

TEMA

37

**Sobrealimentación y
anticontaminación
en los motores:
características, constitución,
funcionamiento y reparación**



ÍNDICE SISTEMÁTICO

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. SOBREALIMENTACIÓN EN LOS MOTORES**
 - 2.1. Constitución y funcionamiento
 - 2.1.1. Compresores volumétricos
 - 2.1.2. Compresores centrífugos
 - 2.2. Características
 - 2.3. Reparación
- 3. ANTICONTAMINACIÓN EN LOS MOTORES DE GASOLINA**
 - 3.1. Control anticontaminación de los gases del cárter
 - 3.2. Control anticontaminación de los gases del escape
 - 3.2.1. Contaminantes
 - 3.2.2. Procedimientos de anticontaminación por modificaciones en el motor
 - 3.2.3. Procedimientos de anticontaminación por tratamiento de los gases de escape
 - 3.3. Control anticontaminación de los vapores del combustible
 - 3.4. Reparación
 - 3.4.1. Reparación del sistema EGR
 - 3.4.2. Reparación del catalizador
- 4. ANTICONTAMINACIÓN EN LOS MOTORES DIESEL**
 - 4.1. Contaminantes
 - 4.2. Procedimientos anticontaminación por modificaciones en el motor
 - 4.3. Procedimientos anticontaminación por tratamiento de los gases de escape
 - 4.3.1. Depuración catalítica
 - 4.3.2. Utilización de mezclas pobres (recirculación de gases de escape)

BIBLIOGRAFÍA

El autor agradece a Robert Bosch España S.A. y a Einsa Multimedia la cesión de diversas imágenes, dibujos y esquemas que ilustran las páginas de este tema.

1. INTRODUCCIÓN

Los motores térmicos son convertidores de energía química en energía mecánica, como medio para desarrollar un trabajo. Por ello, podríamos decir que existe una cuestión fundamental que debe ser resuelta: conseguir que el quemado de la mezcla en el interior de la cámara de combustión sea lo más completo y favorable posible. Ello obliga a cumplir con tres condicionantes, los cuales dan lugar a tres sistemas fundamentales en un motor: el sistema de combustión, el de alimentación y el de sobrealimentación. Dichos condicionantes son:

- **Conseguir que la mezcla del combustible con el comburente sea lo más homogénea posible:** esto es resuelto por el sistema de combustión.
- **Tener capacidad de adaptación a distintos regímenes de funcionamiento:** lo soluciona el sistema de alimentación.
- **Incrementar la potencia mediante un aumento del volumen de mezcla admitido, independiente de la presión atmosférica:** se encarga el sistema de sobrealimentación.

Las exigentes normativas anticontaminación han dado lugar, especialmente estos últimos años, al desarrollo de un sistema capaz de controlar las emisiones en los motores de manera que cumpla con aquéllas.

También debemos tener presente que lo que pretende un motor térmico es mezclar combustible con aire, de manera que la combustión de la mezcla sea lo más perfecta posible. Es conveniente recordar tres aspectos a tener en cuenta:

- La gasolina es un líquido menos pesado que el agua, de un peso específico de 0,75 kg/l, con un alto poder calorífico (10.500 kcal/Kg). El rendimiento obtenido en el motor por su combustión no supera el 27% del contenido en la gasolina.
- El aire está compuesto por un 21% de oxígeno y un 78% de nitrógeno, con un peso variable según la temperatura, la presión absoluta y la presencia de humos y polvos.
- La formación de la mezcla debe buscar una proporción de aire/gasolina adecuada (mezcla estequiométrica de 1/15 en peso y 1/10.000 en volumen).
- A mayor atomización de la gasolina, mejor combustión.

En el caso particular de los Diesel, debemos añadir a lo anterior:

- El gasoil es un líquido más pesado que la gasolina, pero menos que el agua, de un peso específico de 0,85 kg/l, con un poder calorífico similar al de la gasolina (10.500 kcal/Kg). El rendimiento obtenido en el motor por su combustión no supera el 27% del teórico.

- Los motores Diesel trabajan con exceso de aire y proporciones de mezcla muy variables (por ejemplo, al ralenti la proporción de aire es mayor que a plena carga). Por ello, en estos motores no se utilizan mezclas ricas ni pobres, se le da al combustible todo el aire necesario para que se pueda quemar en su totalidad.
- A mejor pulverización del gasóleo, mejor combustión.

