado, calentadores..., a través de la red multiplexada si es necesario para compensar el incremento de potencia del motor consecuencia del aumento de gasóleo inyectado.
- Reducción de la presión de alimentación (turbocompresor).
- Incremento de la carga de trabajo de la bomba de alta presión (modelos Common-Rail) mediante la puesta en marcha del tercer pistón o el aumento del dwell de activación del regulador de caudal, según el modelo de bomba Bosch, Siemens, Delphi...

Este mismo proceso constituye la regeneración forzada del filtro, programa que se activa tras la detección del grado de saturación alto o muy alto del filtro de partículas y que se diferencia del anterior en el incremento de los caudales inyectados durante el tiempo de escape, lo cual diluye notablemente el aceite del motor, evitándose en la medida de lo posible.

Cabe destacar que la señal emitida por el sensor de presión diferencial es ajustada en todo momento por la unidad de gestión del motor en base a las informaciones remitidas

por sus sensores, principalmente el debímetro, ya que la presión diferencial presente en el filtro es distinta para un mismo grado de saturación del mismo según el caudal de gases de escape que lo atraviesa.

#### D.P.F.:

Este sistema cumple la misma función que el anterior, suprimiendo la aditivación del gasóleo con lo que la vida útil del sistema se verá alargada considerablemente, pasando de 100.000 a más de 250.000 Km.

En este conjunto el filtro de partículas se impregna de un recubrimiento que contiene óxido de cerio, en presencia del cual las partículas sólidas combustionan fácilmente a partir de los 500 ° C.

El sistema queda formado por un sensor de presión diferencial y una sonda de temperatura de gases de escape, empleada al igual que en el caso anterior, para determinar las condiciones en las que se producen estas partículas y calcular teóricamente el grado de saturación del filtro, comparando este cálculo con la información remitida desde el sensor de presión diferencial para determinar un posible fallo en el mismo.

Al igual que para el equipo anterior existen distintos tipos de regeneración, quedando supeditada la señal del sensor de presión diferencial a la remitida por el debímetro, empleada para calcular el caudal de gases de escape en circulación.

Independientemente del tipo de sistema empleado (FAP o DPF) se dispone de un método de limpieza de los óxidos de azufre de su superficie, sustancias extremadamente resistentes que requieren una regeneración prolongada del filtro, proceso conocido como desulfuración.

La central principal activa la desulfuración cuando se establecen intervalos de tiempo excesivamente cortos entre cada regeneración, debido a que la capacidad de limpieza del filtro en es buena por la enorme cantidad de sulfatos que contiene y que evitan la eliminación de las partículas, no regenerándose el filtro adecuadamente.

## **INYECCIÓN DE AIRE EN EL ESCAPE**

Actualmente, debido a que la normativa anticontaminación vigente exige a los constructores minimizar la cantidad de contaminantes vertidos por el motor durante su fase de calentamiento se recurre al empleo de sistemas de inyección de aire secundario, también conocidos como equipos de inyección de aire en el escape.

Estos sistemas introducen aire filtrado limpio del conducto de admisión al escape para lograr la recombustión de los HC y CO al tiempo que se garantiza el suministro de oxígeno al catalizador.

Para ello el equipo queda formado por una bomba de accionamiento eléctrico que insufla el aire en el escape, pilotada desde la unidad de mando para la gestión del motor por medio del correspondiente relé.

La bomba comunica con una tubería con el filtro de aire, desde el que se nutre de gas fresco para impulsarlo a presión por la segunda tubería, que la une al colector de escape. En el punto de unión de estos dos elementos se dispone una válvula unidireccional que evita que los gases de escape puedan llegar hasta la bomba cuando esta se encuentra parada.

## **SISTEMAS DE VIGILANCIA PARA LOS EQUIPOS ANTICONTAMINACIÓN**

Un fallo de funcionamiento de un sistema anticontaminación se traduce en un incremento instantáneo de las emisiones contaminantes vertidas por el motor. Por este motivo, la Unión Europea exige a los constructores un cierto nivel de seguridad en estos equipos, para lo cual se introducen en las electrónicas de mando una serie de patrones de control propios para cada uno de estos conjuntos.

Así, el empleo de una doble sonda lambda permite a la unidad de mando conocer el grado de desgaste de la primera, la dispersión de su señal..., para lo cual compara los

valores emitidos por ambas de la forma ya descrita. Similar procedimiento se sigue para el catalizador, de tal forma que si la unidad de control no ve tensiones distintas entre las dos sondas lambda cuando ya se ha alcanzado la temperatura de trabajo del sistema es porque el catalizador no presenta un rendimiento suficiente.

Siguiendo esta misma lógica, si tras la activación del reciclado de vapores de carburante no se detecta un incremento en la riqueza de la mezcla y esta no variación se mantiene tras varias activaciones consecutivas la unidad de mando interpreta que la EVAP no llega a abrirse, el cánister está roto, el circuito no es estanco..., procediendo a advertir al conductor de la anomalía para que acuda al taller.

En ocasiones se recurre a sensores que nada tienen que ver con el funcionamiento del sistema, como es el caso de la EGR y el debímetro. La unidad de mando puede calcular de forma indirecta la cantidad de aire aspirado por el motor en base al régimen de giro y la carga del mismo. Si tras la activación del reciclado de gases de escape no se produce una reducción del caudal medido por el debímetro con respecto al teóricamente calculado es porque no se produce efectivamente el reciclado, procediendo también en este caso a mostrar al conductor el mensaje de error en el sistema de control del motor.