

## TRABAJO ANTIPOLUCION

El motor de combustión interna, por sus propios principios de funcionamiento, no es capaz de quemar el combustible en los cilindros de forma completa. Cuanto más incompleta sea la combustión, mayor cantidad de sustancias nocivas serán expulsadas por los gases de escape del motor hacia la atmósfera.

Cuando se produce la combustión de un hidrocarburo, si ésta tuviera lugar de forma completa, los únicos subproductos serían anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O). Los motores de explosión, como consecuencia de una combustión incompleta, además de un elevado porcentaje de componentes inocuos, contienen también otros que se han reconocido como nocivos para el medio ambiente.

### **GASES NO TOXICOS:**

Nitrógeno (N<sub>2</sub>):

Además de ser el componente principal del aire que respiramos (79%), es inerte (no se combina con nada). De esta forma, tal y como entra en los cilindros del motor por la admisión, sale por el escape sin modificación alguna, excepto muy pequeñas cantidades que se han convertido en óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), debido a las condiciones de temperatura y presión elevadas existentes en la cámara de combustión.

### Oxígeno (O<sub>2</sub>):

Este gas es imprescindible para la combustión. Es el segundo componente del aire con una proporción del 21% aproximadamente. Con una mezcla ideal, no debería sobrar nada de oxígeno en la combustión si ésta fuera perfecta, pero como no lo es, todavía se expulsa por el escape un residuo de oxígeno, aproximadamente 0.6%. Si la mezcla de trabajo es rica, este nivel de oxígeno se reduce, pero no llega nunca a cero. Por el contrario, si la mezcla es pobre, la cantidad de oxígeno emitida por el escape aumenta considerablemente.

### Vapor de agua (H<sub>2</sub>O):

Como ya hemos comentado es un subproducto de toda combustión. Es el responsable del humo blanco que generan los escapes de los automóviles los días especialmente fríos. El vapor de agua se condensa a lo largo del tubo de escape a medida que el gas pierde temperatura produciéndose el característico goteo de agua de los escapes de los automóviles.

### Anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) :

Se conoce también por el nombre de dióxido de carbono. Al igual que el vapor de agua, es un subproducto que siempre está presente en cualquier combustión. Aunque este gas no es tóxico, si resulta perjudicial para el medio ambiente de forma indirecta cuando se encuentra en concentraciones superiores a las normales.

Si la cantidad CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera es superior a aquella que las plantas son capaces de absorber para transformar en oxígeno, el equilibrio de la naturaleza se rompe produciéndose el famoso "efecto invernadero", responsable del calentamiento del planeta y de cambios climáticos imprevisibles.

## **GASES TOXICOS:**

La lista de componentes presentes en los gases de escape de los automóviles que tienen efectos nocivos es extremadamente larga, ya que la variedad de hidrocarburos y aditivos presentes en las gasolinas es muy amplia y las reacciones químicas que tienen lugar paralelamente a la combustión muy complejas y diversas.

Hidrocarburos sin quemar:

$C_nH_m$  (parafinas, olefinas, hidrocarburos aromáticos).

Hidrocarburos parcialmente quemados :

$C_nH_mCHO$  (aldehidos)

$C_nH_mCO$  (cetonas)

$C_nH_mCOOH$  (ácidos carbónicos)

CO (monóxido de carbono)

Subproductos de la combustión:

Del nitrógeno atmosférico NO, NO<sub>2</sub> (óxidos de nitrógeno)

Además, la luz del sol actúa sobre los constituyentes de los gases de escape, produciendo las siguientes oxidaciones:

Peroxidos orgánicos.

Ozono.

Peroxi-acetil-nitratos

### Hidrocarburos sin quemar (HC):

Como hidrocarburos no quemados se contemplan tanto los parcialmente quemados como los derivados de cracking térmico. Normalmente, los hidrocarburos tienen un olor penetrante fácilmente identificable. En presencia de óxidos de nitrógeno y de la luz solar, forman productos de oxidación (foto-oxidación) que irritan las mucosas. Algunos de los hidrocarburos son considerados como cancerígenos.

### Monóxido de carbono (CO):

El monóxido de carbono es incoloro, inodoro e insípido y, por consiguiente, resulta especialmente peligroso dada su alta toxicidad y su difícil detección. Reduce la capacidad de absorción de oxígeno de la sangre y consecuentemente la cantidad de oxígeno presente en el torrente sanguíneo.

Una concentración de solo un **0.3 %** en volumen de **CO** en el aire que respiramos puede producir la muerte en aproximadamente 30 minutos. Concentraciones superiores pueden producir desvanecimientos en menos de un minuto.

