

5° Concurso para Jóvenes Técnicos en Automoción



1° Modalidad en la que participa:

Electromecánica.

2° Letra del equipo:

A.

3° Trabajo realizado:

Dispositivos de anticontaminación empleados en los motores de automóviles.

4° Nombre del Centro Educativo:

Centro de Estudios Santa Maria del Castillo.

5° Nombre y apellidos de los dos alumnos:

Gabriel Muñoz Velasco.

Fernando Ramiro Benítez.

6° Nombre y apellidos del profesor tutor:

Juan Manuel Avedillo Cordero.

ÍNDICE:

• Introducción sobre el calentamiento global en La Tierra.	Pág. 3
• Composición de los gases de escape en los motores térmicos.	Pág. 3
• Estudio de los gases contaminantes.	Pág. 5
○ Monóxido de carbono.	Pág. 5
○ Óxido de nitrógeno.	Pág. 5
○ Hidrocarburos.	Pág. 5
○ Material particulado.	Pág. 6
• Normativa europea de anticontaminación.	Pág. 6
• Técnicas para la reducción de contaminantes.	Pág. 7
○ Sistemas o técnicas mas extendidas actualmente.	Pág. 7
▪ Motores de gasolina.	Pág. 7
• Escapes catalíticos “trifuncionales” (catalizador de tres vías).	Pág. 7
• Sonda lambda.	Pág. 12
• Segunda sonda lambda.	Pág. 14
• Sonda lambda de banda ancha.	Pág. 15
• Reciclado de los motores de gasolina en el depósito (Cánister).	Pág. 17
▪ Motor Diesel.	Pág. 18
• Partículas expulsadas por el motor.	Pág. 18
➤ Fracción sólida.	Pág. 18
➤ Sulfatos.	Pág. 18
➤ Fracción orgánica soluble.	Pág. 19
• Catalizador de oxidación.	Pág. 19
• Recirculación de los gases de escape EGR.	Pág. 19
➤ Tipos de Válvulas EGR.	Pág. 21
→ Neumáticas.	Pág. 21
→ Eléctricas.	Pág. 22
• Filtro antipartículas (FAP)	Pág. 22

➤ Depósito de aditivo.	Pág. 23
➤ Bombas de aditivación de combustible.	Pág. 24
➤ Sonda de nivel mínimo de aditivo.	Pág. 24
➤ Inyector de aditivo.	Pág. 24
➤ Captador de presencia del tapón del depósito.	Pág. 24
➤ Aforador de combustible.	Pág. 25
➤ Válvula de seguridad	Pág. 25
➤ Constitución del filtro de partículas con recubrimiento catalítico.	Pág. 26
➤ Proceso de regeneración pasiva del FAP.	Pág. 26
➤ Proceso de regeneración activa del FAP.	Pág. 27
➤ Estrategia de regeneración.	Pág. 27
• Otros métodos para reducir las emisiones contaminantes.	Pág. 28
• Energías alternativas al combustible tradicional.	Pág. 28
○ Vehículos híbridos.	Pág. 28
○ Vehículos eléctricos de batería.	Pág. 29
▪ Relación con vehículos híbridos.	Pág. 29
○ Biodiésel.	Pág. 29
○ Motor de pila de combustible o motor de hidrógeno.	Pág. 30

INTRODUCCIÓN SOBRE EL CALENTAMIENTO GLOBAL EN LA TIERRA:

Las radiaciones del sol, entran en la tierra en forma de ondas luminosas provocando su calentamiento. Parte de la radiación que es absorbida y que calienta a La Tierra es radiada al espacio en forma de rayos infrarrojos. Alguna de las radiaciones de infrarrojos que salen, se ven atrapadas en la atmósfera, volviendo a La Tierra y eso es positivo, porque mantiene la temperatura de La Tierra dentro de ciertos límites, unos valores soportables y constantes. Esta fina capa de la atmósfera ha aumentado su grosor debido a la contaminación y una mayor parte de infrarrojos queda atrapada aumentando el calentamiento global.

Nota: Cuanto mas dióxido de carbono (CO_2) halla mayor será la temperatura, ya que atrapa en el interior de la atmósfera más calor procedente del sol.

Debido al calentamiento global, la temperatura lleva aumentando aproximadamente desde la década de los noventa; siendo el año 2005 el que registró un mayor calentamiento.

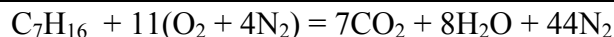
Nota: Los huracanes se forman debido al calentamiento de los océanos.

El calentamiento global crea una mayor evaporación de los océanos alimentando las nubes, pero también absorbe humedad de La Tierra. La evaporación de la misma se incrementa dramáticamente con las altas temperaturas.

COMPOSICIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE EN LOS MOTORES TÉRMICOS:

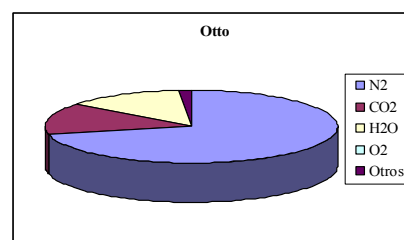
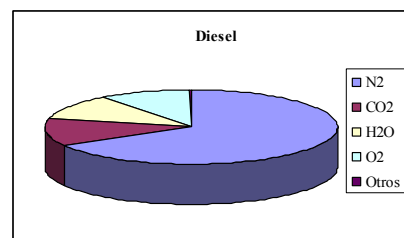
Teóricamente, de la combustión completa de un hidrocarburo no obtendríamos como residuos en el escape más que vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2) y nitrógeno puro (N_2), no tóxicos, aunque sí partícipes del “efecto invernadero”.

Estos serían los productos resultantes de reaccionar la gasolina (una mezcla de compuestos a base de carbono e hidrógeno) con el aire, (compuesto formado por: N = 78%, O = 21%, otros = 1%.)



Desgraciadamente, el motor no es un convertidor perfecto de la energía química del combustible en energía mecánica; el proceso de combustión lleva su tiempo. Las paredes y conductos sufren considerables variaciones de temperatura, la presencia de oxígeno en el aire es minoritaria frente a otros gases y las gasolinas llevan ciertos componentes indeseables (no olvidemos que todo elemento que entra en el motor sale luego a la atmósfera). A pesar de retirar el plomo de los combustibles sigue habiendo impurezas como silicio, fósforo, azufre, etc., que aunque en mínimas concentraciones, pueden atentar contra nuestra salud, bien directamente o dañando los equipos de “limpieza” de gases, por tapar sus centros activos.

Todas las circunstancias mencionadas anteriormente acarrearán una combustión ligeramente fuera de la teoría: si la temperatura de la cámara de combustión es elevada, el nitrógeno y el oxígeno (componentes mayoritarios del aire) reaccionan entre ellos, formando diversos óxidos de nitrógeno nocivos (denominados genéricamente NO_x). Esa parte de oxígeno “atrapado” ya no puede reaccionar, como sería nuestro deseo con la gasolina. Junto con otros factores tanto de diseño como de funcionamiento (mala vaporización o formación de la mezcla, motor frío, etc.), la carencia de oxígeno “reaccionante” trae como consecuencia la expulsión de parte de hidrocarburos sin quemar (HC) y de monóxido de carbono (CO), incapaces de encontrar su segundo átomo de oxígeno para formar CO_2 . Estas tres familias de compuestos, NO_x , HC y CO son los que contempla la legislación para motores de gasolina y Diesel, que deben mantenerse por debajo de unos límites estipulados a nivel europeo.



En el siguiente esquema, podemos observar gráficamente todos los componentes que salen por el escape de un motor térmico, así como la proporción aproximada de cada uno de ellos.