2. SOBREALIMENTACIÓN EN LOS MOTORES

Los sistemas de sobrealimentación son similares en los motores Otto y Diesel. La descripción del sistema, por ello, es válida para ambos tipos, si bien los Diesel tienen unas particularidades que serán tratadas al final del apartado.

La sobrealimentación de los motores busca incrementar la potencia mediante el aumento del volumen de mezcla admitida. Esto conlleva favorecer la aspiración (elevar la sección de válvulas y colectores o el número de éstas) o sobrealimentar con compresor. Como consecuencia, en los motores sobrealimentados disminuye un poco el rendimiento térmico, pero se evacuan mejor los gases quemados aumentando, por tanto, el rendimiento volumétrico. También se hace necesario bajar la relación de compresión para evitar la detonación causada por las elevadas presiones que reinarían en la cámara de combustión.

2.1. Constitución y funcionamiento

Básicamente, la sobrealimentación se puede realizar de dos formas, en función del tipo de compresor utilizado.

2.1.1. Compresores volumétricos

En algún tipo de vehículos, muy pocos, se usaron compresores de aire convencionales, fijos, para sobrealimentar el motor. Se trataba de compresores volumétricos que empleaban lóbulos, paletas o pistones para producir las variaciones de volumen. Presentan inconvenientes insalvables para su aplicación en motores de automoción, puesto que sustraen mucha potencia al motor y dan problemas de temperatura y resistencia mecánica a elevados regímenes.

2.1.2. Compresores centrífugos

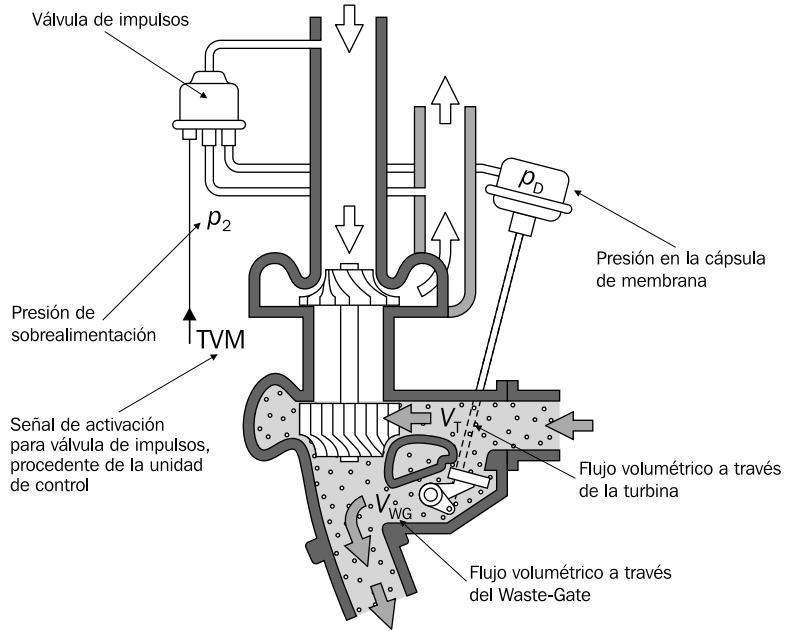
Los compresores centrífugos o turbocompresores aprovechan la energía de los gases de escape para producir una fuerza centrífuga que es empleada para impulsar los gases de admisión. Se trata de un dispositivo más eficaz que los anteriores, ya que sólo resta la potencia correspondiente al ligero aumento de la contrapresión de escape.

Básicamente consta de una turbina que recibe los gases de escape y rota, suministrando la energía que hace comprimir el aire en el compresor; de éste pasa a los cilindros en cantidad y presión proporcional a la velocidad de rotación.

Turbina y compresor se montan en el mismo eje y alojados en una carcasa. La turbina es de flujo axial: recibe gases de escape en su periferia y los expulsa por su centro (los gases describen en su recorrido una figura espacial denominada toroide). El compresor aspira el aire por su centro y lo impulsa por la periferia (compresión centrífuga).

El engrase se consigue con unos taladros practicados en la carcasa del eje (aceite evacua calor de turbina). La hermeticidad entre cojinetes y turbina se logra mediante un segmento de fundición y entre cojinetes y compresor mediante una junta.

Se suele emplazar entre el filtro del aire y el intercambiador (motores diesel o de inyección) y antes del carburador (motores de carburación).



Circuito de aire con turbocompresor.

El turbo tiene dos fases de funcionamiento: atmosférica (turbo gira en un régimen de vigilancia) y sobrealimentada (turbo ha alcanzado el régimen de enganche). Esto quiere decir que el turbo tiene un tiempo de respuesta o tiempo de paso de fase atmosférica a sobrealimentada.