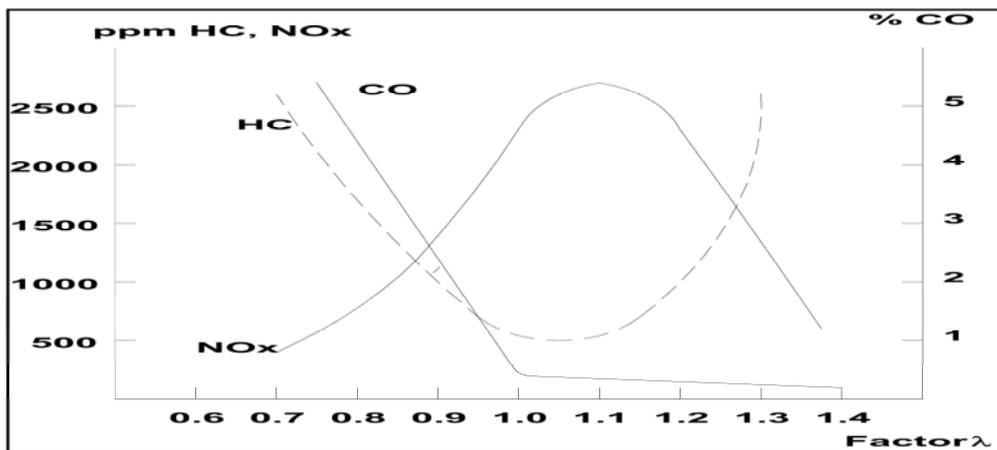
### Óxidos de nitrógeno (NOx):

El monóxido de nitrógeno (NO), es también incoloro, inodoro e insípido. En presencia del oxígeno del aire se transforma rápidamente en dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), de color pardo rojizo y olor muy penetrante, que provoca una fuerte irritación en los órganos respiratorios. En concentraciones elevadas, puede llegar a destruir los tejidos pulmonares y los alvéolos.

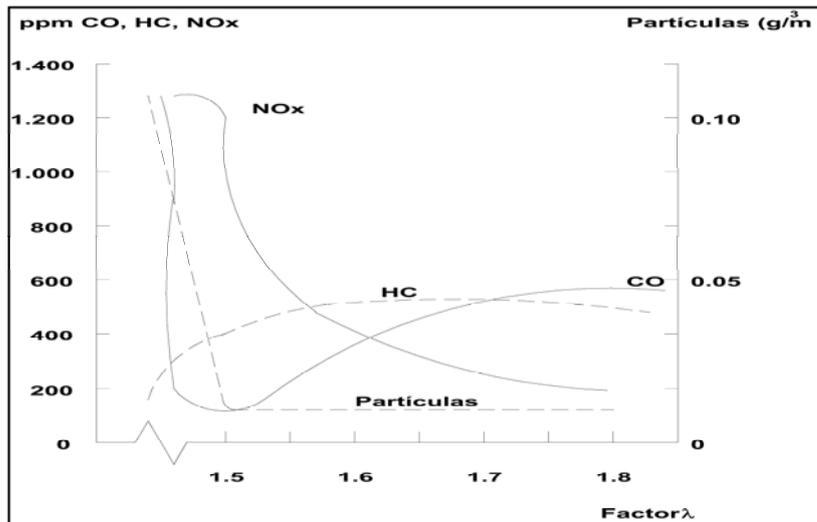
Una vez en la atmósfera, se combinan con el vapor de agua para formar compuestos ácidos que provocan la famosa "lluvia ácida", que mata las plantas y acidifica el terreno impidiendo que vuelvan a crecer. Este problema es más importante en los países fuertemente industrializados que en los que se encuentran en vías de desarrollo.

#### Partículas sólidas:

La combustión incompleta produce partículas sólidas en forma de cenizas y hollín. En los vehículos equipados con motor de gasolina, estas emisiones de partículas son prácticamente despreciables, por lo que las distintas legislaciones sólo limitan este tipo de contaminación en los automóviles equipados con motores diesel.



**Figura 2.2**  
Concentraciones de contaminantes en un motor de gasolina



**Figura 2.3**  
Concentraciones de contaminantes en un motor de diesel

### El factor lambda

El factor lambda o coeficiente de exceso de aire es la proporción que existe entre la relación aire/combustible con la que está trabajando el motor y la relación aire/combustible teórica con la que debería trabajar para que la combustión fuera completa. Es decir, el factor lambda es una representación numérica de la riqueza o la pobreza de la mezcla aire/gasolina.

Lo ideal sería que el factor lambda fuera siempre igual a **1**. En este caso, el motor estaría funcionando constantemente con una relación aire/combustible idéntica a la que teóricamente debería utilizar, pero las condiciones atmosféricas hacen que la temperatura y presión del aire varíen constantemente y por tanto, la cantidad de aire aspirada por un motor también varía, afectando a su factor lambda de funcionamiento.