	Diesel	Otto
N ₂	67%	71%
CO ₂	12%	14%
H ₂ O	11%	13%
O ₂	10%	
Otros	0,30%	1,50%

ESTUDIO DE LOS GASES CONTAMINANTES:

MONÓXIDO DE CARBONO:

El monóxido de carbono (CO) es incoloro, inodoro e insípido y por ello muy peligroso. Reduce la capacidad de oxígeno en la sangre, siendo perjudicial para el cerebro. Un 0,30% (en volumen) de monóxido de carbono en el aire es suficiente para ocasionar la muerte en 30 minutos. Por esta razón no se debe tener en marcha el motor en recintos cerrados sin estar conectado el sistema de ventilación.

ÓXIDOS DE NITRÓGENO:

El monóxido de nitrógeno (NO) también es incoloro, inodoro e insípido y en presencia del oxígeno del aire reacciona rápidamente dando dióxido de nitrógeno (NO₂), de color marrón rojizo y olor picante que provoca gran irritación de los órganos respiratorios. En concentraciones altas, el dióxido de nitrógeno es también nocivo para la salud, pues destruye el tejido pulmonar. El NO y el NO₂ suelen denominarse conjuntamente con la expresión de óxidos de nitrógenos (NO_x).

HIDROCARBUROS:

Las emisiones de HC del vehículo proviene de dos fuentes diferentes: por una parte se trata de hidrocarburos no debidos a una mezcla poco homogénea y por otra a vapores del motor que no han sido quemados (vapores de aceite y de gasolina). En presencia de

óxido de nitrógeno y la luz solar, forman oxidantes que provocan irritación de las mucosas. Altas concentraciones pueden provocar daños a la salud por lo que han sido catalogados como nocivos.

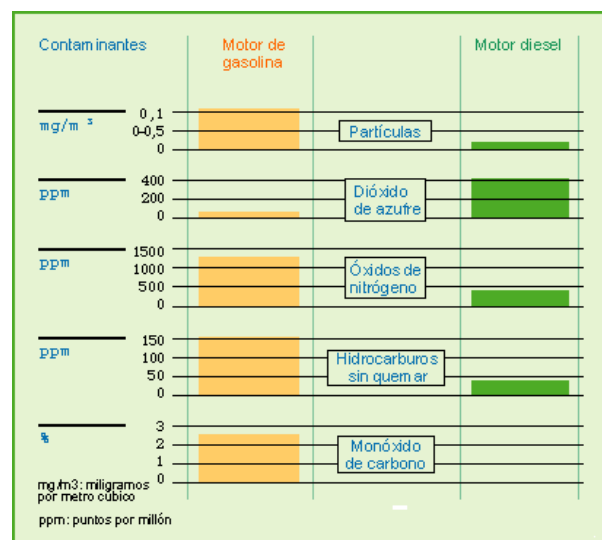
MATERIAL PARTICULADO:

Corresponden a las llamadas partículas cuyo tamaño aproximado es de 1,30 micrones de diámetro promedio y está compuesta de hollín, hidrocarburos condensados y compuestos de azufre. La exposición prolongada puede causar cáncer, irritación en las vías respiratorias por la presencia de SO_2 así como lluvia ácida. La concentración de material articulado en el aire es el factor clave para preemergencias, que corresponde a partículas totales en suspensión (PTS), material particulado respirable (PM), monóxido de carbono (CO) y ozono (O_3), en tanto que es zona latente para el dióxido de nitrógeno (NO_2).

NORMATIVA EUROPEA DE ANTICONTAMINACIÓN:

La Unión Europea refuerza los valores límite de las emisiones contaminantes aplicables a los vehículos de carretera ligeros, principalmente a lo que se refiere a las emisiones de partículas y óxidos de nitrógeno. El reglamento incluye también medidas relativas al acceso a la información sobre los vehículos y sus componentes, y a la posibilidad de incentivos fiscales.

En la gráfica se observa la normativa vigente Euro 4, aprobada en el año 2005.



TÉCNICAS PARA LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES:

Lo ideal técnicamente sería evitar la formación de gases tóxicos en origen, es decir, en la combustión del motor, pero esto aun no es posible, si bien hay estudios encaminados en este sentido.

Al no poder evitarlos en el origen, los fabricantes han echado mano de elementos externos del motor para conseguir dicho objetivo.

SISTEMAS O TÉCNICAS MÁS EXTENDIDAS ACTUALMENTE:

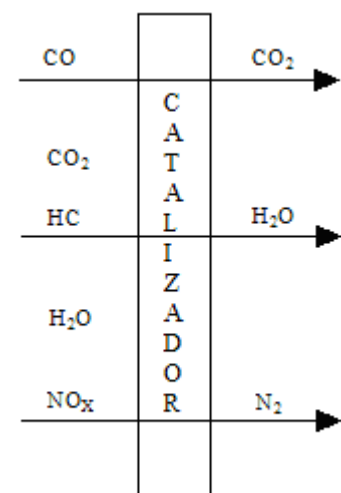
MOTORES DE GASOLINA:

ESCAPES CATALÍTICOS “TRIFUNCIONALES” (CATALIZADOR DE TRES VÍAS):

Catalizar: significa acelerar o poner en marcha una reacción química mediante la simple presencia de un elemento, por tanto, un catalizador es un elemento que ayuda a promover reacciones.

Constitución: físicamente el catalizador esta constituido por una especie de panal, generalmente cerámico (cordierita), recubierto de una fina capa de alumina [óxido de aluminio (Al_2O_3), en ingles “wash-coat”] de gran superficie sobre la que se encuentra pequeñas cantidades de metales nobles (platino, paladio y rodio) a través de la cual se hacen pasar los gases de escape.

Funcionamiento: en la figura podemos apreciar la forma de trabajar de un catalizador:



El rodio tiene la propiedad de separar el oxígeno (reducción) de los óxidos de Nitrógeno, absorberlo como una esponja y entregarlo de nuevo para formar otros componentes. El Platino y el Paladio ayudan a que el oxígeno se una al HC y CO (oxidación) para formar H₂O y CO₂.

Para que en el catalizador todas las reacciones se realicen adecuadamente es necesario que se den las siguientes condiciones:

Gasolina sin Plomo: Porque el Plomo ataca a los metales nobles reaccionando con ellos y quedándose pegados a la placa e inutilizándola. Basta con poco más del Plomo contenido en un depósito de gasolina para recubrir con una capa de este metal los componentes del catalizador.

La proporción de la mezcla debe ser de $\lambda = 0,99...1$: Esto es necesario para que no exista desproporción de oxígeno; porque si la mezcla se empobrece y el factor lambda (λ) aumenta hasta salirse del entorno 0,99...1,00, aumenta la cantidad de oxígeno presente en los gases de escape dificultando las reacciones químicas de reducción, no pudiéndose disminuir las emisiones de óxidos de Nitrógeno; incluso aumentan estas. Por el contrario, si la mezcla se enriquece y el factor lambda disminuye haciéndose inferior a 0,99, el déficit de oxígeno hace que se eliminen bien lo NO_x, pero casi no se eliminan el CO y los HC al haber poco oxígeno para realizar las reacciones de oxidación de estas dos sustancias.

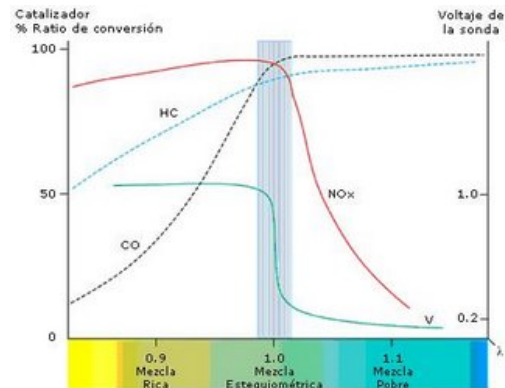
Esta causa obliga a utilizar conjuntamente catalizador y sonda lambda, pues una simple desviación del 1% provoca ya graves deficiencias en el tratamiento de los gases; por eso cuando en el motor se solicita una mezcla rica para prestaciones de máxima potencia, la sonda lambda evita este enriquecimiento casi instantáneamente, esto supone una pequeña merma de potencia casi inapreciable ya que la dosificación $\lambda = 0,99...1$ se acerca mucho a la de máxima potencia.