El empleo de sobrealimentación centrífuga presenta una serie de **ventajas**:

- Mayor potencia y par.
- Disminución del ruido producido por la admisión y el escape.
- Aumento del rendimiento volumétrico y reducción de la contaminación.

Pero también tiene unas **exigencias**:

- Necesidad de refrigerar el aire de admisión, lo que obliga al uso de un intercambiador aire/aire o aire/agua (*intercooler*).
- Necesidad de limitar la presión de sobrealimentación. Para ello suele usarse una válvula Waste-gate o de descarga (deriva parte de los gases de escape que llegan a la turbina en función de la presión de sobrealimentación); en los sistemas de inyección electrónica, ésta válvula es controlada por la UEC.

2.2. Características

El hecho de que se admita más aire provoca unos aumentos de temperatura y presión que obliga a realizar determinadas modificaciones.

- **Pistones.** En el fondo, la sobrealimentación lo que logra es quemar más mezcla y, por lo tanto, producir más calor. Como consecuencia los pistones y los cilindros tienen que soportar temperaturas mayores, lo que deben tener en cuenta para su conicidad.

- **Relación de compresión.** Como ya se ha explicado, la RC debe bajar para compensar el aumento de la presión reinante en la cámara. Normalmente lo que se hace es rebajar la altura del pistón.
- **Refrigeración y engrase.** Todo el motor trabaja a alta presión, por lo que los esfuerzos que deben soportar sus componentes son mayores. Lógicamente, el sistema de engrase debe reforzarse (bomba de aceite mayor, filtrado escrupuloso, refrigeración de cojinetes al parar el motor mediante bomba eléctrica o ventilador, aumento de sus superficies de contacto, etc.).

Por otro lado, el motor trabaja a una temperatura mayor y obliga a que la refrigeración del bloque y culata se refuerce (mayor diámetro de orificios y mayor caudal de bomba).

- **Tiempos de distribución de las válvulas.** Se hace necesario incrementar el cruce de válvulas, aumentándose tanto el avance a la apertura de la admisión como el retraso al cierre del escape. En la fabricación se consigue con modificaciones en el perfil de las levas.
- **Otros sistemas.** El turbo precisa otras múltiples adaptaciones de diversa índole, entre las cuales se pueden destacar las siguientes:
 - * La reaspiración de vapores del cárter se hace más delicada porque aumenta la presión en el cárter inferior.
 - * Los sistemas de alimentación y escape tienen que adaptarse al aumento de los caudales a mover: uso obligado de una bomba de gasolina de tipo eléctrico, limpieza escrupulosa del filtro, mayor sección de canalizaciones de escape, etc.
 - * La inyección debe corregir los caudales inyectados en fase sobrealimentada.
 - * El embrague y el cambio de velocidades tienen que responder al aumento de potencia y de par que posee el motor turbo.

En los motores Diesel, además...:

- * La inyección debe corregir los caudales inyectados en fase sobrealimentada (corrector LDA en las bombas rotativas). En algunos casos incluso deben sustituirse los inyectores o la bomba.
- * El arranque en frío debe mejorarse al bajarse la RC: ello implica la utilización de bujías de precalentamiento reforzadas y resistencias adicionales para el calentamiento del aire de admisión.

2.3. Reparación

Las reparaciones y comprobaciones más habituales en los sistemas turbosobrealimentados son:

- **Control de la presión de sobrealimentación:** se coloca un manómetro en paralelo al tubo de salida del compresor hacia la válvula de descarga. La medida obtenida debe ser la estipulada al régimen de referencia (aproximadamente 0,5 bar de sobrepresión a 3.000 rpm).
- **Reglaje de la presión de sobrealimentación:** suele efectuarse en la bieleta de mando de válvula de descarga, cuya longitud es regulable. Con ayuda de un reloj comparador acoplado en el extremo de la misma se puede leer el desplazamiento que realiza para una presión determinada del turbo (medible con el manómetro); si la longitud descrita no coincide con la estipulada, regular la longitud de la bieleta.
- **Verificación individual de componentes:** una vez desmontado se puede comprobar la presencia de grietas, desgastes anormales, deformaciones, etc. Debe tenerse en cuenta

que, si se instala un turbo nuevo, éste debe ir relleno de aceite al introducirlo en el motor, pues si no griparía con las primeras vueltas que efectuase, por falta de presión de aceite.