Mezcla	$\lambda$	Interpretación
RICA	Menos de 0.75	El motor se ahoga. La mezcla es poco inflamable. Si se enriquece más la mezcla, el motor llegará a pararse por exceso de combustible
	Entre 0.75 y 0.85	Mezcla muy rica. Este factor $\lambda$ proporciona un aumento de potencia si es en intervalos muy breves. Por esto, en las aceleraciones se enriquece la mezcla durante un tiempo muy corto para obtener este pico de potencia.
	Entre 0.85 y 0.95	Mezcla rica. Entre estos valores de $\lambda$ es donde el motor entrega más potencia de forma continua, pero este tipo de mezcla tiene efectos secundarios por lo que no debe usarse para conducción normal.
IDEAL	Entre 0.95 y 1.05	Mezcla correcta. Este es el factor $\lambda$ con el que debe funcionar un motor tanto al ralenti como en régimen estacionario.
POBRE	Entre 1.05 y 1.15	Mezcla pobre. El motor pierde potencia, pero se consigue el consumo mínimo.
	Entre 1.15 y 1.30	Mezcla muy pobre. El motor pierde mucha potencia y el consumo aumenta. Se producen problemas de autoencendido y falsas explosiones en el escape.
	Más de 1.30	La mezcla no es inflamable. El motor no funciona

### La regulación lambda

La regulación lambda es el único sistema capaz de mantener la relación aire/combustible controlada con la precisión que requieren los vehículos actuales. Es un sistema que permite mantener el factor lambda muy cerca de **1** sin necesidad de ajustes, de manera rápida, automática y sin los problemas de desgaste de piezas de los sistemas convencionales.

### La sonda lambda

Es un sensor electroquímico de oxígeno que se encuentra normalmente situado muy próximo al colector de escape, ya que necesita una elevada temperatura para realizar su función. Este sensor emplea un material cerámico (óxido de circonio, ZrO) como electrolito. Una superficie de la cerámica se encuentra en contacto con el gas de escape mientras que la superficie opuesta permanece constantemente en contacto con el aire ambiente.

Por encima de los **300°C**, el material cerámico adquiere ciertas características que le permiten transportar iones de oxígeno desde la superficie en contacto con el aire ambiente hasta la superficie opuesta, generando un voltaje de carácter galvánico. Este voltaje tiene una relación directa con la diferencia de concentración de oxígeno entre las dos superficies del sensor.

Constructivamente podemos distinguir dos tipos de sondas lambda: Sin precalentar, y precalentada. Físicamente tienen una apariencia similar diferenciándose por su colocación en el sistema de escape y por el número de cables de conexión.

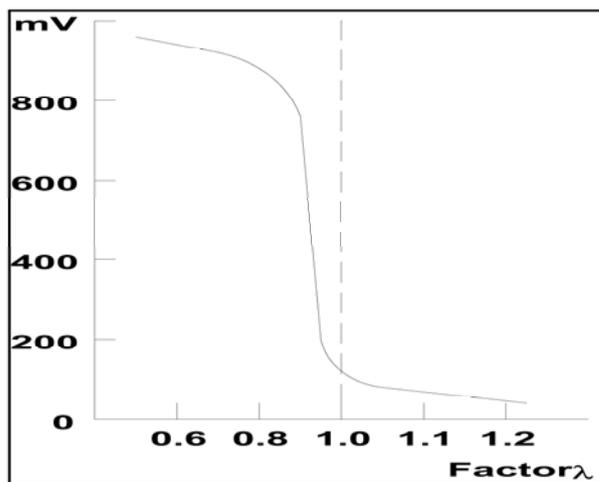


Figura 3.5  
Tensión de la sonda lambda para una temperatura de trabajo de 600°C

Soluciones que actúan sobre el combustible :

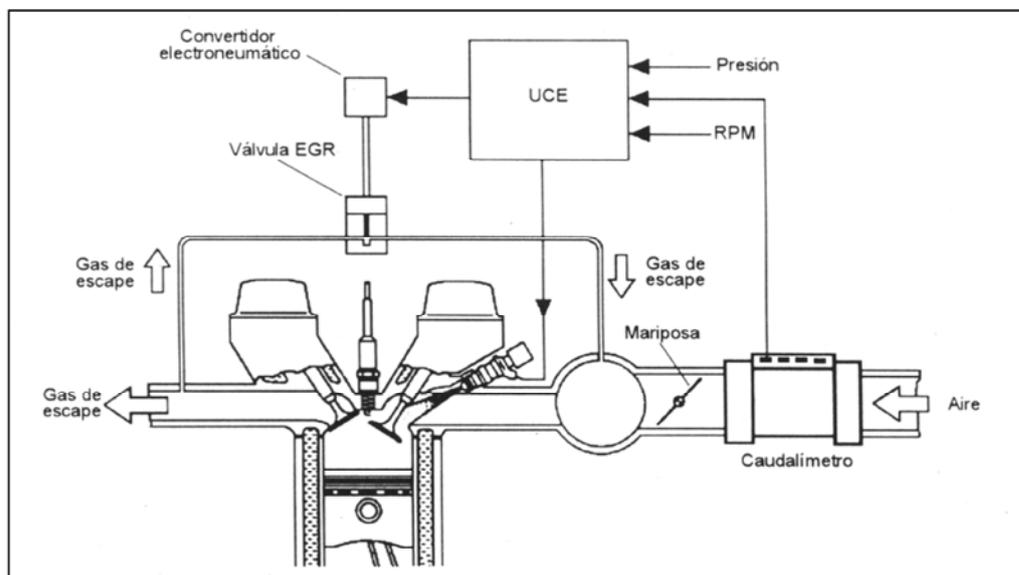
Los óxidos de plomo y de azufre que se producen en la combustión son debidos exclusivamente a la presencia de estos elementos en los combustibles. La mejor forma de eliminarlos es reduciendo su contenido en las gasolinas.