Por otro lado, la desviación de $\lambda = 1$ no supone un grave problema para el catalizador siempre que el tiempo que esté expuesto a esta desviación sea mínimo, y que dicha desviación no sea excesiva.

La gráfica adjunta, muestran la necesidad de una gran precisión en la proporción de la mezcla. Se observa en las mismas, que el CO y el HC tienen un enorme aumento ligeramente por debajo de $\lambda = 1$, mientras que los NO_x aumentan de forma brusca por encima de $\lambda = 1$.

Algo que no tiene que ver con el propio catalizador, pero que también supone una condición esencial para el buen funcionamiento del mismo, es mantener en perfectas condiciones el circuito de encendido; bastan cuatro fallos seguidos en el encendido de una bujía con el acelerador pisado a fondo para

destruirlo; esto se debe a que los hidrocarburos que quedan sin quemar saturan el catalizador, y además puede ocurrir que estos hidrocarburos combustionen en el propio catalizador, arruinándolo y eso significa que, en el mejor de los casos no podrá volver a depurar los gases y en un caso aún peor, que se forme un tapón en el escape.



***Nota:** Se debe tener especial cuidado con la calidad de los cables de alta, en la sujeción de los capuchones de las bujías y sobretodo respetar escrupulosamente el tipo de bujías que recomienda el fabricante, además de cambiarlas dentro del kilometraje recomendado.*

La temperatura de trabajo del catalizador no debe ser inferior a 300°C ni superior a 800°C: por debajo de la primera no actúa, y por encima de la segunda pierde efectividad (ver gráfico).

1400°C	Sobrecalentamiento	Fusión del soporte
1200°C	Desactivación muy intensa	Ablandamiento del soporte
1000°C		Desprendimiento de la washcoat
		Sinterización PT/PH
900°C	Fase de transición Envejecimiento térmico mas intenso Escasa intoxicación	Perdida por porosidad Washcoat Sinterización PT/PH
600°C	Gama de trabajo Mediano envejecimiento Escasa intoxicación	Efecto óptimo
400°C	Escaso envejecimiento térmico Intoxicación mas intensa	
	Temperatura de arranque del catalizador	
200°C	Sin actividad	

Los ensayos experimentales demuestran que es en los 3 primeros minutos con el motor frío cuando se forman alrededor del 90% de las emisiones totales de CO y HC. (Los NO_x aparecen con las altas temperaturas). Interesa por tanto, conseguir un rápido cebado del catalizador (300°C), para lo cual los fabricantes han optado por diferentes soluciones:

La mas común es colocar el catalizador cerca del motor, sin embargo, cuando éste alcance su temperatura normal de funcionamiento hará trabajar al catalizador a una elevada temperatura provocándole un envejecimiento prematuro. Por otro lado, si se coloca lejos tarda en coger temperatura y en comenzar a actuar.

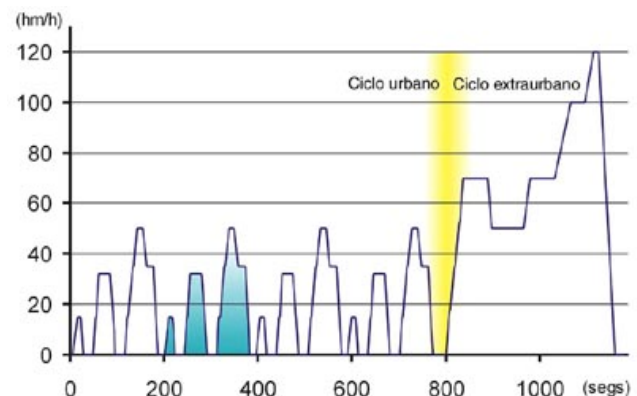
Otra solución adoptada por algunos fabricantes consiste en colocar un pequeño catalizador metálico (muy resistente a altas temperaturas) cerca del motor, para ir trabajando mientras el catalizador principal cerámico, más alejado, comienza a ser operativo, una vez cubierta la fase inicial, dicho catalizador se puentea (se anula) para evitar dañarlo por exceso de temperatura (en condiciones normales trabaja a unos 200°C por encima del catalizador principal, que alcanza con facilidad los 800°C).

También se ha planteado la posibilidad de calentar eléctricamente el catalizador igual que se hace con la sonda lambda, pero esta medida requiere del orden de 3 ó 4 KW para reducir el tiempo de calentamiento a 60 u 80 segundos: un tiempo todavía elevado (el objetivo es hacerlo en 10 segundos) y que plantearía grandes problemas a las baterías.

Otros fabricantes han optado por aislar térmicamente los 30 primeros centímetros del colector de escape para que sigan completándose las reacciones de oxidación antes del catalizador. Para ello, basta con “envolver” el colector con otro tubo concéntrico o una chapa, dejando un espacio que puede ser de unos 3 mm. Con esto, los hidrocarburos continúan quemándose mientras la temperatura no baje de unos 530°C. Algunos, además de esto inyectan en el primer tramo del escape una cantidad de aire suplementaria; con ello se consigue oxidar el CO y HC haciendo que pase a CO₂ y H₂O respectivamente.

Una de las soluciones más ingeniosas es la planteada por la marca SAAB, que consiste en instalar un acumulador de calor, similar a los empleados para el almacenamiento de energía solar que comunica al refrigerante el calor necesario para que los arranques “en frío” no sean tales. Acumula calor suficiente durante la marcha del vehículo para mantenerlo posteriormente durante tres días a 78°C.

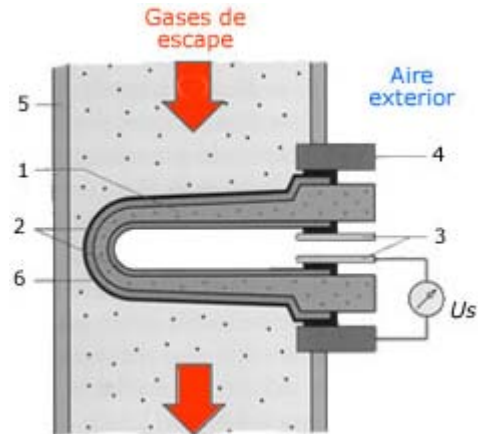
Como puede verse, son numerosos los problemas que suscita el catalizador: mayor consumo, menor potencia y necesidad de inyección; aparte de que cada instalación tiene que ser diseñada específicamente para cada modelo.



SONDA LAMBDA:

Es un sensor que suministra constantemente información a la unidad de control sobre la composición instantánea de la mezcla. Va situada en el escape del motor, en un lugar cercano a éste para que la temperatura sea adecuada a su correcto funcionamiento.

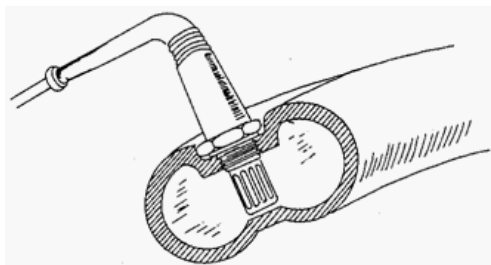
Constitución: Está constituida por dos electrodos de platino permeables a los gases (2) separados por un cuerpo cerámico de dióxido de zirconio (1). Uno de los electrodos está en contacto con la atmósfera exterior y el otro con la atmósfera existente en el escape. Además, el electrodo expuesto a los gases de escape va recubierto de una capa cerámica porosa (6) que lo protege contra la suciedad de los residuos de la combustión.