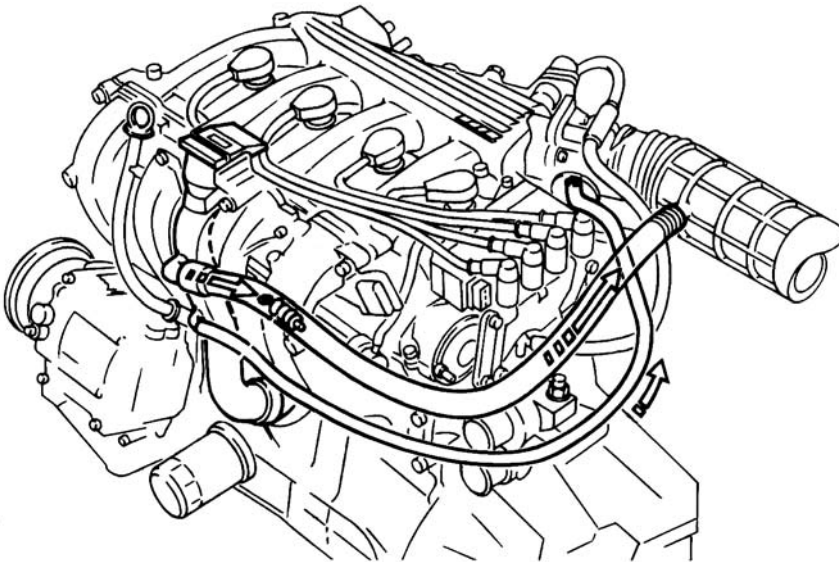
- **Verificación de holguras del eje del turbo:** se coloca un reloj comparador apoyado en el eje a través del orificio de engrase y se comprueba que la holgura radial no supere los 0,15 mm. La holgura axial se puede cotejar con el reloj apoyado en el extremo del eje (inferior a 0,10 mm).

3. ANTICONTAMINACIÓN EN LOS MOTORES DE GASOLINA

La normativa internacional exige reducir la emisión de hidrocarburos no quemados y monóxido de carbono (CO). Dichas emisiones provienen de tres puntos diferentes: gases del cárter, gases de escape y vapores de gasolina.

3.1. Control anticontaminación de los gases del cárter

La contaminación es originada por las fugas de gases de compresión y de combustión hacia el cárter a través de los segmentos. Actualmente estos gases son ventilados de forma cerrada y devueltos de nuevo a los cilindros, sin verterlos al exterior. Esto conlleva, aparte del efecto anti-contaminante, ventajas mecánicas (los vapores de agua aumentan el poder antidetonante, los de aceite lubrican la cabeza del pistón y los de gasolina mejoran la calidad de la mezcla).



Circuito de ventilación de gases del cárter.

Se emplean circuitos de ventilación cerrada: los vapores suben hasta la cámara de balancines de donde son conducidos a un decantador (los vapores de aceite se condensan y vuelven al cárter y los de gasolina se conducen al colector de admisión).

3.2. Control anticontaminación de los gases del escape

3.2.1. Contaminantes

Los contaminantes emitidos por el motor están originados por combustiones incompletas. Se distinguen dos tipos:

- **Principales:** nitrógeno, agua y dióxido de carbono (no nocivos puesto que son los productos normales en una reacción de combustión).
- **Secundarios:** monóxido de carbono o CO (originado por combustiones con poca presencia de comburente), hidrocarburos no quemados o HC (fracción del combustible que no se quema completamente en el proceso de combustión), óxidos de nitrógeno o NOx (producidos por la reacción del nitrógeno y el oxígeno del aire a temperaturas elevadas) y óxidos de azufre o SOx (causados por la reacción del azufre del combustible con el oxígeno del aire a temperaturas elevadas). En todos los casos se trata de sustancias nocivas y por tanto no deseables en el proceso de combustión.

Los factores influyentes en la emisión de contaminantes son múltiples:

- **El régimen:** cuanto mayor sea, mayor es el consumo y, por tanto, las emisiones.
- **La carga:** cuanto mayor sea, mayor será la temperatura de combustión y, por tanto, la emisión de NOx, aunque se reducirá la de CO y HC.
- **El coeficiente lambda:** las mezclas ricas favorecen la emisión de CO, HC y NOx.
- **El avance al encendido:** a mayor avance, menor consumo, pero más emisión de HC y NOx (el CO es independiente de este factor).
- **La relación de compresión:** cuanto mayor sea, mejor es el rendimiento, con lo que baja el consumo, pero aumenta la emisión de NOx.
- **La cámara de combustión:** cuanto más compacta, menos HC se emite.
- **La distribución:** un cruce de válvulas controlado reduce la emisión de HC y NOx.
- **La estratificación de la carga:** reduce la emisión de NOx pero aumenta la de HC, al ser mayor el tamaño de la cámara.