Preparación de la mezcla:

Una formación de la mezcla homogénea y una estratificación del combustible controlado, son buenas soluciones de diseño.

Recirculación de gases de escape :

Los gases de escape pueden ser reintroducidos en la cámara de combustión con el fin de reducir la temperatura máxima de combustión. Ya que la formación de óxidos de nitrógeno depende fuertemente de la temperatura máxima de combustión.



**Figura 4.4**  
Recirculación de gases de escape

### Relación de compresión:

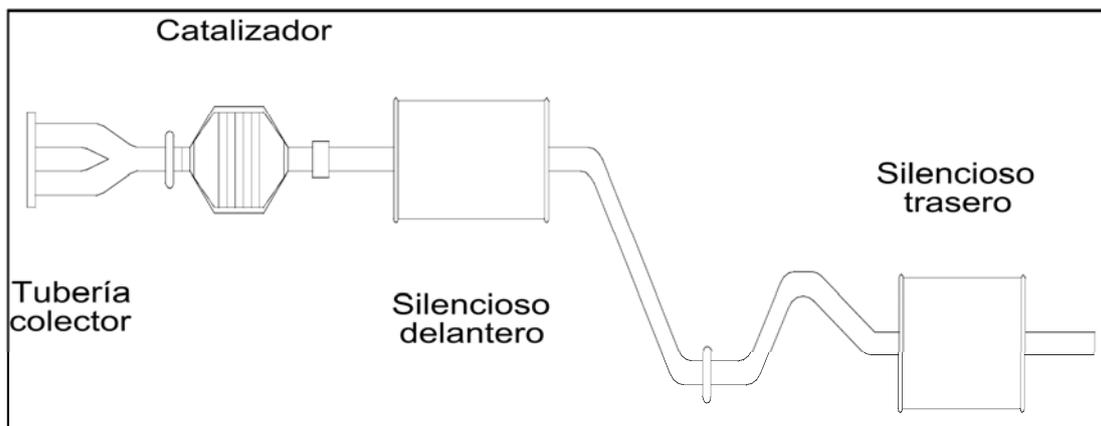
Una elevada relación de compresión permite obtener mejores rendimientos al motor, con lo que incrementaríamos la potencia y disminuiría el consumo específico de combustible. Pero las temperaturas máximas de combustión aumentan rápidamente, y con ellas las emisiones de NOx.

### Soluciones que actúan sobre los gases de escape:

Las normas anticontaminantes en vigor hacen imposible llegar a los standard impuestos actuando únicamente sobre el proceso de combustión propiamente dicho. La única alternativa viable actualmente es proceder sobre los propios gases de escape después de abandonar la cámara de combustión.

### EL CATALIZADOR

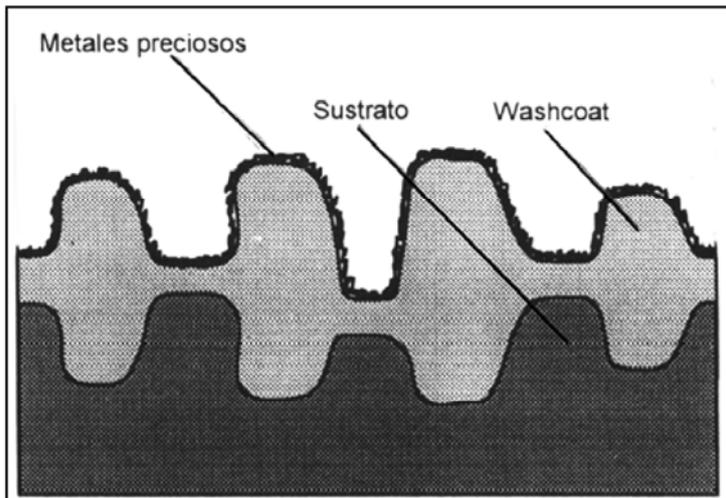
En el mundo de la química se conoce como catalizador a aquellas sustancias que, al estar presentes en una reacción química, la aceleran sin intervenir en ella. Es decir, los catalizadores provocan que las reacciones se desarrollen con mayor velocidad, pero al finalizar las mismas, no se han combinado con los reaccionantes y pueden ser utilizados de nuevo.