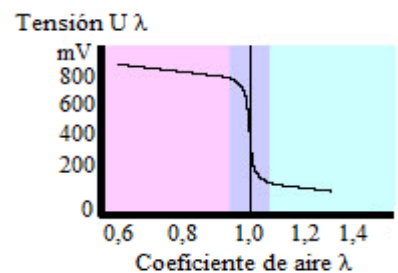
Nota: El zirconio es un metal blanco grisáceo muy parecido al titanio. Su número atómico es 40. Entre sus compuestos destaca la zirconia (ZrO_2), que tiene su punto de fusión aproximadamente a $2700^{\circ}C$.

Funcionamiento: el principio de funcionamiento se basa en comparar la atmósfera existente en el escape con la atmósfera exterior.

El material cerámico es poroso y permite la difusión del oxígeno haciendo que se



deposite en la superficie de los electrodos. Por tanto, si el contenido de



oxígeno no es igual en ambos electrodos, se crea una diferencia de potencial entre ellos en el margen de $\lambda = 1$. (Ver gráfico); esta diferencia de potencial es la que se transmite como señal eléctrica a la unidad de control. Para que dicha señal pueda ser procesada, es necesario establecer una corriente eléctrica entre el electrodo positivo y el negativo, lo

cual se hace posible cuando el cuerpo cerámico se vuelve conductor, cosa que se produce a una temperatura de unos 300°C.

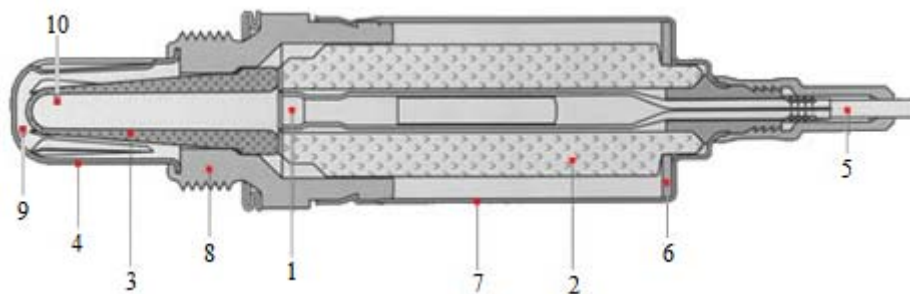
Ya tenemos, por tanto, dos condiciones para el correcto funcionamiento de la sonda:

Temperatura superior a 300°C

Riqueza de mezcla próxima a $\lambda = 1$.

Cuando no se cumplen estas dos condiciones como ocurre en el arranque, la unidad de control manda la orden al dispositivo dosificador de crear una composición de mezcla para condiciones de servicio medias. Lo mismo ocurre en caso de que el cable que une la sonda con la unidad de control esté interrumpido.

Estructura: el cuerpo cerámico de la sonda (3) va fijado a un soporte (8) mediante un racor roscado, al cual va unido por el lado de escape al tubo de protección (4) y por el lado de aire el casquillo metálico (7), éste lleva un taladro de purga de aire para la sonda y sirve al mismo tiempo de apoyo a la arandela Belleville (6), el cambio eléctrico sale de la sonda a través de un manguito aislante (5). Para mantener alejados del cuerpo cerámico de la sonda los residuos de combustión de los gases de escape, el tubo protector (4) tiene unas ranuras dispuestas de tal forma que los gases de escape y los cuerpos sólidos que los acompañan no puedan entrar en contacto con el cuerpo cerámico de la sonda.



La necesidad de alcanzar rápidamente los 300°C de temperatura, hace que la sonda se coloque próxima al motor, esto hace además que la información que facilita sea mas actual que si está lejos, sin embargo este acercamiento al motor también provoca un envejecimiento acelerado y deterioros por fatiga térmica, de ahí que últimamente hallan

evolucionado las sondas calefactadas, pues su calentamiento por calefacción eléctrica permiten colocarla mas lejos aunque pierda en rapidez de respuesta.

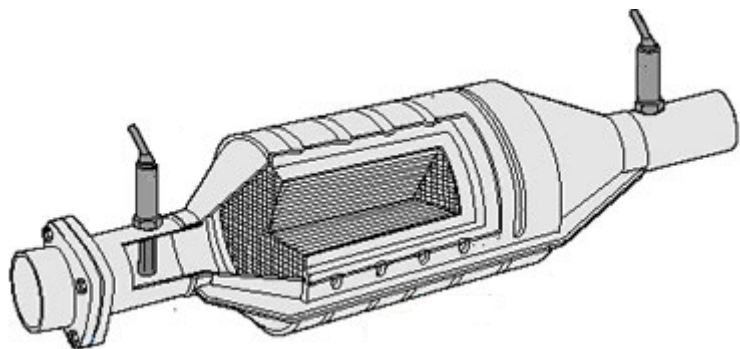
El principio constructivo de la sonda calentada es en muchos aspectos idéntico al de la sonda sin calefacción. El cuerpo cerámico activo es calentado desde el interior con un elemento calefactor cerámico, de modo que independiente de la temperatura de los gases de escape, la del cuerpo cerámico de la sonda se mantenga sobre el límite de funcionamiento de 350°C.

Las ventajas que de ello se derivan son una regulación segura incluso con gases a baja temperatura (p.ej. al ralentí), la ínfima dependencia de las variaciones de temperatura de los gases, los breves tiempos de conexión de la regulación lambda, los reducidos valores contaminantes de los gases de escape gracias a la favorable dinámica de la sonda y a la flexibilidad de montaje a ser aquella independiente del calentamiento externo.

La sonda calentada lleva un tubo protector con orificio de paso reducido (sus ranuras están mas juntas). Así se impide, entre otras cosas el enfriamiento del cuerpo cerámico de la sonda por los gases de escapes fríos.

SEGUNDA SONDA LAMBDA:

En estos sistemas se suele montar una sonda lambda adicional situada después del catalizador cuya finalidad es verificar la efectividad del mismo. De este modo, la UEC compara las tensiones de las sondas anterior y posterior al catalizador, y si la diferencia entre las mismas rebasa el margen teórico especificado por el fabricante, la gestión del motor detecta un funcionamiento irregular del catalizador. En este caso, queda registrado en la memoria el código de avería correspondiente, visualizándose dicha avería en el testigo pertinente.

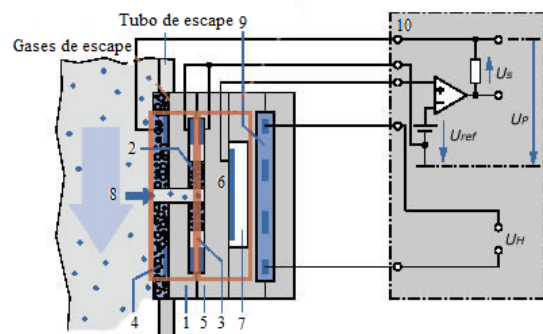


Ambas sondas tienen las mismas características, y para evitar que sus conectores sean intercambiados por confusión éstos suelen ser geoméricamente distintos y con diferentes colores.

SONDA LAMBDA DE BANDA ANCHA:

Posee la facultad de realizar mediciones muy precisas, no sólo en el punto estequiométrico ($\lambda = 1$) si no también en la gama pobre ($\lambda > 1$) y en la gama rica ($\lambda < 1$). Por tanto permite a la UEC efectuar una regulación continua de la relación de la mezcla. En esta sonda, el valor lambda deja de ser proporcionado en forma de tensión como en la sonda convencional, y en la nueva señal suministrada es mediante una intensidad con incrementos casi lineales. Así es posible disponer de valores lambda en una banda mas ancha, es decir, no sólo informa de si la mezcla es rica o pobre, sino que da una señal eléctrica exacta, de la composición momentánea de los gases de escape.

