

DISPOSITIVOS DE ANTICONTAMINACIÓN EMPLEADOS EN LOS MOTORES DE AUTOMÓVILES

Modalidad: Electromecánica

Equipo: A

I.E.S. de Llanes (Asturias)

**Alumnos: Iker Gutiérrez Elola
Marcos Llanos Merodio**

Profesor: José Antonio Posada Alas

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	2
2.- EMISIONES.....	3
3.- FOCOS CONTAMINANTES EN EL AUTOMÓVIL.....	5
4.- DIFERENCIAS ENTRE LOS MOTORES DE CICLO OTTO Y DIESEL..	6
5.- MEDIDAS ADOPTADAS PARA REDUCIR LAS EMISIONES.....	7
6.- DISPOSITIVOS ANTICONTAMINANTES EN MOTORES OTTO.....	10
7.- DISPOSITIVOS ANTICONTAMINANTES EN MOTORES DIESEL.....	21
8.- DIAGNOSIS ANTICONTAMINACIÓN.....	25
9.- COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS.....	28
10.- FUENTES Y BIBLIOGRAFÍA.....	30

1.- INTRODUCCIÓN

LA SITUACIÓN ACTUAL.- No queremos iniciar este estudio sin realizar un breve análisis de las condiciones que han llevado a la presente preocupación por temas como la ecología y el medio ambiente. Durante muchos miles de años la Tierra evolucionó de un modo natural; incluso después de la aparición del hombre, la acción de éste sobre el medio natural fue insignificante. No sería hasta el inicio de la Revolución Industrial a final del s. XVIII cuando el aprovechamiento de recursos naturales (carbón y después petróleo) comenzó a romper el equilibrio natural con la emisión a la atmósfera de gases contaminantes en una carrera sin solución de continuidad hasta hoy. Lluvia ácida, efecto invernadero, agujero en la capa de ozono y polución atmosférica se han convertido en expresiones corrientes en nuestro tiempo. La lluvia ácida hace peligrar la capa vegetal, el efecto invernadero aumenta la temperatura de la Tierra y el nivel de los mares, el agujero de la capa de ozono impide la filtración de los rayos ultravioletas y la polución atmosférica en las ciudades, daña las vías respiratorias de sus habitantes.

La preocupación internacional ha llevado a establecer conferencias mundiales que como la de Kyoto en 1.997 propuso la reducción de gases de efecto invernadero entre 2.008 y 2.012. Entró en vigor en 2.005 tras la ratificación por Rusia.

Los principales focos contaminantes artificiales tienen su origen en tres actividades principales: industrial, doméstica y automóvil, es especialmente este último el que más ha crecido; tomando como un valor de 100 cada gas contaminante, el porcentaje emitido por los vehículos es: 80% de monóxido de carbono (CO), 60% de hidrocarburos sin quemar (HC), 40% de óxidos de nitrógeno (NOx), 6% de dióxido de azufre (SO₂), 25% de hollines (C) y 25% de anhídrido carbónico (CO₂).



UN POCO DE HISTORIA.- La emisión de gases contaminantes comenzó a ser preocupante en las grandes urbes. Sería en Los Ángeles (California) donde ya en 1.968 surge la primera reglamentación sobre CO y HC según norma CARB (California Air

Resource Board), ampliada en 1.971 al limitar también los NOx. El resto de estados siguieron el ejemplo. A mediados de los años 80 surge la normativa OBD (On Board Diagnostic) que conocerá distintas fases en el tiempo. Japón, otro país de gran influencia en el automóvil, pronto se sumó, adoptando leyes tan severas como EE. UU.

Europa no podía quedar al margen de la lucha contra la contaminación y ya desde los años 70, la entonces CEE introdujo normas al respecto; pero no será hasta inicios de los 90 cuando aparezca una reglamentación unificada en Europa, con una sucesión de normas cada vez más restrictivas según esta secuencia y fechas de aplicación:

Euro 1: vehículos de nueva homologación, 1-7-1.992; matriculación, 31-12-1.992.

Euro 2: nueva homologación, 1-1-1.996; matriculación, 1-1-1.997.

Euro 3: nueva homologación, 1-1-2.000; matriculación, 1-1-2.001.

Euro 4: nueva homologación, 1-1-2.005, matriculación, 1-1-2.006.

Euro 5: regulación futura aplicable a nuevas matriculaciones a partir de 2.009.

Con la norma Euro 3 se empezó a aplicar el sistema EOBD (European On Board Diagnostic) que al modo del establecido en EE.UU., controla los sistemas anticontaminantes del vehículo en motores de gasolina desde 2001 y Diesel desde 2003.

2.- EMISIONES

EL PROBLEMA: LA COMBUSTIÓN.- El motor de combustión interna es una máquina capaz de aprovechar el poder calorífico del combustible para generar trabajo útil. Los carburantes tradicionalmente utilizados (gasolina y gasoil) provienen del petróleo, combustible fósil originado a partir de la descomposición de microorganismos hace miles de años y cuya composición casi exclusiva son hidrocarburos constituidos por carbono e hidrógeno. Para obtener el beneficio del citado poder calorífico, se provoca la combustión del combustible con el comburente (oxígeno del aire) originando una reacción química que libera gran cantidad de calorías y un rápido incremento de la presión que se transforma en trabajo durante la expansión. Si la combustión fuera perfecta, por el escape saldrían gases no contaminantes: anhídrido carbónico (CO₂) al combinarse el carbono de los hidrocarburos con el oxígeno del aire; vapor de agua

(H₂O) por combinación del hidrógeno de los hidrocarburos con el oxígeno, y nitrógeno (N₂). Desgraciadamente, esta combustión perfecta no se produce (en los motores de ciclo Otto sólo se da cuando se mezclan 14,7 partes en peso de aire por 1 de gasolina-relación estequiométrica-), originándose gases contaminantes: monóxido de carbono, por combinación sólo parcial del carbono con el oxígeno; una parte de hidrocarburos no participa en la combustión y es expulsada sin quemar. Además, el nitrógeno que contiene el aire se combina con oxígeno, originando óxido de nitrógeno. Por otro lado, impurezas contenidas en el combustible, como el azufre, se oxidan originando anhídrido sulfúrico. En motores Diesel son también importantes las partículas, donde a una base de carbono se adhieren hidrocarburos, aceites y sulfatos.

Pese a que la presencia de estos contaminantes es proporcionalmente escasa (en motores de gasolina está en torno al 1% de los gases emitidos y en Diesel es aún menor), es notable la influencia que tienen en la contaminación atmosférica.

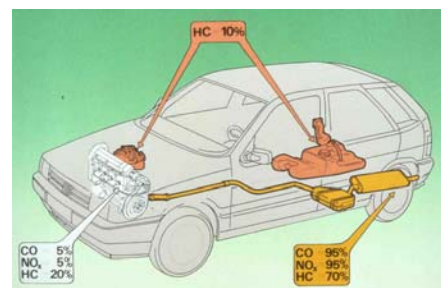
LOS EFECTOS.- Muy brevemente queremos citar la repercusión que tienen dichas emisiones para el medio natural y la salud humana:

- Monóxido de carbono (CO). Gas inodoro e incoloro que aumenta con mezclas ricas. Altamente tóxico ya que se combina con los glóbulos rojos de la sangre impidiendo que esta transporte el oxígeno de los pulmones al resto del organismo; según su concentración en el aire, puede provocar desde dolores de cabeza hasta la muerte (si supera el 3%).
- Hidrocarburos no quemados (HC). Originados por falta de oxígeno (mezcla rica) o baja velocidad de inflamación (mezcla pobre), tienen un olor penetrante y provocan irritación en los ojos y la nariz; en presencia de óxidos de nitrógeno, en algunos casos son cancerígenos.
- Óxidos de nitrógeno (NO_x). Con las altas temperaturas de combustión, el nitrógeno, normalmente inerte, puede combinarse con el oxígeno formando este gas que provoca escozor de ojos y tos; en importantes concentraciones destruye el tejido pulmonar. Combinado con el anhídrido sulfúrico (SO₂) y bajo la acción de los rayos solares se transforma en ácidos nítrico y sulfúrico que se acumulan en las nubes para caer al suelo en forma de lluvia ácida provocando la destrucción de los bosques.