3.2.2. Procedimientos de anticontaminación por modificaciones en el motor

Cualquier sistema que consiga una combustión lo más completa posible, logrará un efecto positivo en cuanto a la contaminación. Aunque sea una redundancia por tratarse de conceptos ya explicados, las modificaciones a realizar en el motor serían las siguientes:

- Empleo de cámaras de combustión compactas con recorridos de llama cortos y bujías dispuestas en el centro.
- Disminución de la RC, compensando el aumento del consumo con una configuración óptima del colector de admisión.

- Empleo de sistemas de estratificación de la carga tales como las cámaras de combustión divididas o la inyección directa.
- Control preciso del encendido.
- Empleo de dobles árboles de levas que permitan gestionar adecuadamente el cruce de válvulas.
- Reducción de la demanda de potencia mediante la optimización de la lubricación, la refrigeración, etc.
- Uso de válvulas deceleradoras en los motores de carburación o del corte de inyección en retención en los motores de inyección.

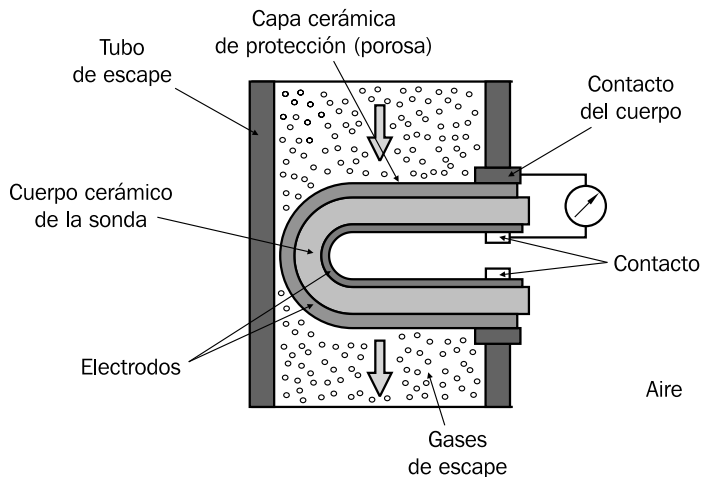
3.2.3. Procedimientos de anticontaminación por tratamiento de los gases de escape

Los medios más empleados son los siguientes:

a) Regulación lambda

Sistema basado en medir los gases quemados y corregir la proporción aire/combustible de la mezcla en función de la proporción de oxígeno presente en ellos con respecto a la teórica. Para ello se emplea una sonda, la sonda lambda, emplazada en el escape. La medición se basa en el principio de “Nernst”, según el cual, si la proporción de oxígeno en aire a ambos lados de un electrodo de platino varía, se genera una tensión en dicho electrodo. Esta tensión toma, en función de la riqueza de mezcla, los siguientes valores:

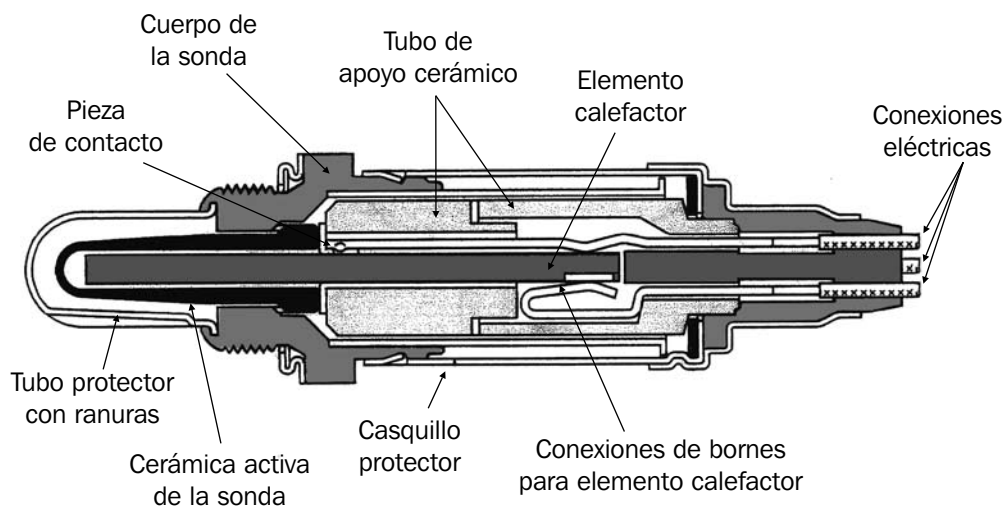
- Para $\lambda < 1$ entre 800 y 1.000 mV.
- Para $\lambda > 1$ aproximadamente 100 mV.
- Para $\lambda = 1$ aproximadamente 450 mV.