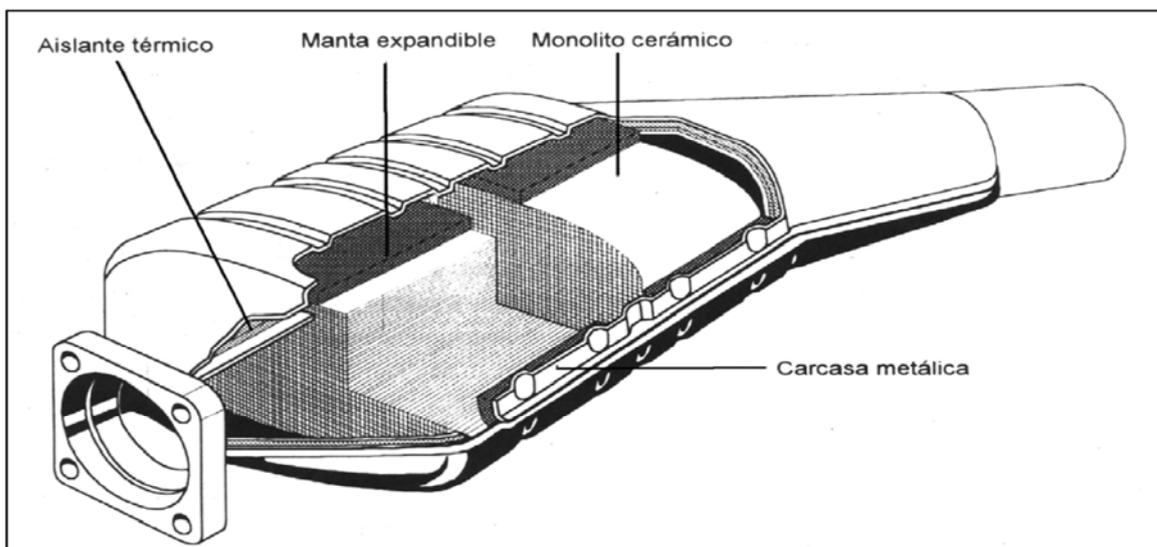
**Figura 5.1**  
Situación del catalizador en el sistema de escape

Componentes del catalizador:

Para que las reacciones químicas necesarias para la eliminación de los contaminantes tengan lugar con la suficiente efectividad y rapidez, es imprescindible que el gas de escape entre en contacto con los metales preciosos encargados de acelerar las reacciones químicas y permanezca el tiempo suficiente para que la reacción se complete.