- Partículas (PM). Originadas por combustión incompleta, son esferas microscópicas con núcleo de carbono al que se asocian hidrocarburos, azufre y óxidos metálicos; debido a su escaso tamaño pueden ser respiradas, provocando efectos perniciosos para la salud.
- Plomo (Pb). Pese a que su presencia actual es residual por estar prohibidas las gasolinas con este aditivo, aún se tolera en algunos países. Los antidetonantes a base de plomo (tetraetilo o tetrametilo), son altamente tóxicos al actuar como veneno celular para la sangre y la médula ósea.
- Anhídrido carbónico (CO₂). Es un gas no contaminante que las plantas transforman en carbono (que permanece en la planta) y oxígeno durante la fotosíntesis. El problema es que presente en la atmósfera en altas concentraciones, pese a dejar pasar la radiación solar que calienta la Tierra, impide la radiación térmica desde el suelo y los océanos hacia el espacio, provocando el cada vez más temido “efecto invernadero” ya citado al inicio de nuestra exposición.

3.- FOCOS CONTAMINANTES EN EL AUTOMÓVIL

- **ESCAPE.** Que supone la gran mayoría de emisiones (HC 70%, NO_x 95%, CO 95%).
- **EVAPORACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.** Es significativo sólo en motores de gasolina por la mayor volatilidad de esta, que sometida a la irradiación del motor y sistema de escape junto a la temperatura ambiente, evapora hidrocarburos a la atmósfera, pudiendo alcanzar el 10% del total de esta emisión. Las fuentes en este caso, proceden del depósito y del sistema de alimentación.
- **CÁRTER DEL MOTOR.** Emisiones originadas al mezclarse parte de los gases de la combustión que se fugan entre pistones y cilindros con vapores de aceite presentes en el cárter. Son importantes en estos gases “blow-by” los hidrocarburos sin quemar que alcanzan el 20% del total de esta



emisión; los NOx y el CO suponen en cada caso un 5% del total. Como medida técnica para reducir estos gases, se establece el sistema cerrado de recirculación de gases que desde el interior del motor se conducen de nuevo al sistema de admisión donde se incorporan a la mezcla fresca; las minúsculas gotas de aceite que arrastra la corriente de gases, son recogidas en un separador y reconducidas al cárter.

Las medidas técnicas utilizadas para reducir las emisiones por el escape y la evaporación las analizamos posteriormente en el apartado de soluciones anticontaminantes.

4.- DIFERENCIAS ENTRE MOTORES DE CICLO OTTO Y DIESEL

En cuanto a las emisiones contaminantes es bien distinto el comportamiento de ambos tipos de motores; empezando por los diferentes principios de funcionamiento que obligan al combustible a cumplir distintos requisitos, repercutiendo por tanto en las propiedades de la combustión y en la emisión de sustancias nocivas.

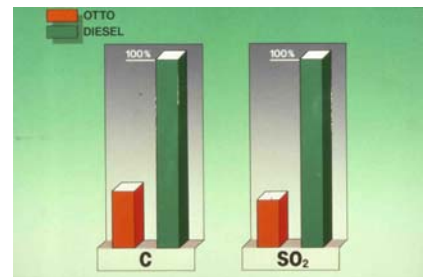
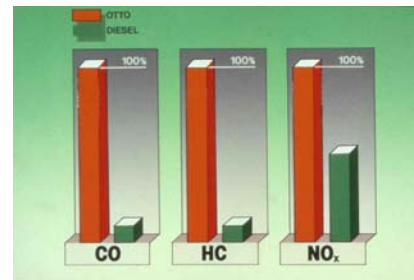
En el motor de gasolina, la mezcla se forma durante la fase de admisión (con excepción hecha del motor de inyección directa en alguna fase de su funcionamiento) para, durante el tiempo de compresión, tener un tiempo relativamente largo para la unión del aire con la gasolina, formándose así una mezcla casi homogénea. La proporción de aire (factor λ - λ - que relaciona la cantidad de aire suministrada al motor con la teóricamente necesaria) se mueve en valores del orden de 0,8 a 1,2. La combustión se provoca mediante encendido por chispa en la bujía y el desarrollo del frente de llama, además de producir la liberación térmica, es importante en la producción de contaminantes.

En el motor Diesel, tan sólo se admite aire que se comprime fuertemente durante la fase de compresión, alcanzando entre 700 y 900° C para recibir al final de dicho tiempo el gasoil pulverizado por los inyectores a alta presión (modernamente pueden superarse los 2.000bares); se origina así una mezcla heterogénea que autoenciende para

provocar la combustión. Otra importante diferencia respecto al motor de ciclo Otto, es que el Diesel, para asegurar una buena combustión de todas las partículas de combustible, trabaja con exceso de aire, de modo que si en términos medios la relación aire-gasóleo ronda 25:1, dependiendo de las condiciones de funcionamiento, puede variar entre 20:1 y 60: 1 aproximadamente.

En cuanto a consumo y emisiones contaminantes, en los motores Diesel hay que distinguir entre los de inyección directa e indirecta, incluso en estos últimos, entre los equipados con precámara o con cámara de turbulencia, pero queda comprobado que es la inyección directa el método que obtiene mejores resultados.

A la vista de las diferentes características de funcionamiento, se derivan repercusiones en las emisiones contaminantes; así, si bien los motores Diesel emiten también monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar y óxidos de nitrógeno, lo hacen en menor cantidad debido al diferente proceso de combustión, algo que se puede observar si comparamos el gráfico de barras de la emisión de estos gases, donde si las emisiones del motor de gasolina son 100, en el Diesel aproximadamente se reducen: 90% el CO, 90% los HC y 50% los NOx. Por contra, el motor Diesel emite más partículas no gaseosas y hollín (C) contra los que modernamente se ven obligados a luchar los fabricantes para cumplir las normas legales; otro contaminante superior en estos motores es el dióxido de azufre (SO₂), en cantidad proporcional al contenido de azufre en el gasóleo.



5.- MEDIDAS ADOPTADAS PARA REDUCIR LAS EMISIONES

La legislación sobre gases de escape establece unos valores límite para la emisión de sustancias nocivas; así, el desarrollo de nuevos motores no sólo busca disminuir el consumo y aumentar potencia y par motor, si no que otro objetivo básico es mantener lo

más bajas posible las emisiones contaminantes. Además de los avances en el diseño de motores y su gestión a los que nos referiremos más adelante, no son despreciables las mejoras de la calidad de los combustibles, donde la eliminación del plomo en las gasolinas o el empleo de gasóleos con bajo contenido en azufre, también contribuyen a la drástica disminución de emisiones brutas que desde los años 70 del pasado siglo, se ha reducido más de un 80%. Para visualizar mejor la evolución cada vez más restrictiva de las normas Euro, aportamos el siguiente resumen:

	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5
Producto (g/Km)					
Gasolina -CO	3,16	3,2	2,3	1	
-HC	-	0,34	0,2	0,1	0,075
-NOx	-	0,2	0,15	0,08	0,05
Diesel - CO	3,16	1	0,64	0,5	
-NOx	-	-	0,5	0,25	0,2
-PM	0,18	0,08	0,05	0,025	0,005
CO2 (g/Km)*					
EOBD	NO	NO	Gasolina Diesel (2003)	Gasolina Diesel	Gasolina Diesel

* Para vehículos de nueva matriculación, en la Unión Europea, los fabricantes están obligados a indicar la emisión de CO2 en gr/Km. Para la limitación de estas emisiones y por tanto del consumo no hay valores fijados por la ley pero existe una autoobligación voluntaria de los constructores de automóviles (ACEA); así, hasta el año 2003 la emisión de CO2 para vehículos de clase M1 era de 165-170 g/Km., lo cual correspondía a un consumo de combustible de 6,8 l. /100Km. Hasta el presente 2008, los límites están en 140g/Km. (5,8 l. /100Km.)

Los frentes de ataque además de la mejora de los combustibles, son dos: medidas antes de que se originen los gases y tratamiento posterior de estos; las diferencias entre los motores de ciclo Otto y Diesel hacen que tratemos las medidas anticontaminantes de modo diferenciado.

MOTORES DE GASOLINA. Medidas adoptadas en el diseño y gestión del motor:

- Diseño optimizado de la cámara de combustión y de la cabeza del pistón para lograr un mejor comportamiento aerodinámico de los gases.
- Mejora de los segmentos del pistón y reducción de la superficie entre el segmento superior y la cabeza del pistón para disminuir la presencia de zonas más frías donde no llega la llama, generando HC en el escape.
- Técnica multiválvulas.
- Bujía en el centro de la cámara de combustión para que el frente de llama se propague uniformemente y la mezcla se queme de modo más eficaz.
- Sistemas electrónicos de control de encendido e inyección; en este caso pasan de activación frecuencial a secuencial con mejor ajuste de mezcla.
- Adopción de sistemas de inyección directa.
- Control de la detonación y corte del combustible en deceleración.