Principio de funcionamiento de la sonda lambda.

Esta señal generada por la sonda es enviada a la UEC de la inyección, la cual puede modificar los tiempos de inyección para corregir la riqueza de la mezcla hacia valores más adecuados, puesto que la proporción de oxígeno en los gases de escape es un indicador del nivel de perfección de la combustión y, por tanto, del nivel de emisiones contaminantes.

Las sondas lambda necesitan temperaturas de servicio de aproximadamente 600 °C, por ello se suelen situar en la zona del escape más cercana al motor. A pesar de ello, actualmente suelen ser de tipo calefactado (en el momento del arranque se hace circular una corriente por una resistencia interna con el fin de elevar la temperatura).



Sección de una sonda lambda calefactada.

b) Depuración catalítica

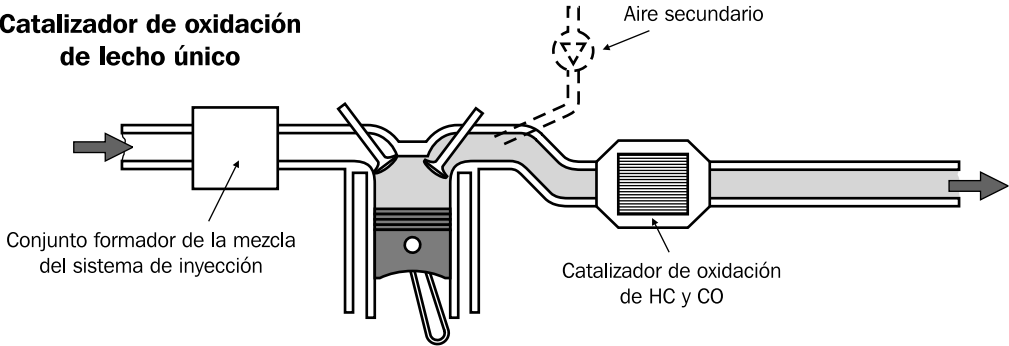
Los catalizadores están constituidos por un bloque cerámico atravesado por multitud de canales microscópicos recubiertos por una fina capa de materiales preciosos (rodio, paladio y platino) que realizan la función catalizadora de las reacciones químicas del tipo reducción/oxidación. Como en el caso de las sondas lambda, tienen una temperatura de servicio elevada (entre 400 y 800 °C). A causa de ello se colocan en las cercanías de los colectores de escape.

Predomina el uso de los siguientes tipos:

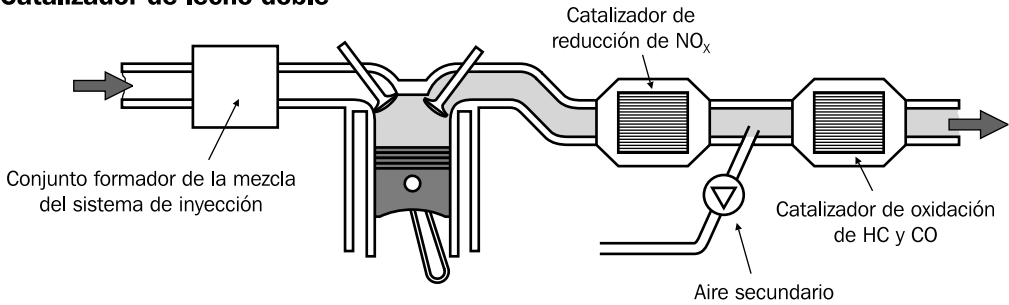
- **Catalizadores de oxidación:** oxida (recombustiona) CO y HC, por lo que debe trabajar con exceso de aire para obtener el oxígeno necesario. Se adapta, pues, a situaciones $\lambda > 1$ (mezclas pobres).
- **Catalizadores de doble lecho o de tres vías con toma de aire:** en el fondo son dos catalizadores en serie: el primero de reducción para tratar el NO_x y el segundo de oxidación para tratar el CO y HC. La necesidad de oxígeno para el segundo paso hace necesaria una toma de aire intermedia, previa a éste.