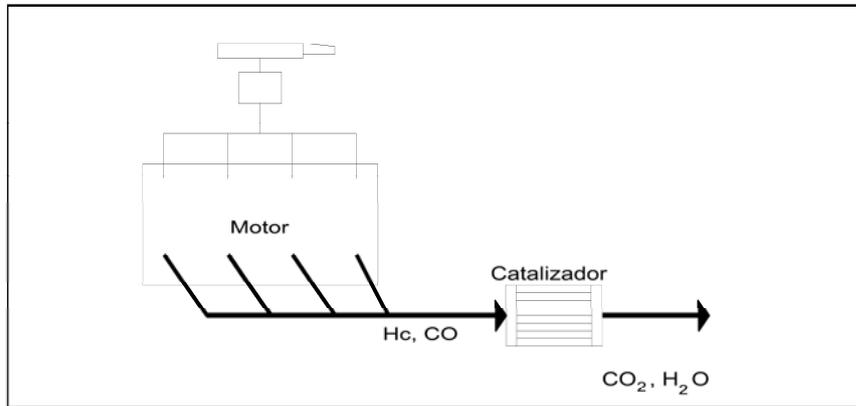


) **Figura 5.4**  
: Ampliación de la superficie de una celdilla

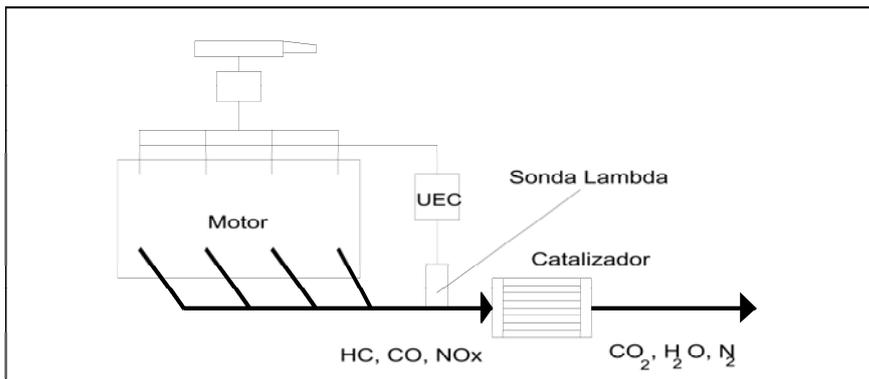


**Figura 5.5**  
Corte de un catalizador con manta expandible

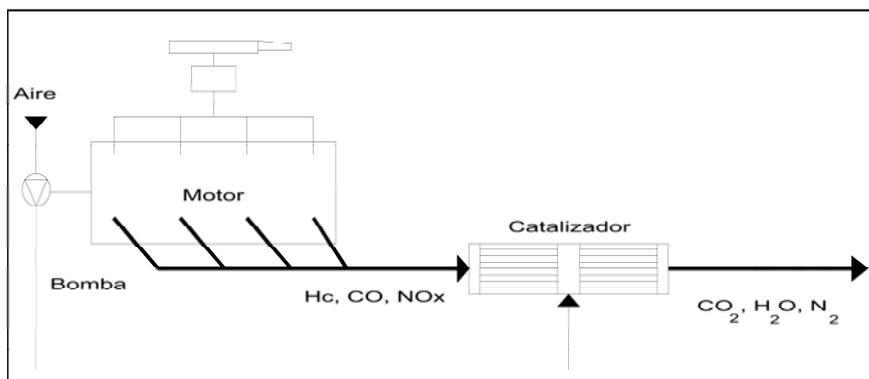
## TIPOS DE CATALIZADORES



**Figura 5.6**  
Esquema de la instalación de un catalizador de 2 vías



**Figura 5.8**  
Esquema de la instalación de un catalizador de 3 vías de bucle cerrado



**Figura 5.7**  
Esquema de la instalación de un catalizador de 3 vías de bucle abierto

A diferencia de los catalizadores con toma de aire que realizan primero las reacciones de reducción y acto seguido las de oxidación, los catalizadores con sonda lambda actúan sobre los tres contaminantes simultáneamente es decir, oxidan los HC y CO y reducen los NOx al mismo tiempo.

Para que todas las reacciones tengan lugar adecuadamente, es necesario que la relación aire/combustible del motor esté muy cercana al valor estequiométrico, por lo que es imprescindible la utilización de inyección de combustible controlados electrónicamente que permitan la utilización de sistemas de regulación lambda.

#### NORMAS BASICAS DEL CATALIZADOR:

1 - No utilizar nunca gasolina con plomo, ya que incluso pequeñas cantidades de este elemento son suficientes para dañar el catalizador.

2 - Comprobar el consumo de aceite del motor que no debe ser superior a un litro cada mil kilómetros. Si se supera este consumo, se podrían dañar seriamente las características catalíticas del convertidor.

3 - No arrancar el vehículo empujándolo cuando el catalizador se encuentra caliente, ya que el motor podría expulsar al escape combustible sin quemar que pasaría al catalizador y se quemaría en él produciéndose la fusión del monolito cerámico.

4 - No utilizar aditivos para la gasolina que contengan plomo, ya que producirían el envenenamiento del catalizador y por tanto su inutilización.

5 - Es recomendable realizar revisiones periódicas del vehículo y en especial del sistema de encendido, ya que cualquier fallo grave en un motor producirá la destrucción del catalizador.

6 - Nunca debe permitirse que el depósito de gasolina se vacíe, pues daría lugar a un suministro irregular de combustible, provocando falsas explosiones y una elevada temperatura en el catalizador que podría provocar su fusión.

Cuando un catalizador no cumple su función anticontaminante y los kilómetros recorridos por el vehículo no indican que pueda haber finalizado su vida útil, se debe a una o varias de las siguientes causas:

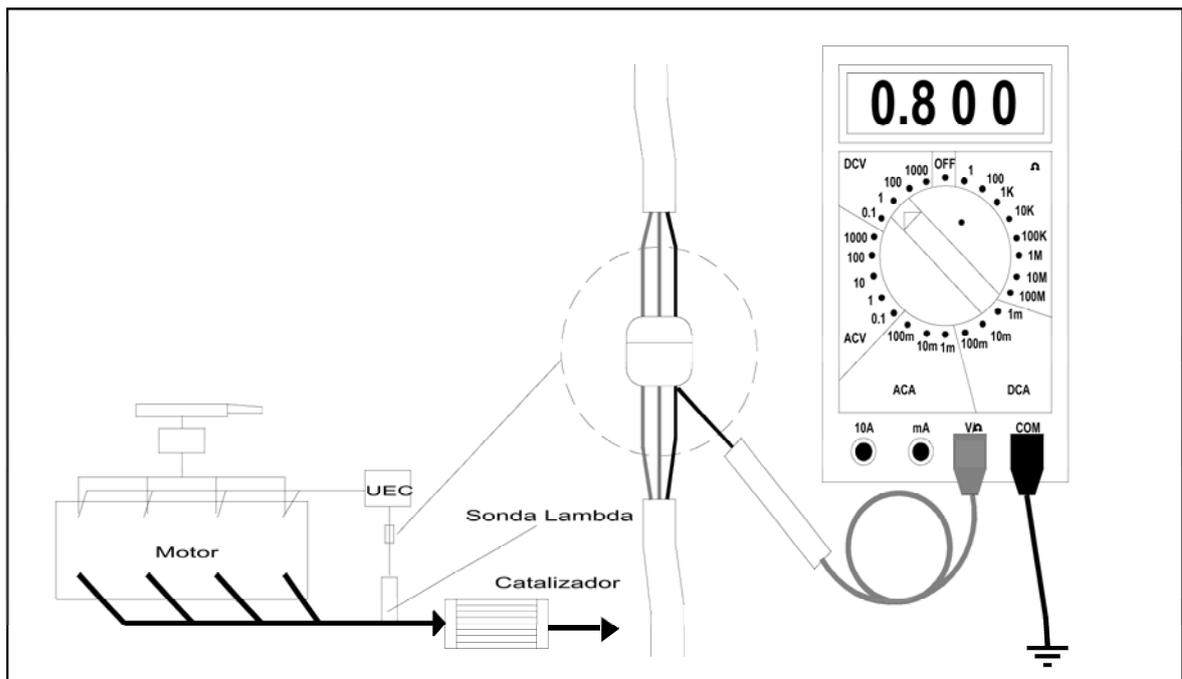
- - Envenenamiento por plomo.
- - Obstrucción por materias extrañas.
- - Rotura por impactos.
- - Fusión del monolito.
- - Envenenamiento por plomo:

### **Catalizador de 3 vías con bucle cerrado:**

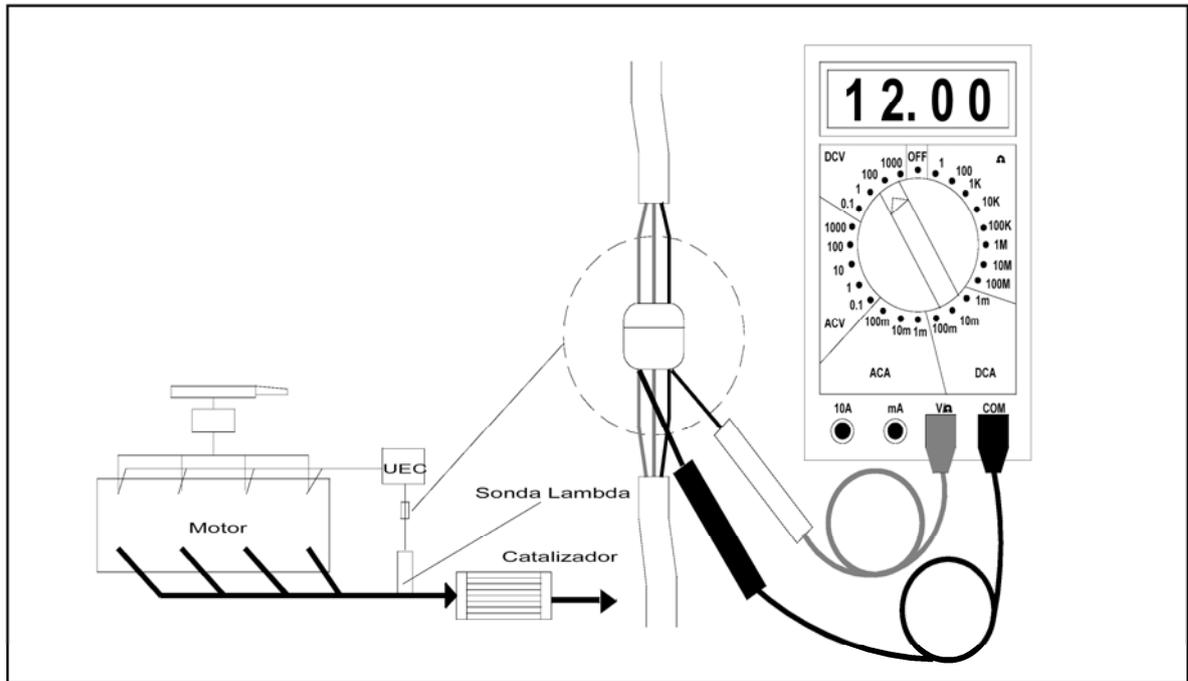
	CO(%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	$\lambda$
1	menor que 0.2	menor que 50	mayor que 0.2	mayor que 1.00
2	entre 0.2 y 0.3	entre 50 y 100	mayor que 0.2	entre 0.99 y 1.00
3	entre 0.3 y 0.8	entre 100 y 200	mayor que 0.2	entre 0.99 y 1.00
4	mayor que 0.8	mayor que 200		menor que 0.99

## LA REGULACION LAMBDA:

Como la regulación lambda depende de pocos elementos para su funcionamiento, es poco frecuente que se generen averías y, en caso de producirse estas, resultan sencillas de localizar y diagnosticar: sólo hay que verificar la sonda, la UCE y el cableado de ambos elementos.