En cuanto al tratamiento posterior de los gases de escape, son destacables:

- Catalizador de tres vías regulado mediante sonda lambda.
- Sistema de insuflación de aire secundario con control electrónico.
- Recirculación de gases de escape controlada a través de la unidad de control electrónico (en adelante UCE).
- Vigilancia electrónica de los sistemas más importantes en emisiones de escape (EOBD) e indicación de averías a través de lámpara testigo.

A todos estos sistemas se suma la retención de vapores de combustible.

MOTORES DIESEL. En cuanto al diseño del motor y su sistema de gestión:

- Estudiada geometría de los inyectores para favorecer la pulverización y penetración de las gotitas que reduce el tiempo necesario para quemarse.
- Turbulencia de la cámara de combustión optimizada.
- Aumento de la presión de inyección hasta rondar los 1.800 bares con bomba distribuidora y “common rail” y más de 2.000 en inyector-bomba.

- Control electrónico de avance y caudal de inyección que con el aumento de presión admite la inyección directa también en motores de baja cilindrada.

Respecto al tratamiento posterior de los gases de escape, citamos:

- Catalizador de oxidación y catalizador reductor de NOx (en su caso).
- Filtro de partículas.
- Recirculación de gases de escape.
- Adopción de turbocompresor, que gobernado en muchos casos por la UCE, sintoniza perfectamente con el principio de funcionamiento de este motor.
- Vigilancia electrónica EOBD.

6.- DISPOSITIVOS ANTICONTAMINANTES EN MOTORES DE GASOLINA

La mayor presencia de estos propulsores en áreas urbanas, hizo que se fijaran primero sobre ellos las restricciones anticontaminación. Antes de seguir con el estado actual de la situación, queremos citar algunas de las soluciones aportadas al **carburador**; que durante muchos años reguló la alimentación en estos motores intentando adaptarse a las cada vez más severas normas pero que al final tuvo que claudicar ante los más precisos sistemas de inyección electrónica, manteniéndose de modo residual con auxilio electrónico. Entre otras, las mejoras fueron: circuito de ralentí en derivación para evitar la manipulación de la mariposa de gases; después se mejoró con el ralentí de CO constante. Otras mejoras fueron la bomba de aceleración por leva, el amortiguador de deceleración o la válvula de desgaseado, que no impidieron que el carburador quedara obsoleto desde los años 80 del siglo pasado. Con anterioridad (Bosch presentó su primera generación D-Jetronic en 1.967) se fueron desarrollando sistemas de inyección de gasolina con los que especialmente en el caso de gestión electrónica, se asegura una mejor relación aire-gasolina en cualquier condición de funcionamiento del motor. La adaptación de estos sistemas a los distintos propulsores, impuso dos tipos básicos: inyección monopunto con un sólo inyector en el colector e inyección multipunto con un inyector a la entrada de la válvula de admisión, que permite un ajuste más preciso de la gasolina. Un paso posterior lo supuso la gestión

conjunta de inyección y encendido integrada en la misma UCE, para acabar en la actualidad, con la adopción de los sistemas de inyección directa. Todos estos cambios no son ajenos a la búsqueda de motores más limpios, que pese a todo, hacen necesario un tratamiento de los gases en la línea de escape, a lo que dedicamos ahora atención.

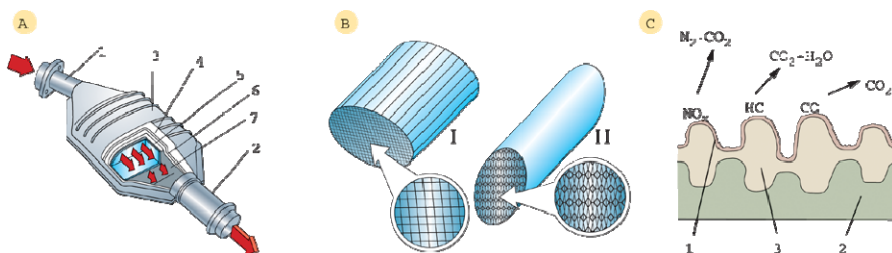
CATALIZADOR. A los gases de escape se les obliga a pasar por este dispositivo intercalado tras el colector; en presencia de metales nobles, se provocan reacciones químicas que convierten los gases contaminantes en inofensivos. Hay distintos **tipos**:

- De dos vías o de oxidación. Convierte CO y HC por oxidación en vapor de agua y anhídrido carbónico (CO_2). No transforma los óxidos de nitrógeno (NO_x) y por ello su uso es muy escaso en motores Otto.
- De tres vías con toma de aire. Transforma CO, HC y NO_x . Utilizado en vehículos de fabricación americana.
- De tres vías. Transforma CO, HC y NO_x para convertirlos en vapor de agua (H_2O), anhídrido carbónico (CO_2) y nitrógeno (N_2). Es el empleado actualmente en vehículos europeos. Nos sirve de base para la posterior explicación.
- Acumulador de NO_x . Empleado en los modos de funcionamiento con mezcla pobre donde el de tres vías no puede transformar por completo los NO_x . Hablaremos de sus características al afrontar el caso de la inyección directa de gasolina.

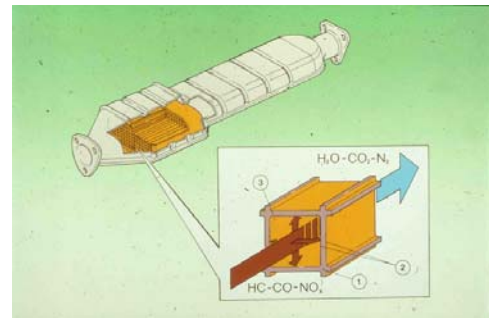
En cuanto a la **composición** básica de un catalizador de tres vías, está formado por un cuerpo exterior metálico (3) que aloja en su interior al soporte o monolito (7) con la materia activa por donde circulan los gases para ser reconvertidos; entre ambos se sitúa una manta expandible (4) que compensa la mayor dilatación del cuerpo metálico manteniendo

siempre firme al soporte. Según el material de

fabricación, el monolito puede ser cerámico (I) o metálico (II); en el primer caso, esta compuesto de silicato de magnesio-aluminio atravesado por varios miles de pequeños



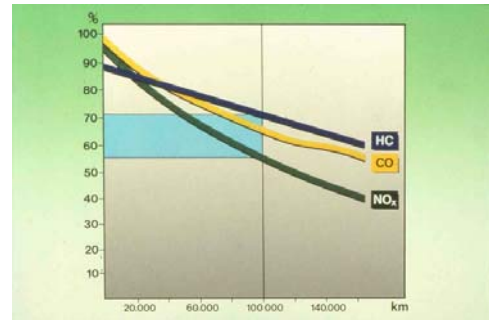
canales formando multitud de celdillas para ser recorridas por los gases de escape; es el caso más utilizado. El metálico se forma a partir de una hoja de acero inoxidable de aprox. 0,01mm. de grosor, arrollada para formar una estructura similar a la anterior pero de paredes más finas, pudiendo disponer de más canales lo que permite menor obturación al escape, está indicado para motores de altas prestaciones, pero es más caro y por ello, menos usado. Los monolitos necesitan incrementar su superficie activa y para ello se recubren de una capa de óxido de aluminio “washcoat” (3, en el detalle C de la figura) que la aumenta varias miles de veces. Sobre ella se deposita una capa muy fina que forma la capa catalítica activa (1 en el detalle C) a base de metales preciosos como platino, paladio y rodio que son los que provocan las reacciones químicas de los gases para su reconversión. Platino y paladio aceleran la oxidación de los hidrocarburos y del monóxido de carbono para convertirlos en vapor de agua y anhídrido carbónico; el rodio provoca la reducción de los óxidos de nitrógeno que se transforman en nitrógeno. Las tres conversiones se realizan simultáneamente. El contenido de metales preciosos varía entre unos pocos gramos en función de la cilindrada del motor.