Esta consta fundamentalmente de dos partes: una, la parte de medición, que está formada por una bomba de oxígeno (1), alimentada electrónicamente mediante unos electrodos de platino. A esta accede el oxígeno a través de dos barreras porosas, una de difusión (2) colocada en el interior del intervalo de difusión (3) y otra de protección (4). Así mismo, incorpora una célula de concentración Nernst (5) y una célula de medición (6), una cámara de referencia (7), un conducto de acceso de gases (8) y una resistencia de calefacción (9).



La otra parte de la sonda es electrónica (10) que regula el funcionamiento de la misma.

Nota: Walter Nernst fue un físico y químico alemán. Existen ecuaciones matemáticas de Nernst que permite calcular la distribución de iones como función del campo electrónico, así como el campo eléctrico a partir de la distribución de iones.

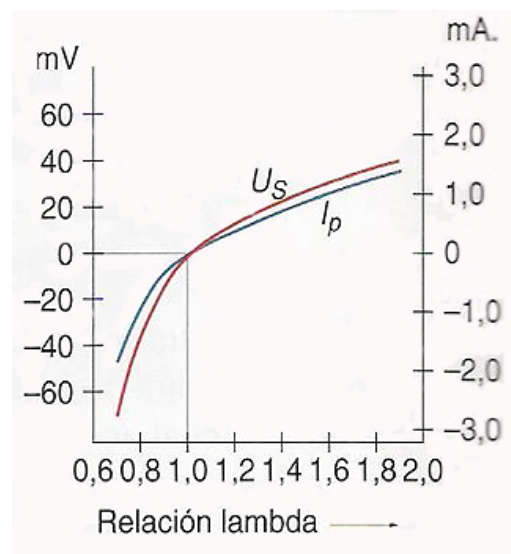
La sonda basa su funcionamiento en mantener de forma constante la concentración de oxígeno del gas contenido en la célula de concentración Nernst. Se trata de lograr la concentración correspondiente a la de una mezcla estequiométrica, para lo que la sonda calculará la concentración de oxígeno a través de la célula de medición (la cual tiene el mismo funcionamiento que una sonda lambda convencional) mediante la diferencia de concentración entre la célula de referencia y la célula de concentración Nernst. A esta célula de concentración podrán entrar parte de los gases de escape a través del conducto de acceso de éstos.

La electrónica del control será capaz de variar la concentración de oxígeno en dicha célula, alimentando los electrodos de la bomba de oxígeno de tal modo que al conectar una tensión positiva en dichos electrodos, la bomba extraerá oxígeno de la célula a través del intervalo de difusión.

La barrera porosa de difusión sirve para limitar la cantidad de oxígeno extraído.

Invirtiendo la polaridad de la bomba de oxígeno, podremos extraer oxígeno del gas de escape e introducirlo en la célula de concentración Nernst. Midiendo la corriente eléctrica consumida por la bomba de oxígeno podremos saber la cantidad de oxígeno que le hemos tenido que aportar o extraer al gas de escape para conseguir que este tenga una concentración de oxígeno equivalente a riqueza estequiométrica. Esta corriente

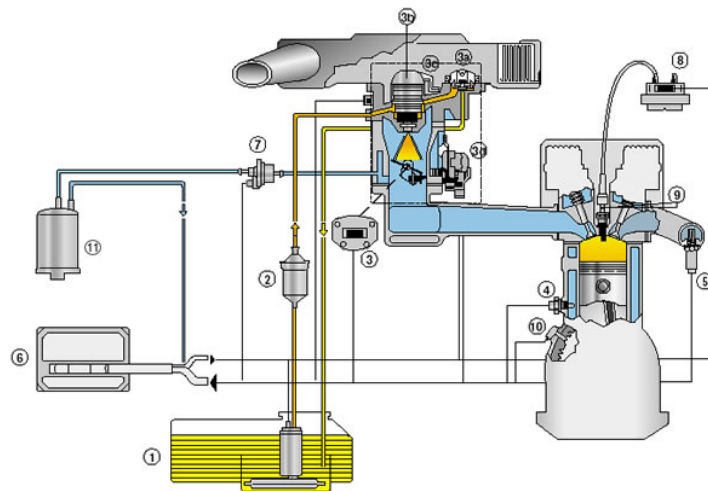
eléctrica (I_p) se mide como la caída de tensión (U_s) en bornes de una resistencia R conectada en serie con la bomba de oxígeno.



La gráfica nos muestra la relación entre la intensidad hacia la bomba de oxígeno (I_p) y la caída de tensión (U_s) en la resistencia con respecto al valor lambda. Como se aprecia en la misma, el transporte de oxígeno no es necesario cuando $\lambda = 1$ y por tanto la corriente de la bomba es cero.

RECICLADO DE LOS VAPORES DE GASOLINA EN EL DEPÓSITO (CÁNISTER)

Debido a que los vapores de gasolina son altamente contaminantes, hay que evitar su emisión a la atmósfera. Por ello, los coches modernos de gasolina van dotados de un depósito de gasolina cerrado herméticamente. Como la gasolina es una sustancia altamente volátil es necesario recoger los vapores que generan, y para eso, el depósito de combustible lleva un tubo de ventilación que comunica con un depósito relleno de carbón activo (partículas de grafito de un tamaño de decenas de micras).



Nota: el carbón activo se prepara generalmente a partir de la turba (carbón combustible), mezclándola con ácido fosfórico y calcinando la mezcla a 1200°C. Durante el proceso se destila fósforo, el cual se rescata por combustión en forma de ácido fosfórico puro. El residuo de carbón se seca después de un lavado con ácido clorhídrico. El logro es el carbón activo cuyas propiedades absorbentes tienen múltiples aplicaciones.

Este depósito es conocido como cánister. Los vapores de gasolina al entrar en contacto con las partículas de carbón, se condensan en el interior del cánister. Una vez que se arranca el motor y se aproxima este a su temperatura de servicio, la gasolina acumulada en el cánister puede aspirarse para ser aprovechada por el motor al mismo tiempo que se impide que los vapores generados en el depósito lleguen a la atmósfera. Para proceder a la extracción de la gasolina que hay en el interior del cánister, éste está conectado a la

admisión a través de un tubo en el que va intercalada una electroválvula de purga. Esta electroválvula es activada a través de la UEC, la cual va variando el tiempo durante el que conecta a masa a dicha electroválvula para modular la apertura de la misma. De este modo, al abrirse la válvula, el colector de admisión aspirará aire a través de la toma de aireación. El aire, al pasar a través del carbón activo arrastrará la gasolina que tiene impregnada. Con el motor parado, la electroválvula de purga permanece cerrada para evitar fenómenos de autoencendido a causa del flujo de vapores de combustible hacia el colector de admisión.

La apertura de la electroválvula varía en función de las revoluciones, de la temperatura del líquido refrigerante y de la cantidad de aire aspirado. La gasolina acumulada en el interior del cánister depende de una serie de circunstancias que el sistema no puede evaluar (temperatura ambiente, tiempo que el vehículo estuvo parado); por ello, la ventilación se procurará hacer cuando pueda producir menos perturbaciones en la suavidad de marcha del motor. Al mismo tiempo, el sistema puede conseguir variar la apertura de la válvula de purga a través de la señal de la sonda lambda, aprovechando mejor la gasolina acumulada en el cánister. Por último, mencionar que la ventilación del cánister no se realiza de forma continua, sino que se efectúa con pequeños períodos de descanso.

MOTORES DIESEL:

PARTÍCULAS EXPULSADAS POR EL MOTOR:

FRACCIÓN SÓLIDA:

Se compone casi en su totalidad de partículas de carbón.