- **Catalizadores de tres vías:** eliminan simultáneamente CO, HC y NOx. El tratamiento de los tres gases obliga a que trabajen con $\lambda = 1$. Necesitan combinarse con la regulación lambda para garantizar esta proporción en los gases de escape.
- **Catalizadores acumuladores de NOx:** trabajan como un catalizador de oxidación, con $\lambda > 1$, y por reacción química para el paso de los NOx a nitratos, que son almacenados. Este almacenamiento de óxidos de nitrógeno se elimina con unos de periodos (unos segundos) de funcionamiento con $\lambda < 1$. Con ello se consigue el paso de los nitratos a oxígeno y nitrógeno libres.

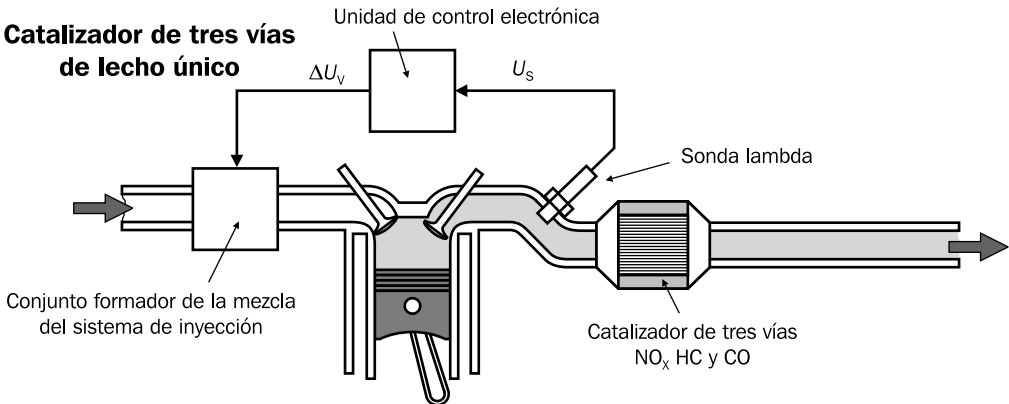
Catalizador de oxidación de lecho único



Catalizador de lecho doble

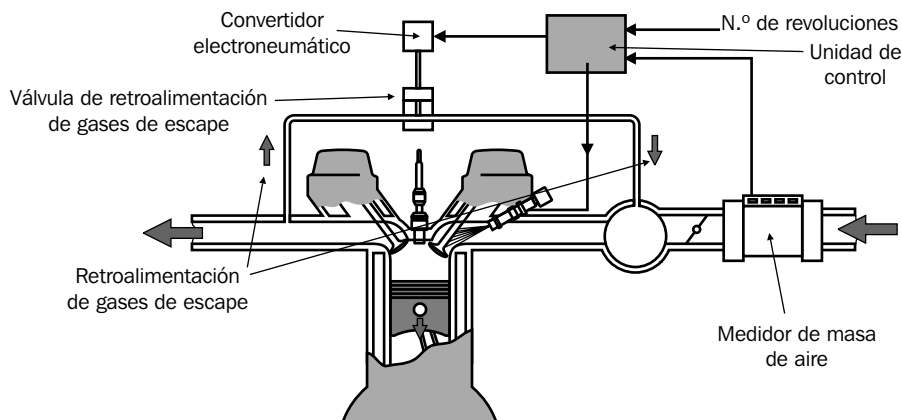


Catalizador de tres vías de lecho único



Esquema de funcionamiento de los tres tipos básicos de depuración catalítica.

c) Utilización de mezclas pobres (recirculación de gases de escape)



Esquema de funcionamiento de un sistema de recirculación de gases de escape.

Este sistema permite la reducción de emisiones de NO_x pero su acción debe completarse con el empleo de un catalizador de oxidación para reducir el CO y los HC. Ha sido más utilizado en motores diesel que en gasolina. El funcionamiento se basa en el uso de mezclas pobres, puesto que éstas disminuyen la velocidad de reacción y por tanto bajan la temperatura en la cámara (debe recordarse que el NO_x se origina por la combustión del nitrógeno del aire a altas temperaturas).