En cuanto a las **condiciones de servicio**, la eficiencia máxima del catalizador se obtiene cuando la proporción de aire está próxima a la ideal ($\lambda=1$), por cuya razón trabaja asociado a la sonda lambda de la que después hablaremos. Por otro lado, es imperativo el uso de gasolina sin plomo para que no inutilice el dispositivo. Otra cuestión muy importante es la temperatura de trabajo, pues en los catalizadores de tres vías no se logra suficiente conversión de contaminantes hasta superar los 300° C, oscilando entre 400 y 800° C los necesarios para un buen servicio y larga duración. Por encima de los 1.000° C el envejecimiento aumenta rápido y en torno a los 1.400° C se produce la fusión del monolito; por ello es tan importante la fiabilidad del sistema de encendido que impida la llegada de gasolina sin quemar al catalizador, pudiendo en la moderna gestión, identificar al cilindro que falla para impedir en él la inyección. En este sentido, también hay que evitar arrancar el motor empujando el vehículo y debe vigilarse el consumo de aceite o superar su nivel durante el cambio o reposición. Relacionado con todo lo anterior está el lugar de montaje del catalizador, pues dada la

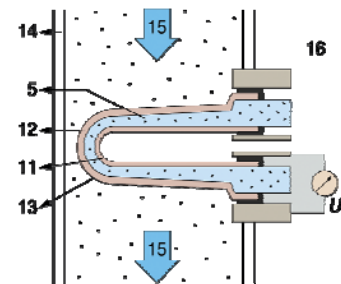
importancia de la temperatura para la acción catalítica, es interesante montar el catalizador cerca del motor o mejorar el calentamiento en el arranque para lo cual pueden utilizarse sistemas como la inyección de aire secundario a la salida de la válvula de escape que provocando una post-combustión de los gases no quemados, favorezca el calentamiento del catalizador situado más atrás. Otra alternativa es la variación del ángulo de encendido, retrasándolo para conseguir el mismo efecto.

Respecto al **grado de efectividad**, hay que decir que pese a que el catalizador de tres vías asociado a la sonda lambda alcanza una reducción de contaminantes en torno al 98%, las difíciles condiciones de trabajo hacen que paulatinamente pierda efectividad y en torno a los 100.000Km. puede ya considerarse sensiblemente reducida como se ve en el gráfico.

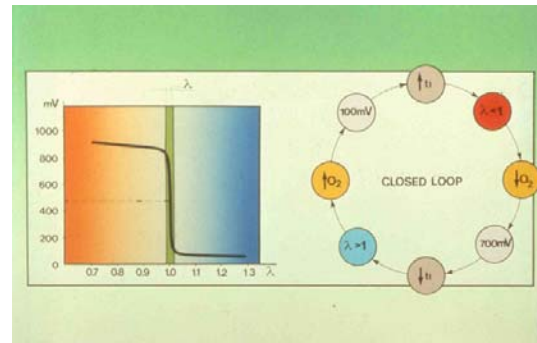


SONDA LAMBDA. El uso del catalizador de tres vías exige una proporción de aire en la mezcla muy próxima a la ideal ($\lambda=1$); el margen hacia valores lambda mayores (mezcla pobre) o menores (mezcla rica) es muy escaso para que el catalizador sea eficiente. La regulación ha de ser automática y para ello se analiza continuamente la composición de los gases de escape por medio de este dispositivo capaz de detectar el oxígeno residual de la combustión enviando señales de tensión a la UCE que corregirá los tiempos de inyección para que el factor lambda se mantenga en valores óptimos.

Por lo que se refiere a la **composición**, la sonda lambda consta básicamente de un cuerpo hueco de cerámica (5) a base de dióxido de circonio recubierto interior y exteriormente de una fina capa de platino microporoso (11 y 12) que actúa como electrodo. La parte interna (electrodo positivo-11-) está sometida al aire ambiente (16); la externa (electrodo negativo-12-) está en contacto con los gases de escape (15) y va recubierta de una capa cerámica (13) para proteger al platino de la acción corrosiva de los gases de escape. Externamente se protege la cerámica con un tubo metálico con las conexiones eléctricas y un casquillo roscado para su fijación al tubo de escape (14).



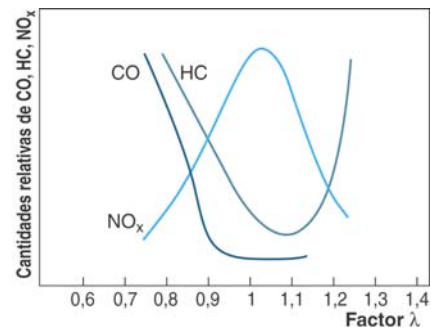
Hay que decir en su **funcionamiento**, que a partir de los 300° C aproximadamente el dióxido de circonio se vuelve conductor de iones de oxígeno; así, si hay diferente nivel de oxígeno entre ambas superficies (interna y externa) se origina una pequeña tensión (U) proporcional a dicha diferencia. Cuando la mezcla es rica (poco oxígeno en la zona del electrodo negativo), se produce paso de oxígeno desde el electrodo positivo al negativo, generando una tensión que puede alcanzar los 900mV. aproximadamente. Si la mezcla es pobre, la mayor presencia de oxígeno en el escape disminuye la diferencia de oxígenos entre ambos electrodos y por ello la tensión generada es menor, en torno a los 100mV. aprox. En el caso de mezcla ideal, la tensión está entre 400 y 500mV. Esta señal de tensión es enviada a la UCE que corregirá el tiempo de activación de los electroinyectores; así, si la mezcla es pobre, la tensión enviada es baja lo cual es asumido por la UCE para aumentar el tiempo de inyección, enriqueciendo la mezcla y apareciendo en el escape menos oxígeno; la tensión de lambda aumenta para que se disminuya el tiempo de inyección y empobrecer de nuevo la mezcla que otra vez será detectado por la sonda como tal magnitud para actuar en consecuencia. El reglaje es así en bucle cerrado (“closed loop”) en busca de $\lambda=1$, es decir, donde la relación entre la cantidad de aire suministrado y el necesario son iguales para provocar el funcionamiento óptimo del catalizador. Esta fase de funcionamiento mayoritaria puede romperse en situaciones predeterminadas (funcionamiento en frío, bruscas aceleraciones, etc.) según la estrategia de la UCE.



Si analizamos **otras características** de la sonda lambda, hay que decir en primer lugar que la temperatura de funcionamiento es básica para su buen rendimiento. Con el fin de alcanzar lo más rápidamente posible los 300° C citados, las primeras sondas se situaban muy cerca del colector de escape pero su duración era menor. Fueron sustituidas por sondas calefactadas que alcanzan esos valores térmicos en pocos segundos y aseguran gases limpios ya desde los primeros momentos de funcionamiento. En cuanto a los tipos de sondas, la explicada anteriormente es conocida también como de dos puntos pues la tensión oscila entre un límite superior y otro inferior. Un nuevo

tipo de sonda conocida como de banda ancha tiene la facultad de realizar mediciones muy precisas suministrando una señal constante que permite a la UCE efectuar una regulación continua de la mezcla; además, abarca un amplio margen de valores lambda (entre 0,7 y 3) y por tanto es apropiada para los motores de inyección directa de gasolina que pueden trabajar en fases desde mezclas muy pobres a homogéneas. Por lo que se refiere a la disposición, está habitualmente delante de la entrada de gases al catalizador y en función de la antigüedad y del sistema de inyección, puede ser de dos puntos o de banda ancha. Detrás del catalizador puede encontrarse otra sonda de dos puntos para verificar el estado del catalizador comparando la UCE las tensiones de ambas sondas según exigencias del sistema EOBD. La segunda sonda, en los sistemas de inyección directa de gasolina con catalizador acumulador de NOx, integra un sensor de NOx para identificar el fin de la fase de desacumulación de este gas.

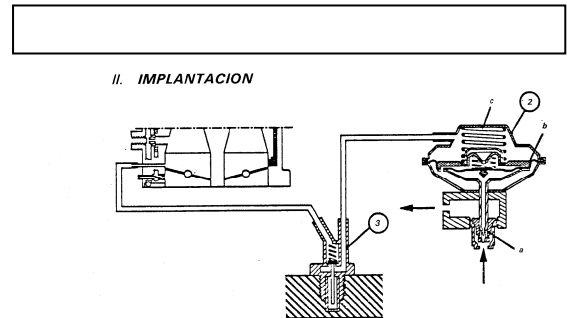
EGR Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO. Como ya se citó anteriormente, los NOx se forman a altas temperaturas de combustión (1.500-2.000° C) y en su aparición también tiene especial relevancia el contenido de oxígeno en la mezcla. Un problema añadido pero no menos importante en los motores de gasolina, es que el máximo nivel de estos contaminantes se produce en las zonas de factor lambda ($\lambda=0,9/\lambda=1,1$) donde se dan los mínimos valores de HC y CO y por tanto donde más conviene trabajar al motor.