SULFATOS:

Proceden de los combustibles que tienen pequeñísimas cantidades de azufre y resulta muy difícil de eliminar totalmente por parte de las compañías petrolíferas. Cabe

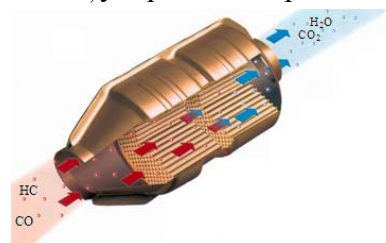
destacar que los sulfatos no son emitidos directamente por el motor, sino que se forman en la salida del mismo debido a la presencia del azufre mencionado anteriormente.

FRACCIÓN ORGÁNICA SOLUBLE:

Está formada por una gran variedad de hidrocarburos del combustible y de subproductos procedentes de la combustión.

CATALIZADOR DE OXIDACIÓN:

En los motores Diesel se utilizan estos catalizadores para merminar la máxima cantidad posible de CO y HC. Estos catalizadores no reducen los NO_x, ya que las temperaturas de los gases de escape son demasiado bajas para transformarlo mediante un catalizador de reducción. Por tanto, los NO_x tienen que evitarse optimizando los procesos de combustión e incorporando al motor una válvula EGR.



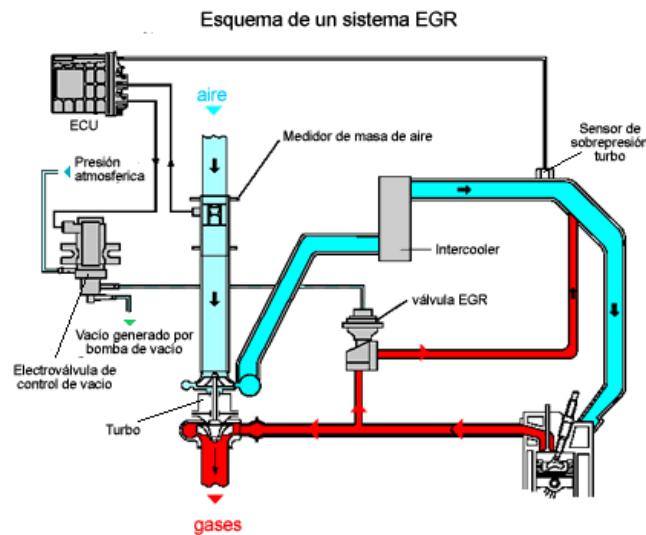
RECIRCULACIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE (EGR):

El óxido de nitrógeno no se ve afectado por la instalación de un catalizador, por lo que dicho contaminante hay que tratarlo antes de que llegue al escape. Esta es la razón por la que se utiliza el sistema EGR en los motores.

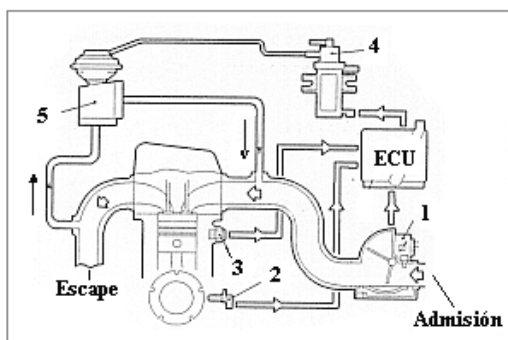
Para reducir las emisiones de gases de escape, principalmente de óxido de nitrógeno (NO_x), se utiliza el sistema EGR (Exhaust gas recirculation) que reenvía una parte de los gases de escape al colector de admisión, consiguiendo con ello que disminuya el contenido de oxígeno en el aire de admisión, que provoca un descenso en la temperatura de combustión reduciendo así el óxido de nitrógeno (NO_x). Un exceso de gases de escape en el colector de admisión aumentaría la emisión de carbonilla.

El momento de activación del sistema EGR y la cantidad de gases de escape que deben ser enviados al colector de admisión son calculados por la UEC, teniendo en cuenta el

régimen motor (RPM), el caudal de combustible inyectado, el caudal de aire aspirado, la temperatura del motor y la presión atmosférica reinante. Normalmente el sistema EGR solamente esta activado a una carga parcial y temperatura normal del motor.



En la siguiente figura se ve un sistema EGR montado en un motor atmosférico a diferencia del anterior.

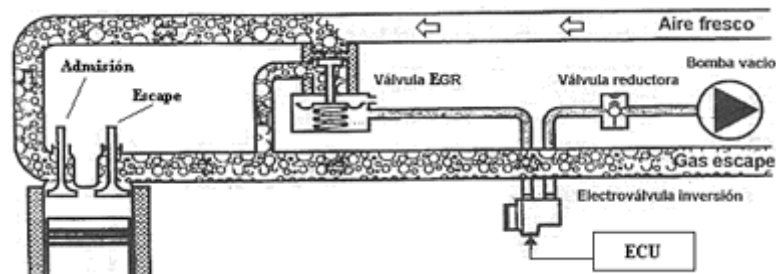


- 1- Medidor de masa de aire.
- 2- Sensor de revoluciones (RPM).
- 3- Sensor de temperatura.
- 4- Convertidor EGR. (Electroválvula de control de vacío)
- 5- Válvula EGR.

De acuerdo con los datos obtenidos, la UEC actúa sobre una electroválvula controladora de vacío (convertidor EGR). Esta válvula da paso o cierra la depresión procedente de la bomba de vacío. De esta forma la válvula de recirculación de gases (válvula EGR) abre o cierra permitiendo o no la recirculación de gases del colector de escape al colector de admisión.

En la siguiente figura se ve un sistema EGR montado en otro tipo de motor. De acuerdo con los datos obtenidos, la unidad de mando UEC actúa sobre la "válvula inversora"

electroneumática. Esta válvula da paso o cierra la depresión que genera la "bomba de vacío", de esta forma la "válvula EGR" abre o cierra el circuito de recirculación de gases de escape.



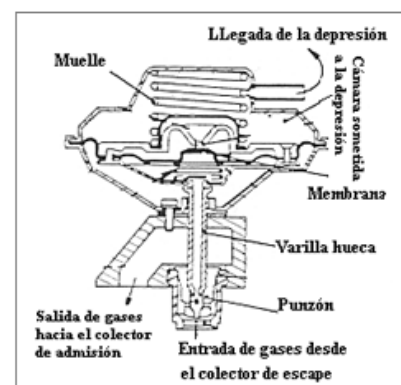
TIPOS DE VÁLVULAS EGR:

La válvula EGR es la encargada de hacer recircular los gases de escape del colector de escape al colector de admisión, se clasifican según su funcionamiento en: "neumáticas" y "eléctricas".

NEUMÁTICAS:

Las válvulas EGR neumáticas son accionadas por depresión o vacío. Están constituidas por una membrana empujada por un muelle, que abre o cierra una válvula a través de una varilla hueca en cuyo extremo lleva un punzón. La varilla está acoplada a la membrana, que se mueve abriendo la válvula cada vez que la depresión actúa sobre la membrana y vence la presión del muelle.

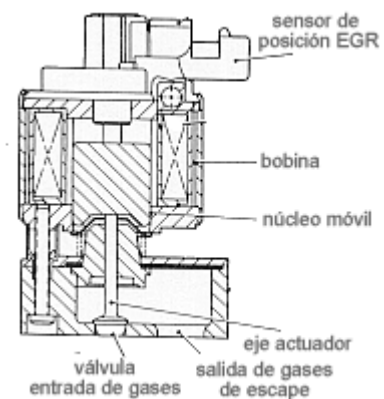
Para controlar la depresión que actúa sobre la válvula EGR precisamos de otra válvula separada, en este caso eléctrica, que será controlada por la UEC.



ELÉCTRICAS:

Las válvulas EGR eléctricas se caracterizan por no tener que utilizar una bomba de vacío para su funcionamiento, por lo que trabajan de forma autónoma. Constan de un solenoide que actúa al recibir señales eléctricas de la UEC, cerrando o abriendo un paso por el que recirculan los gases de escape. El mayor o menor volumen de gases a recircular viene determinada por la UEC, que tiene en cuenta ciertos parámetros como: la velocidad del coche, la carga y la temperatura del motor.