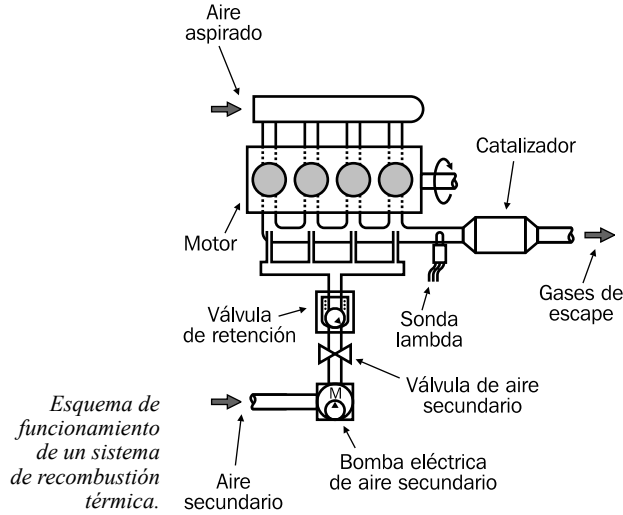
Su ejecución práctica es la válvula de recirculación (EGR). Está constituida por un diafragma accionado por vacío que pone en comunicación escape con admisión en determinadas condiciones. En motores más modernos, el control de la apertura de la EGR lo realiza una electroválvula gobernada por la UEC y la apertura es efectuada por un sistema de depresómetro en colaboración con el depósito de vacío del servofreno. Se emplaza normalmente sobre el colector de admisión. La EGR funciona generalmente en cargas parciales, desactivándose en los casos siguientes:

- Marcha en ralentí.
- Marcha a plena carga.
- Temperatura del motor inferior a 60 °C.
- Temperatura del aire de admisión inferior a 10 °C.
- Diversas condiciones dependiendo del tipo de motor.

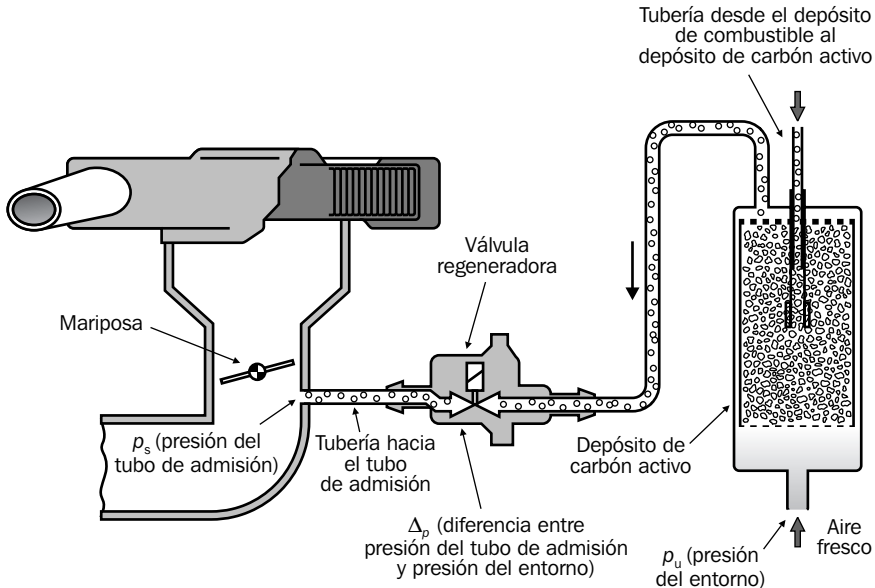
d) Recombustión térmica

Los HC y CO se pueden reducir si se completa su quemado después de la cámara de combustión. Para ello es necesaria la inyección de aire en el escape, empleándose las válvulas pulsair, que obturan o liberan un paso de aire en proximidad de la válvula de escape, en función de las condiciones de funcionamiento del motor (con gestión de la UEC).

Actualmente se utiliza para reducir el CO y el HC en la fase de calentamiento del motor, cuando el catalizador aún no ha alcanzado la temperatura de servicio. Su uso también favorece el trabajo del catalizador, puesto que la temperatura de los gases de escape se ve aumentada por el requemado.



3.3. Control anticontaminación de los vapores del combustible



Esquema de funcionamiento de un sistema de absorción de vapores del combustible.

Actualmente, para evitar el vertido al exterior de gases de combustible, se disponen depósitos sin aireaciones al exterior, sustituyéndolo por un sistema de absorción de dichos gases.

Los vapores originados en el depósito son llevados hasta una caja de expansión donde parte condensan y escurren otra vez al depósito, y parte van al cánister. El cánister es un recipiente