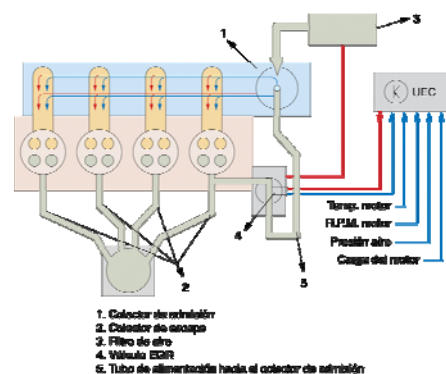
La reducción de estos gases pasa entonces por rebajar la temperatura de combustión y a este fin se opta por reciclar una parte de gases quemados de nuevo a la admisión; en efecto, con la recirculación de entre un 5 y un 15% de gases quemados durante ciertas condiciones de funcionamiento del motor, se reduce la mezcla fresca aspirada y en consecuencia, la temperatura de combustión. La comunicación entre los colectores de escape y admisión se realiza a través de una válvula EGR (Exhaust Gas Recirculation) aunque una alternativa puede ser conservar esa masa de gas inerte en el cilindro mediante el sistema de distribución variable (es la llamada “EGR interna”). Es importante señalar que en el caso de motores de ciclo Otto que trabajan próximos a $\lambda=1$ con catalizador de tres vías, suele ser suficiente con este convertidor donde por reducción se transforman los NOx; sin embargo, las especiales condiciones de trabajo

de algunos motores de inyección indirecta pueden hacer necesario el uso del sistema, como también ocurre siempre en el caso de la inyección directa donde la recirculación de gases de escape se combina con el uso del catalizador acumulador de NOx.

Respecto al **funcionamiento**, las aplicaciones más antiguas, de accionamiento neumo-mecánico, estaban compuestas de la propia válvula EGR (2) situada en el colector de escape que recibía depresión de la admisión a través de una termoválvula (3) roscada al motor; con temperatura fría de este (hasta 35-40° C) no se comunicaba depresión a la EGR y por tanto el reciclado no se producía. Superada esa temperatura, la termoválvula abría paso y el accionamiento de la EGR sólo dependía de la posición de la mariposa de gases; cuando estaba a carga parcial descubría el orificio de depresión para que esta se transmitiera a la cámara de la válvula, que se abría dejando pasar gases del escape (flecha vertical) a la admisión (flecha horizontal). En plena carga la depresión era insuficiente como para mantener abierta la válvula y el reciclado terminaba.



Los sistemas modernos disponen de válvula EGR comandada por la UCE, que valora entre otros parámetros: temperatura del motor, régimen, presión de admisión y carga del motor. La válvula no es activada si el motor está frío o a plena carga para no perjudicar el rendimiento; en el resto de condiciones, la válvula EGR (4) eléctrica es activada por masa a través de impulsos RCO (relación cíclica de apertura), o sea, señales rectangulares de tensión, con frecuencia fija y tiempo de conexión variable; de este modo se regula el grado de apertura de la válvula para que recicle más o menos gases de escape. Esta válvula eléctrica dispone de un potenciómetro que a modo de sensor de alzada, devuelve a la UCE una señal variable de tensión para que esta lo interprete como magnitud de apertura de la válvula.

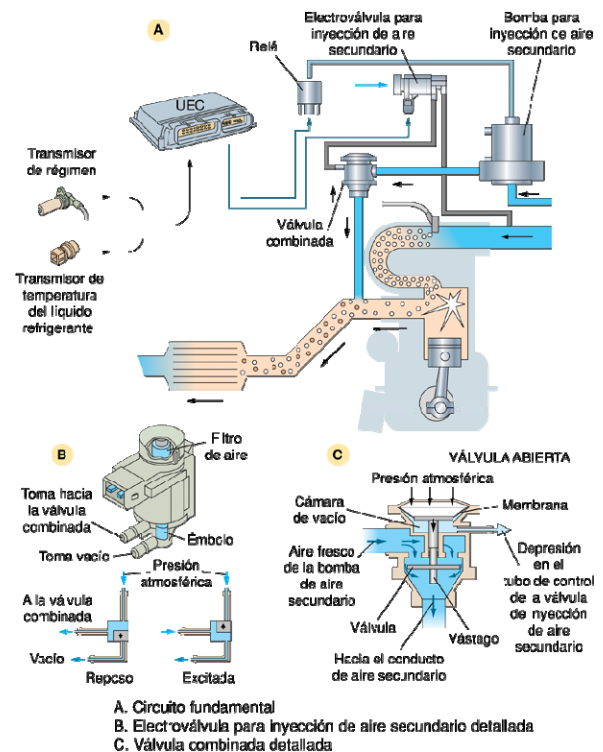


Otros fabricantes optan por válvulas mecánicas accionadas a través de vacío; aquí, la UCE comanda a través de impulsos RCO a una electroválvula que unida a una bomba de vacío, lo transmite a la EGR para regular su acción.

En algunos casos se dispone de enfriador para minimizar la entrada de gases calientes al colector de admisión.

INYECCIÓN DE AIRE SECUNDARIO. Es otro de los sistemas anticontaminación, en esencia, se trata de realizar una recombustión de los gases no quemados en la cámara, especialmente mientras el motor aún está frío y la mezcla es rica. Con este fin se inyecta aire fresco en el colector de escape para favorecer la oxidación de los hidrocarburos no quemados y del monóxido de carbono, lo que en sí mismo reduce la contaminación pero además tiene otro efecto beneficioso, pues al producirse esta post-combustión a la salida de las válvulas de escape y antes del catalizador, acelera su calentamiento, con lo que en menos tiempo actúa a pleno rendimiento. Se inició la aplicación en EE. UU. hace bastantes años pero recupera su importancia actual al aparecer normas muy restrictivas incluso para la fase de calentamiento del motor.

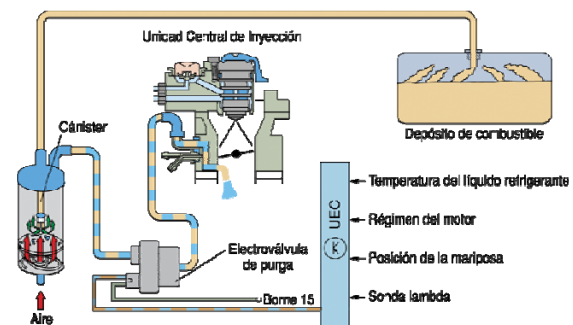
Dejando a un lado los sistemas antiguos que funcionaban a través de válvulas mecánicas accionadas por las propias pulsaciones de los gases de escape (PAIR o “Pulsed Secondary Air Injection”), centraremos la explicación en un moderno sistema de control a través de la UCE del motor, a la que resulta básico conocer entre otros datos, la temperatura del motor y el régimen. El aire necesario es generado por una bomba eléctrica que lo envía a una válvula combinada activada por la electroválvula de aire secundario. Con el motor por debajo de 30-40° C (frío), la UCE activa el relé que pone en funcionamiento la bomba de aire; por otro lado, activa a la electroválvula para permitir paso de depresión del colector de admisión a la válvula combinada; así, al desplazarse la membrana tira del vástago de esta y abre paso al aire secundario hasta el colector de escape. Cuando el



motor supera la temperatura citada, la UCE desactiva al relé de bomba y a la electroválvula, en cuyo caso, la válvula combinada sólo queda sometida a la presión de los gases de escape, que la mantienen cerrada.

CONTROL DE LAS EMISIONES POR EVAPORACIÓN. Hasta aquí hemos visto dispositivos capaces de eliminar emisiones de escape, pero otra fuente ya citada es la procedente de la evaporación de gasolina. Para cumplir los límites legales en emisión de hidrocarburos, los vehículos están equipados con depósito de combustible estanco y un sistema capaz de evitar que la evaporación llegue a la atmósfera; para ello se dispone de un depósito de carbón activo (“canister”) cuyos gránulos tienen la propiedad de absorber el combustible contenido en el vapor. El canister se une al depósito de combustible cuyos vapores penetran en la masa activa (el tubo de llegada está inmerso en el carbón). La otra toma superior se comunica con el colector de admisión a través de la electroválvula de purga accionada por la UCE a través de impulsos RCO. La parte inferior se comunica con la atmósfera.