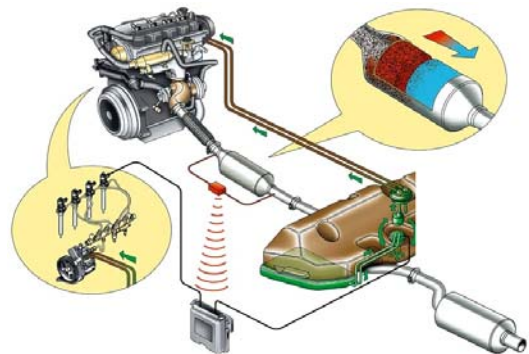
La válvula EGR eléctrica cuenta con un pequeño sensor en su interior que informa a la UEC en todo momento la posición que ocupa el elemento que abre o cierra el paso de la recirculación de los gases de escape. Este tipo de electroválvula no se resiente de la depresión, por tanto puede abrirse con cualquier carga motor y con cualquier depresión en el colector. Interviene con temperatura líquido motor 55°C, temperatura aire aspirado > 17 °C y régimen motor incluido entre 1500 y 5600 (según las características del motor).



FILTRO ANTIPARTÍCULAS (FAP):

Este filtro es una estructura porosa, de carbono de silicio, compuesta por gran cantidad de pequeños canales alternativamente obstruidos de manera que fuerzan a los gases de escape a atravesarlo, quedando detenidas de esta forma las partículas.

Durante el funcionamiento del motor se van acumulando las partículas en el filtro, lo que provocaría un taponamiento del mismo. El problema se evita regenerando los filtros, con lo cual quedan listos para volver a operar. La regeneración, que es controlada en todo momento por la UEC de gestión del motor, consiste en quemar periódicamente las



partículas acumuladas en el filtro. La regeneración del mismo queda limitada debido a la presencia de azufre dentro del combustible.

Cuando la temperatura de escape alcanza el umbral de regeneración (fuertes cargas), las partículas se queman de manera natural en el filtro y no necesita ninguna acción exterior para realizar dicha regeneración.

Por el contrario, si la temperatura de escape no alcanza el límite de regeneración, es preciso lograrla. Esto se consigue mediante una postinyección. Para quemar las partículas se necesita como mínimo 550°C. Aditivando el carburante, bien en el depósito o a la entrada de la bomba de inyección mediante cantidades de óxido de cerio, también llamado cerina, se reduce esta temperatura a 450°C. Además, este aditivo (que es enviado por una bomba a través del inyector) impregna las partículas en formación dentro del cilindro y propaga la combustión de las mismas. La cerina se mezcla en una solución orgánica almacenada en un depósito adicional situado junto al depósito de carburante. No se quema, sino que queda en forma de depósitos sólidos en el filtro.

Nota: el cerio tiene una temperatura de fusión de 799°C mientras que su temperatura de ebullición es de 3.426°C. Se oxida fácilmente con el agua y se disuelve en los ácidos diluidos. Su símbolo químico es Ce.

A continuación escribimos con más detalle los otros elementos del sistema de aditivación:

DEPÓSITO DE ADITIVO:

Suelen instalarse bajo el depósito de combustible y su capacidad suele ser aproximadamente de unos cinco litros. En su interior va sumergida la bomba de inyección de aditivo. La bomba y el depósito forman un conjunto indisoluble.

BOMBA DE ADITIVACIÓN DE COMBUSTIBLE:

Tiene la función de generar la presión y el caudal necesario durante el proceso de aditivación. Es una bomba volumétrica de rodillos y está limitada a 12 voltios por el calculador específico de aditivación. La puesta en funcionamiento de la misma se realiza en la fase de aditivación durante unos cinco segundos, siempre que se accione el contacto.

SONDA DE NIVEL MÍNIMO DE ADITIVO:

Va instalada en el interior del depósito de aditivo y tiene la función de informar al conductor de que se ha alcanzado el nivel de reserva de aditivo (0,3 litros), poniendo en funcionamiento el testigo correspondiente o visualizando un mensaje en la pantalla multifunción. Esta sonda se caracteriza por ser una resistencia térmica cuyo valor varía de manera brusca según se encuentre sumergida en aditivo o en el aire.

INYECTOR DE ADITIVO:

Tiene la función de aportar el volumen de aditivo calculado por la unidad de mando específica de aditivación del combustible a través de la cual es gobernada. Se trata de un inyector electromagnético que puede ir albergado bien en el depósito de combustible o bien en la entrada de la bomba de inyección, según sea la zona donde se aditive el combustible. Un regulador, adosado a dicho inyector mantiene la presión en el circuito de aditivación aproximadamente a tres bares.

CAPTADOR DE PRESENCIA DEL TAPÓN DEL DEPÓSITO:

Informa al calculador específico de que puede tener lugar una aportación de combustible.

Si efectivamente la hay, el sistema pasará a calcular (a través de la diferencia de nivel antes de abrir y después de cerrar el tapón) el volumen del carburante repostado. La apertura del tapón de llenado seguido de un cierre es llamado “ciclo tapón”. El intervalo entre la apertura y el cierre debe ser superior a cinco segundos para que el “ciclo tapón” sea válido.

Este captador está constituido por un interruptor de láminas flexibles (fijado junto a la boca de llenado del depósito) controlado por la acción de un imán (situado en el cuerpo del tapón). Al sacar el tapón de su alojamiento el interruptor se cierra mientras que el imán dispara la apertura del interruptor, mientras que el imán dispara la apertura del interruptor cuando el tapón está presente en el depósito.

AFORADOR DE COMBUSTIBLE:

Además de informar al conductor del grado de llenado del depósito, este elemento se encarga de establecer el llenado de combustible repostado y de informar de ello al calculador específico de aditivación, con el fin de determinar la cantidad de aditivo a incorporar.

El aforador de combustible no puede detectar con precisión una variación de nivel inferior a siete litros.

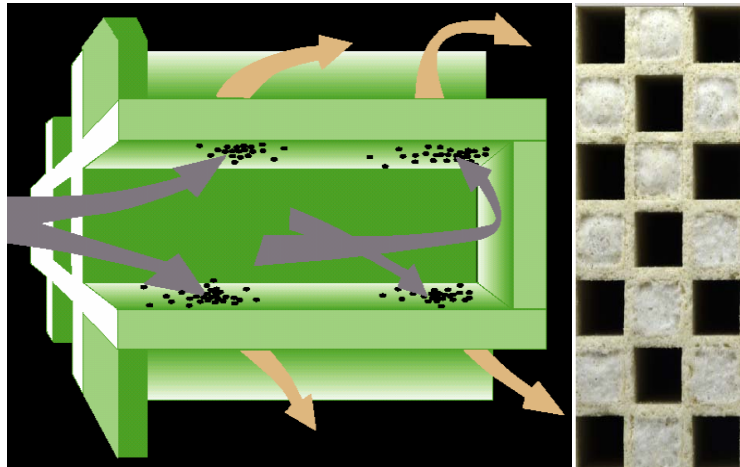
VÁLVULA DE SEGURIDAD:

Su misión es desgasificar el depósito de aditivo en caso de exceso de presión o de presiones en el interior del mismo.

Se puede dar el caso de filtros de partículas que queman de forma continua las partículas sin tener que agregar un aditivo al combustible. En este caso se ha procedido a combinar al catalizador de oxidación y el filtro en una unidad compartida, dando por resultado el filtro de partículas Diesel con recubrimiento catalítico. Este sistema con recubrimiento catalítico va instalado mucho más cerca del motor que el sistema con aditivo.