Con el motor parado, los vapores pasan al canister donde es retenido el combustible. Con el motor funcionando y dependiendo de la estrategia de la UCE, mientras esta no active a la electroválvula, se sigue absorbiendo combustible. Para evitar que el filtro de carbón se sature, se produce la señal de la UCE y la electroválvula pone en comunicación el canister con el colector, la depresión en este, absorbe aire desde la comunicación a la atmósfera en el filtro de carbón; al pasar a través del carbón activo, arrastra hacia el motor la gasolina que tiene impregnada, con lo cual se producen dos efectos: aprovechar la gasolina y regenerar el filtro de carbón. El caudal de regeneración es elegido por la UCE en función de las condiciones de funcionamiento del motor.



EL CASO DE LA INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA. El objetivo prioritario que se plantea a los diseñadores de motores, es reducir el consumo de combustible y paralelamente las emisiones de escape, manteniendo un buen nivel de potencia y par motor. Dado que los sistemas de inyección indirecta (en el colector) van

agotando sus posibilidades de mejora, en los últimos años se opta por el desarrollo de la inyección directa que consigue valores de reducción importantes (en torno a un 15%) de consumo y contaminación. Cada vez nos resultan más familiares siglas como FSI, JTS, CGI, etc. que identifican a estas motorizaciones. Para lograr estas mejoras, pueden trabajar en dos modos de funcionamiento:

- Carga estratificada. Fase de trabajo con mezcla muy pobre a base de crear una zona de mezcla rica alrededor de la bujía que, con su inflamación propaga la combustión a las zonas circundantes con mezcla más pobre. El factor lambda puede fluctuar entre 1,5 y 3. Es una fase de funcionamiento económico y débil régimen (desde ralentí hasta 3500 r.p.m. aprox.).
- Modo con mezcla homogénea. Es comparable al de la inyección indirecta. Corresponde a fases donde se quiere obtener máximo rendimiento y aquí la mezcla se enriquece hasta valores $\lambda=1$ incluso para fases de potencia, $\lambda<1$.

El nuevo concepto de motor, necesariamente acarrea cambios en el tratamiento de los gases de escape, pues los óxidos de nitrógeno (NOx) que se generan al funcionar con exceso de aire, no pueden ser transformados suficientemente en nitrógeno con el catalizador de tres vías convencional. Fue necesario desarrollar el catalizador acumulador de NOx para poder cumplir la norma Euro 4 también en carga estratificada. Para ello, el convertidor catalítico se estructura de modo similar al de tres vías, pero al recubrimiento de platino, paladio y rodio, añade ciertos materiales acumuladores, principalmente óxidos de bario aunque también pueden ser de potasio, calcio, estroncio, circonio o lantano. Durante el funcionamiento en carga estratificada los NOx se transforman en nitratos que irá acumulando el catalizador; cuando está saturado, la UCE del motor provoca que éste funcione con mezcla rica ($\lambda<0,8$) durante breves segundos para que los nitratos se conviertan en nitrógeno al aumentar los hidrocarburos. Eliminados los nitratos, el motor puede seguir funcionando en mezcla pobre, repitiéndose continuamente el proceso citado.

La capacidad de acumulación de NOx alcanza su máximo entre 300 y 400°C bastante más bajo que el de tres vías; por ello se aleja más del motor el catalizador acumulador y se antepone a él un catalizador de previo de tres vías cerca del motor. La regulación se consigue mediante sonda lambda de dos puntos o de banda ancha antes del catalizador previo y sonda con sensor de NOx integrado después del acumulador de NOx que permite identificar el fin de la fase de desacumulación. Hay que añadir que el

contenido de azufre en la gasolina es perjudicial para el acumulador ya que reacciona con el óxido de bario formando sulfato que para ser eliminado precisa una estrategia de la UCE que caliente el catalizador entre 600 y 650° C.

SISTEMA EOBD. La aparición de la normativa OBD en EE. UU. Supuso un paso más en la lucha contra la contaminación al incorporar un sistema de diagnóstico integrado en la gestión del motor, que vigila continuamente los componentes que intervienen en las emisiones de escape; si surge cualquier fallo, el sistema lo detecta, memoriza y visualiza a través de un testigo de aviso MIL (Malfunction Indicator Light). El OBD II supuso una versión más desarrollada.

La Unión Europea con la regulación Euro 3 implantó una versión europea EOBD (European On Board Diagnostic) que difiere muy poco de la OBD II. La aplicación entró en vigor para motores de gasolina en 2.001 (nuevas matriculaciones) y se hizo extensible a los Diesel desde enero de 2.003. El sistema vigila el funcionamiento de sensores y actuadores para avisar de posibles averías. El testigo MIL debe informar al conductor cuando la UCE reconoce una avería, antes del 10º ciclo de conducción (puesta en marcha, calentamiento, conducción y parada) en el que se localiza aquella. Si el fallo es de encendido que pueda provocar daños en el catalizador, el testigo luce intermitentemente y puede pasar a modo normal si cesa el fallo. Si este persiste, la UCE desactiva el inyector del cilindro afectado. En otros casos, el testigo MIL se desactiva si tras tres ciclos de conducción consecutivos se deja de detectar la anomalía. El sistema borrará el código de avería almacenado si no se registra el mismo código en 40 ciclos de calentamiento del motor como mínimo; por otro lado, ha de poder diagnosticar:

- Catalizador. La UCE compara las tensiones de las sondas lambda anterior y posterior para detectar el rendimiento del convertidor.
- Sonda lambda. Si está envejecida, aumentará el tiempo de reacción (periodo). En la sonda posterior controla sus señales en aceleración y deceleración; en el primer caso debe subir la tensión, en el segundo, bajar; si no reacciona según lo esperado, graba la avería.
- Sistema antievaporación. Cuando la UCE provoca la purga del canister, la mezcla se enriquece y viceversa; registrado por la sonda antes del catalizador, confirma el funcionamiento del sistema.

- Fallos de encendido. Se detectan a través del captador de régimen al observar irregularidades de revoluciones; combinando estas con la señal del captador de fase del árbol de levas, la UCE reconoce al cilindro afectado.
- Sistema EGR. El captador de presión de admisión ha de detectar un aumento de la presión durante la recirculación; si no, se graba la avería.
- Sistema de aire secundario. Funciona en fase de calentamiento y a pesar de que la UCE esté dosificando mezcla rica, la sonda lambda antes del catalizador ha de indicar mezcla pobre, síntoma de que el suplemento de aire se está produciendo; si no es así, hay avería.

Otro aspecto controlado por la norma es el de adaptación de herramientas para diagnóstico de averías; se exige un interfaz (conector de 16 pins) estandarizado y de fácil acceso para conectar un instrumento normalizado y acceder al código de avería almacenado. El código es alfanumérico de cinco caracteres.

7.- DISPOSITIVOS ANTICONTAMINANTES EN MOTORES DIESEL

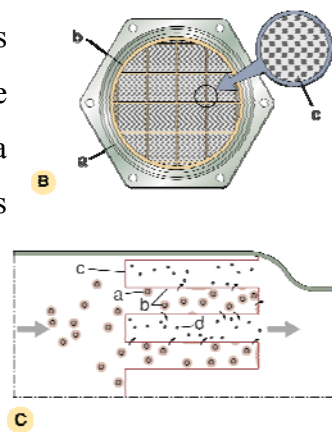
Hemos visto anteriormente que este tipo de motor emite menos contaminantes gaseosos, sin embargo, la emisión de partículas sólidas es mayor; estas se originan como consecuencia de que en algunas zonas de la cámara de combustión no hay suficiente oxígeno, produciendo combustión incompleta y aparición de partículas microscópicas de carbono a cuyo núcleo se adhieren hidrocarburos y sulfatos por la presencia de azufre el gasoil. Estas partículas pueden ser inhaladas durante la respiración, de ahí su peligro.

Además de medidas en el motor tendentes a conseguir gases más limpios (cámaras de combustión más optimizadas, inyección a muy alta presión, etc.), se hace necesario el **tratamiento posterior de los gases de escape**. En este sentido, la contaminación gaseosa (CO y HC) y la parte soluble que se adhiere al núcleo de carbono (HC y sulfatos), se eliminan en el catalizador; las partículas necesitan filtros para su retención. Veamos algunas de las soluciones adoptadas:

CATALIZADOR DE OXIDACIÓN. Para los motores Diesel no es posible el uso del catalizador de tres vías pues el exceso de aire que se necesita origina una mayor concentración de oxígeno que imposibilita la reducción de los óxidos de nitrógeno por carecer de suficiente temperatura los gases; por tanto los NOx han de ser eliminados mediante la EGR. La configuración y disposición del catalizador de dos vías es similar al de tres; aquí, los HC y CO se transforman en vapor de agua y anhídrido carbónico.

REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA (procedimiento SRC). Combina en un mismo grupo un catalizador de reducción de NOx al que accede una solución acuosa de urea bien dosificada, para pasar a continuación al catalizador de oxidación donde se eliminan CO y HC. Este sistema lo tratamos después para el caso de motores de grandes cilindradas.

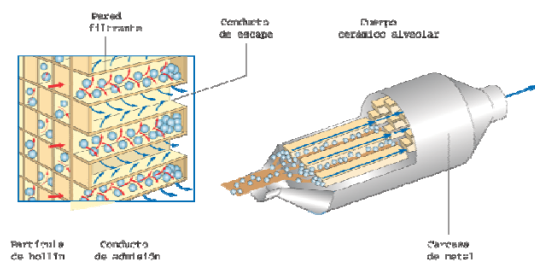
FILTRO DE PARTÍCULAS. Necesario tras la entrada en vigor de la norma Euro 4 que restringe aún más la emisión de partículas de hollín. La solución adoptada es la instalación en la línea de escape de un filtro (“trampa”) que las retiene, evitando su emisión. Está constituido por un cuerpo metálico dentro del cual se instala un monolito cerámico con múltiples canales paralelos pero cerrados alternadamente; así, el gas de escape que entra por un canal abierto pasa a través de la cerámica porosa hacia los canales vecinos abiertos a la salida; las partículas de hollín quedan retenidas en las celdas cerradas pero plantean un problema añadido pues han de ser eliminadas si se quiere evitar la obturación. Para ello han de ser quemadas a temperaturas que superen los 550°C que sólo se consiguen a plena carga. Para asegurar la regeneración en todas las condiciones, algunos fabricantes optan por rebajar la temperatura de ignición del hollín a base de agregar un aditivo (“cerina” u óxido de cerio) al combustible, para que se produzca en torno a los 450°C.



Para conseguir el efecto, se dispone de un pequeño depósito de aditivo con una bomba sumergida que controlada por el calculador de aditivación comunicado con la UCE del motor, envía líquido al inyector de aditivo en el depósito de carburante. La

cantidad inyectada depende de la variación de nivel en el repostaje. La regeneración del filtro puede producirse de forma espontánea al alcanzar los 450°C o bien de modo forzado si eso no ocurre; en este caso, la UCE del motor gestiona el proceso teniendo en cuenta el grado de obturación del filtro a través de un captador de presión diferencial entre su entrada y salida y de sendos captadores de temperatura en las mismas zonas. Provoca así varias actuaciones para subir la temperatura de los gases de escape: desactiva la EGR, realiza una post-inyección de combustible, acciona consumidores eléctricos (electroventilador, bujías de incandescencia, etc.) hasta conseguir la temperatura suficiente para quemar las partículas.

Otros fabricantes optan por el uso de filtros de partículas sin aditivo, para lo cual lo acercan más al motor para conseguir alta temperatura y combinan en el mismo monolito, filtro y catalizador de oxidación a base de recubrir la cerámica con una combinación de óxido de aluminio y óxido de cerio que sirve de sustrato al recubrimiento de platino para producir la catálisis. Con la misma disposición de celdas que la ya citada, las partículas sólidas quedan retenidas y el CO y HC se recombinan en presencia del platino para emitir vapor de agua y CO₂. La regeneración del filtro puede producirse de forma espontánea al circular con cargas elevadas o de forma forzada en otras condiciones; en este caso es la UCE la que de modo similar al citado en el otro tipo, gobierna el proceso.



EGR. El sistema de recirculación de gases de escape encuentra su principal aplicación en los motores Diesel, allí donde por exceso de aire, la cantidad de oxígeno presente incrementa la producción de NO_x que no puede reducirse en el catalizador de oxidación. Por lo demás, el sistema es el mismo que para los motores de gasolina.

EOBD. Los objetivos son los mismos que en el motor de gasolina pero los componentes a vigilar se diferencian en función del distinto concepto del motor. A modo de ejemplo indicamos algunos de los procedimientos de control que se siguen para el caso de gestión a través de bomba inyectora de alta presión:

- Regulación del comienzo de inyección. La UCE compara la señal del sensor de recorrido de aguja del inyector con los valores memorizados para cada situación de marcha.
- Recirculación de gases de escape. Comprueba el funcionamiento con ayuda del medidor de masa de aire, basándose en la particularidad de que durante recirculación, el flujo de aire atmosférico debe ser menor que cuando la EGR está desactivada.
- Fallos de combustión. Al detectar irregularidades en el régimen, que se comparan con la señal del captador de aguja para permitir identificar al cilindro afectado. Si fuera en un sistema de raíl común, esta información es aportada por el captador de fase en el árbol de levas.
- Regulación de la presión de sobrealimentación. La UCE compara la señal del sensor de presión en la admisión con los valores teóricos memorizados; se comprueba así la función de apertura y cierre de la electroválvula reguladora de presión así como la plausibilidad de las señales del sensor.

LOS DIESEL DE GRANDES CILINDRADAS. Las cada vez más restrictivas normas de la Unión Europea, afectan a todos los vehículos y si cabe, en mayor medida a los grandes motores Diesel para camiones, que con el fin de cumplir la norma Euro 5 aplicable para nuevas matriculaciones a partir de 2.009, han optado por dos soluciones: EGR o SRC (tratamiento con catalizador aditivado). Casi todos los fabricantes tienen ya en el mercado estos vehículos pues algunos países centroeuropeos benefician con peajes más baratos a los camiones Euro 5. El EGR es el ya explicado; en cuanto al SRC (reducción catalítica selectiva) es la opción mayoritaria usada por los fabricantes de vehículos industriales para cumplir las normas Euro 4 y Euro 5; su principio de funcionamiento, apuntado más atrás, consiste en añadir a los gases de escape en el catalizador un aditivo (AdBlue) compuesto por una disolución de urea en agua, que reaccionando con los gases, actúa eliminando los NOx. La combinación con el catalizador de oxidación elimina HC y CO para dar como resultado emisiones de vapor de agua, nitrógeno y CO₂. En cuanto a pros y contras de ambos sistemas, el SRC precisa aditivo consumible, pero sus defensores argumentan mayor fiabilidad y menor consumo, amén de facilitar seguir cumpliendo con futuras normas más exigentes. Respecto al EGR, no precisa mantenimiento pero el motor requiere mayor refrigeración.

8.- DIAGNOSIS ANTICONTAMINACIÓN

Todas las normas de lucha contra la contaminación y los sistemas para que se cumplan, quedarían sin validez si alguno de los componentes se avería; por ello, la diagnosis supone una de las tareas más importantes en el taller electromecánico. Señalamos a modo de ejemplo algunos de los controles anticontaminación.

MOTOR DE GASOLINA:

- Catalizador. Con el motor y catalizador calientes se comprueba mediante analizador de gases que los distintos contaminantes estén dentro de los márgenes establecidos y el factor lambda muy próximo a uno. Otra prueba aclaratoria se basa en medir la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del convertidor catalítico.





- Sonda lambda. Comprobando con osciloscopio conectado entre el cable de señal (negro) y masa, que el oscilograma corresponde en valor de tensión y número de oscilaciones con lo estipulado. Procede también comprobar con multímetro el valor de la resistencia calefactora y su alimentación. Con ella desmontada, se puede comprobar midiendo la tensión generada al acercar y alejar una llama de gas.




- Canister. Verificando la hermeticidad de conducciones y depósito de carbón activo. Eléctricamente se comprueba con osciloscopio la señal RCO de activación por masa de la electroválvula de purga.



MOTOR DIESEL:

- Válvula EGR. En caso de ser neumática se comprueba la hermeticidad de la membrana y el desplazamiento del pistón. La EGR eléctrica precisa comprobación de tensión de alimentación, resistencia y con osciloscopio, la señal RCO de activación por la UCE. En cuanto al sensor de posición, se miden su alimentación y tensión de retorno a la UCE.
- Opacidad. Para comprobar la emisión de humos a través de la medición del coeficiente de absorción luminosa. Al realizar pruebas al corte de inyección, prestar especial atención al nivel de aceite, temperatura del motor y ruidos previos que puedan indicar avería (distribución, etc.).