CONSTITUCIÓN DEL FILTRO DE PARTÍCULAS CON RECUBRIMIENTO CATALÍTICO:

El filtro de partículas, que integra el catalizador de oxidación, consta de un cuerpo cerámico alveolar de carburo de silicio alojado en una carcasa de metal. El cuerpo cerámico está dividido por una gran cantidad de pequeños



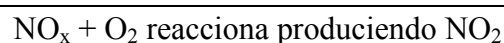
conductos paralelos cerrados de forma alternativa. El resultado son unos conductos de admisión y escape cerrados por las paredes filtrantes. Las paredes filtrantes del carburo de silicio son porosas.

Una combinación de óxido de aluminio y óxido de cerio recubre el cuerpo de carburo de silicio. Esta combinación se utiliza como sustrato para el catalizador. Dicho sustrato está recubierto con platino, que hace las veces de catalizador. La mayor concentración de platino se encuentra en la parte anterior respecto a la dirección de los gases de escape y la menor concentración en la zona posterior.

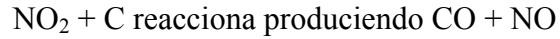
PROCESO DE REGENERACIÓN PASIVA DEL FAP:

Con cargas elevadas, los gases de escape pueden alcanzar temperaturas de 350°C a 500°C en el interior de este filtro por su cercanía al motor. Las partículas de hollín, en estas condiciones, se queman continuamente. Las reacciones son las siguientes:

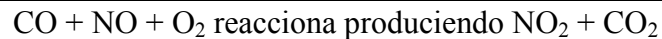
A partir de los óxidos nítricos (NO_x) y el oxígeno (O_2) contenidos en los gases de escape se genera dióxido nítrico (NO_2) con ayuda del recubrimiento de platino.



El dióxido nítrico (NO_2) reacciona con el carbono (C) de la partícula de hollín, generándose monóxido de carbono (CO) y monóxido de nitrógeno (NO).



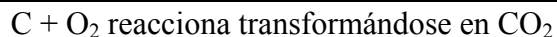
El monóxido de carbono (CO) y el monóxido de nitrógeno (NO) se combinan con el oxígeno (O_2), produciendo dióxido nítrico (NO_2) y dióxido de carbono (CO_2).



PROCESO DE REGENERACIÓN ACTIVA DEL FAP:

Con bajas cargas, la temperatura de los gases de escape en el interior del filtro es insuficiente para quemar el hollín. Cuando el filtro alcanza un cierto grado de saturación, la gestión de motor inicia un ciclo de regeneración con una duración de unos diez minutos. Con temperaturas de 600°C a 650°C se produce de forma espontánea las siguientes reacciones:

El carbono de las partículas de hollín se somete a oxidación con el oxígeno, transformándose en dióxido de carbono.



ESTRATEGIA DE REGENERACIÓN:

Si la saturación de hollín ha alcanzado un límite específico, la gestión del motor pone en vigor un ciclo de regeneración activa. A esos efectos se desactiva la recirculación de gases de escape; se realiza una postinyección a 35° después del PMS; se regula a un valor adecuado el aire de admisión con la válvula de mariposa motorizada y se adopta una presión de sobrealimentación adecuada para conseguir que no se altere el par motor durante la regeneración.

OTROS MÉTODOS PARA REDUCIR LAS EMISIONES CONTAMINANTES:

Mejorado de los diseños de los conductos de admisión y escape: se mejora la turbulencia, el llenado y por tanto la combustión.

Control Electrónico según mapa característico del avance de la inyección.

Mejora en los diseños de las cámaras de combustión: se eliminan zonas muertas de difícil combustión.

Aumento de la presión de inyección: mejora la pulverización y por tanto, la combustión.

Recirculación de los gases de escape con gestión electrónica de esta: se elimina la formación de NO_x .

ENERGÍAS ALTERNATIVAS AL COMBUSTIBLE TRADICIONAL:

VEHÍCULOS HÍBRIDOS:

Se denomina vehículo eléctrico híbrido, al cual la energía eléctrica que lo impulsa proviene de baterías, y alternativamente, de un motor de combustión interna que mueve un generador. Normalmente, el motor también puede impulsar las ruedas en forma directa.

En el diseño de un automóvil híbrido, el motor térmico es la fuente de energía que se utiliza como última opción. Se dispone de un sistema electrónico para determinar qué motor usar y cuándo hacerlo.

En el caso de híbridos gasolina-eléctricos, cuando el motor de combustión interna funciona, lo hace con su máxima eficacia. Si se genera más energía de la necesaria, el motor eléctrico se usa como generador y carga las baterías del sistema. En otras

situaciones, funciona sólo el motor eléctrico alimentándose de la energía guardada en las baterías. En algunos, es posible recuperar la energía cinética al frenar, convirtiéndola en energía eléctrica.

La combinación de un motor de combustión operando siempre a su máxima eficacia, y la recuperación de energía del frenado, hace que estos vehículos alcancen mejores rendimientos que los vehículos convencionales.

Todos los coches eléctricos utilizan baterías cargadas por una fuente externa, lo que les ocasiona problemas de autonomía de funcionamiento sin recargarlas. Este inconveniente se evita con los coches híbridos.

VEHÍCULO ELÉCTRICO DE BATERÍA:

Un vehículo eléctrico de batería (VEB ó BEV debido a sus siglas en inglés) es un vehículo eléctrico que utiliza la energía química guardada en paquetes de baterías recargables. Los vehículos eléctricos utilizan motores eléctricos en vez de, o de forma añadida a motores de combustión internas.

En general, los VEB hacen un uso más eficiente de la energía y producen menos polución y emanaciones si es que se cargan con fuentes de energías renovables y no contaminantes, como pudiese ser la energía solar o eólica, y por lo tanto reducirán el impacto en el efecto invernadero.

RELACIÓN CON VEHÍCULOS HÍBRIDOS:

Los vehículos que utilizan ambos motores, motores eléctricos combinados, bien con motores de gasolina o bien con motores Diesel, se denominan vehículos híbridos, y no se consideran vehículos eléctricos de batería puros.

BIODIÉSEL:

Se trata de un combustible alternativo al gasóleo, que tiene entre sus principales virtudes hacer que el motor tenga una mayor duración y que las emisiones de gases y

humos perjudiciales se vean reducidas. Tampoco es mucho más caro que su competidor más contaminante, el gasóleo.

Es un carburante limpio, ya que cuenta con componentes de origen vegetal y no emplea ningún derivado del azufre. Este combustible contiene “éster metílico”, una sustancia procedente de aceites vegetales usados o vírgenes, aunque en España se hace casi siempre con aceites domésticos usados.

Este nuevo combustible no necesita ninguna modificación técnica para su uso en motores convencionales, siempre que se venda mezclado con gasóleo, lo que lo convierte en apto para cualquier mecánica Diesel. Según la legislación vigente, el contenido mínimo de “éster metílico” debe ser de un 5% para ser calificado de biodiésel. Este porcentaje de mezcla suele ser mas elevado (entre un 10 y un 15%) en el combustible biodiésel que se comercializa actualmente.

MOTOR DE PILA DE COMBUSTIBLE O MOTOR DE HIDRÓGENO:

La pila de combustible produce energía a través de la reacción del hidrógeno y el oxígeno. Para conseguir la reacción química que libera energía se puede utilizar hidrógeno puro o un combustible que contenga hidrógeno. Las emisiones a la atmósfera son mínimas y si se utiliza hidrógeno puro solamente se liberan vapores de agua.

La pila de hidrógeno es similar a una batería que no necesita ser recargada y que tampoco se agota. Funciona mientras el hidrógeno y el oxígeno le sean suministrados desde fuera de la pila. El principal problema en la actualidad, es cómo almacenar el hidrógeno, ya que hay que tener en cuenta que este elemento puede producir fácilmente reacción con otros. Otro problema radica en que sería necesario construir una red de reportaje y una cadena de producción operativa.