	VALOR ACTUAL	VALOR PREVIO
RPM	4970	4970
OPAC	34.7	34.7
OPALON	0.99	0.99
CA	---	85
- Lectura de códigos de avería EOBD. Para detectar las averías memorizadas, proceder a su borrado y nueva comprobación tras un ciclo de conducción de prueba; en caso de persistir, se procede a la reparación. De modo similar se realizaría en motores de gasolina.

Presentamos a continuación un ejemplo de ficha de recogida de datos que nos permite obtener las conclusiones pertinentes para reparar las anomalías observadas.

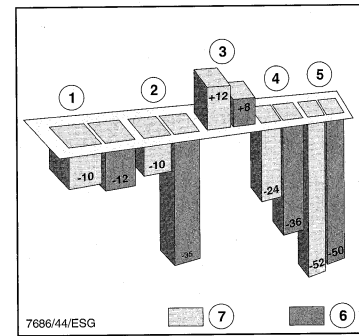
Verificación	Lectura	Tolerancia	Conclusión
λ CO Análisis de gases HC con catalizador CO ₂ O ₂		0,99-1,01 Menor de 0,1% Menor 20 PPM 15-17% Menor de 0,2%	
Diferencia de tª entre entrada y salida del catalizador		Aprox. 50° C.	
Válvula EGR: Depósitos de carbonilla Hermeticidad de la membrana y deslizam. del pistón Resistencia Electrov. Alimentac. reguladora Señal de mando Oscilograma de señal de mando (5v/d—2ms/d)		8±0,5 Ω V. batería Dwell variable R.C.O. variable	
Canister Hermeticidad Oscilograma señal mando		R.C.O. variable	

9.- COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

Como se ha visto hasta ahora, el uso masivo de combustibles fósiles es causa de una gran parte de la contaminación atmosférica y de la emisión de CO₂; además, la disponibilidad limitada de las reservas petrolíferas, sitúa en jaque a la economía internacional en momentos que como el presente, sufren fuertes subidas del crudo. Estas razones están en la base de la investigación y producción de motores que funcionan con combustibles distintos al gasoil o a la gasolina. No podemos por tanto dejar de referirnos brevemente a estos combustibles; citamos los siguientes:

- **GLP** (Gas Licuado de Petróleo). Mezcla de propano y butano almacenado a presión y licuado, adaptable al funcionamiento de motores de ciclo Otto, que pueden así funcionar con ambos combustibles. Para su aplicación, el líquido se conduce hasta un evaporador donde pasa a fase gaseosa al disminuir la presión y donde después se mantiene en ese estado, al ser calentado por el líquido de refrigeración. El gas aspirado por el motor pasa a través de la unidad de mezcla en el colector de admisión, para ser dosificado con el aire, desde donde pasará al interior del cilindro para que tenga lugar la combustión.
- **CNG** (Gas Natural Comprimido). Utiliza el gas natural (principalmente metano comprimido) cuyas reservas son menos aprovechadas que el petróleo. En cuanto a la instalación para el funcionamiento del motor, se diferencia muy poco del GLP y las emisiones son como en ese caso, más limpias que las de la gasolina. También se admite un funcionamiento bivalente gasolina/CNG.
- **BIODIESEL**. Es un combustible alternativo al gasoil, de hecho, aunque por razones bien distintas, su uso supone un retorno al motor diseñado por Rudolf Diesel, cuya primera exhibición se llevo a cabo en 1.895 con aceite de cacahuete. El biodiesel se obtiene a partir de aceites vegetales (colza, soja, palma, etc.) que para su aplicación necesita romper la estructura molecular y sustituir la glicerina por alcohol para disminuir la viscosidad. No emplea derivados del azufre, tiene más número de cetano, es más lubricante y proporciona una combustión más limpia con rebajas muy

importantes de CO, HC, partículas y hollín; en cuanto a CO₂, implica una emisión neta nula pues el que se emite a la atmósfera es el mismo que absorbió la planta oleaginosa al crecer. Emite aproximadamente un 10% más de NO_x. Otra forma de producir este combustible, es a partir de los aceites domésticos usados, que de lo contrario supondría más contaminación para su eliminación en depuradoras (en la planta que la empresa BioNorte posee en Asturias se están produciendo 5.000 toneladas anuales). Para su uso comercial, el biodiesel se vende en España mezclado con gasoil en proporciones que varían entre un 5 y un 15% del nuevo combustible; en otros países la proporción aumenta; en EE. UU. el 20%, en Francia entre un 5 y 30% hasta llegar a Alemania y Austria donde puede ser 100% biodiesel.



- **BIOETANOL.** Es la alternativa vegetal a la gasolina; está muy extendido en países como Brasil. Además, el etanol (alcohol etílico) puede ser usado como aditivo para gasolinas. Se obtiene a partir de biomasa (residuos forestales) o de plantas (maíz, trigo, cebada, etc.) y se comercializa mezclado con gasolina (por ejemplo, en Suecia, el E85 es 85% etanol y 15% gasolina). Se puede usar de modo bivalente; así, Saab dispone de modelos Bio Power con notable aumento de potencia y rebaja de emisiones en funcionamiento con etanol.
- **PILA DE COMBUSTIBLE O MOTOR DE HIDRÓGENO.** Produce energía a partir de la reacción química del hidrógeno y el oxígeno que sólo emite vapor de agua y escasos NO_x, eliminados después. Un problema básico es el almacenamiento del hidrógeno por su facilidad para explotar.
- **ELECTRICIDAD.** A través de baterías recargables (la más usada es la de litio) para accionar a los motores eléctricos.
- **ENERGÍAS HÍBRIDAS.** Para vehículos que combinan la energía térmica de motores de combustión con la eléctrica (electromotor). Durante la fase

térmica se recargan las baterías; en algunos casos disponen frenos regenerativos que transforman la energía cinética en energía eléctrica.

Como colofón, decir, que si bien todos los sistemas citados suponen ventajas en cuanto a emisiones, de momento y exceptuando en parte al gas y a los biocombustibles, el resto, presentan soluciones más caras y peor infraestructura para el repostaje.

10.- FUENTES Y BIBLIOGRAFÍA

- 1 PARDIÑAS ALVITE, J. *Sistemas auxiliares del motor*. Editorial Editex.
- 2 ALONSO, J. M. *Inyección de gasolina y sistemas anticontaminación*. Editorial Paraninfo.
- 3 ALONSO, J. M. *Sistemas de inyección de combustible en motores Diesel*. Editorial Paraninfo.
- 4 *Manual de la técnica del automóvil* Bosch. Editorial Reverté.
- 5 Cuadernos de instrucción técnica Bosch: “*Técnica de inyección Diesel como visión de conjunto*”, “*Técnicas de gases de escape para motores de gasolina*”.
- 6 Cuadernos Mercedes-Benz: “*Descripción del sistema inyección directa de gasolina-MED 9.7*”, “*La técnica del automóvil al alcance de todos*”.
- 7 Programas autodidácticos Volkswagen: “*Sistema de filtración de partículas con aditivo*”, “*EOBD*”.
- 8 Artículos Revista técnica Centro Zaragoza: “*Sonda lambda*”, “*Toyota Prius híbrido*” (julio-septiembre 2.006), “*Saab y etanol*” (octubre-diciembre 2.006).
- 9 Artículos Revista Nuestros Talleres: “*Dispositivos antipartículas*” (I, II y III).
- 10 Artículos Revista ElectroCar: “*FAP sin secretos*” (oct.2.000), “*El motor de combustión interna*” (mayo –junio 2.000), “*Opel apuesta por el gas natural*” (octubre 2.007), “*Las dos caras del Euro 5*” (noviembre 2.007).
- 11 Fichas técnicas de reparación Cesvimap “*Verificación lambda*” (oct. 2.003).
- 12 Programa Evolucion. Formación para el futuro. Grupo Fiat 2.007.
- 13 Información para técnicos Ford: “*Emisiones de ruido y escape*”.
- 14 Ponencia “*Biodiesel ECO15*”.Empresa BioNorte. Noreña (Asturias) 2.007.
- 15 Cuadernos de formación Berton.
- 16 Programa Eina de formación en nuevas tecnologías.