**Figura 7.1**  
Esquema de las conexiones para verificación de la regulación lambda



**Figura 7.4**

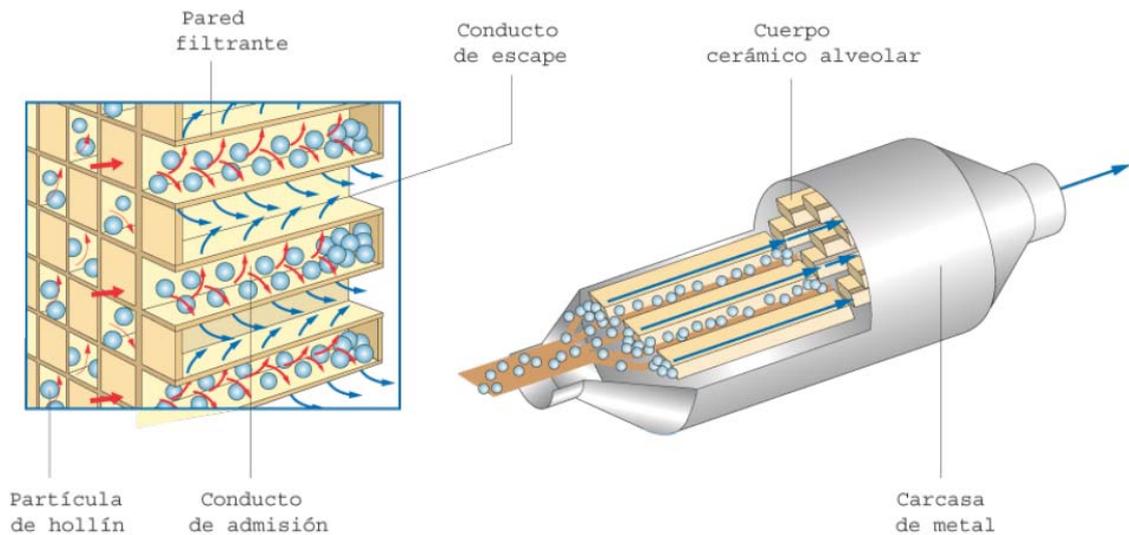
Esquema de las conexiones para la verificación de la resistencia de calentamiento de la sonda

#### FILTRO DE PARTICULAS:

Para disminuir en los diesel los NO<sub>x</sub> se utilizan los sistemas de recirculación de gases de escape ( EGR ).

El problema radica en la cantidad de partículas emitidas por esos motores, por la combustión y la cantidad de azufre del gasóleo.

Vamos a detallar la cantidad de partículas expulsadas por el motor.



Fracción sólida: se compone casi en toda su totalidad de partículas de carbón.

Sulfatos: proceden de los combustibles puesto que tienen pequeñísimas cantidades de azufre que no se eliminan totalmente al tratarse en las petrolíferas.

Fracción orgánica soluble: formada por una gran cantidad de hidrocarburos y subproductos procedentes de la combustión.

El catalizador actúa sobre el CO y lo HC, debe de hacerlos disminuir puesto que son fracción orgánica soluble, ya que la sólida al ser partículas de carbón es difícil puesto que el catalizador trabaja a bajas temperaturas y no permite la oxidación del carbón. El causante de esto es el azufre que hay en el combustible que se forma después de la combustión. ( hollín, carbón).

Durante el funcionamiento del motor se van acumulando partículas en el filtro que taponan el mismo, la solución pasa por regenerar los filtros para volver a operar.

La UCE en todo momento, y hace quemar las partículas acumuladas en el filtro.

Cuando la  $t^a$  de escape alcanza el umbral de la regeneración ( fuertes cargas ) las partículas se queman de manera natural en el filtro no siendo necesario aditivar.

Por el contrario cuando la temperatura no alcanza el límite de la regeneración, es necesario aumentar la dicha  $t^a$  con una postinyección después de la inyección principal. Se necesitan  $550^\circ$  para quemar las partículas, aditivando el carburante, bien en el depósito o en la entrada de la bomba de A/P, mediante cantidades de Ce (óxido de cerio) que reduce esa  $t^a$  a  $450^\circ$ . Además este aditivo es enviado por una bomba a través de un inyector que impregna las partículas del aditivo por las paredes del cilindro y cámara de combustión propagando la combustión.

## LA CERINA

Esta se mezcla en una disolución orgánica almacenada en un depósito adicional, situado junto al depósito del carburante. No se quema sino que se queda en forma de depósito sólido en el filtro.

La ayuda a la regeneración se efectúa en dos fases:

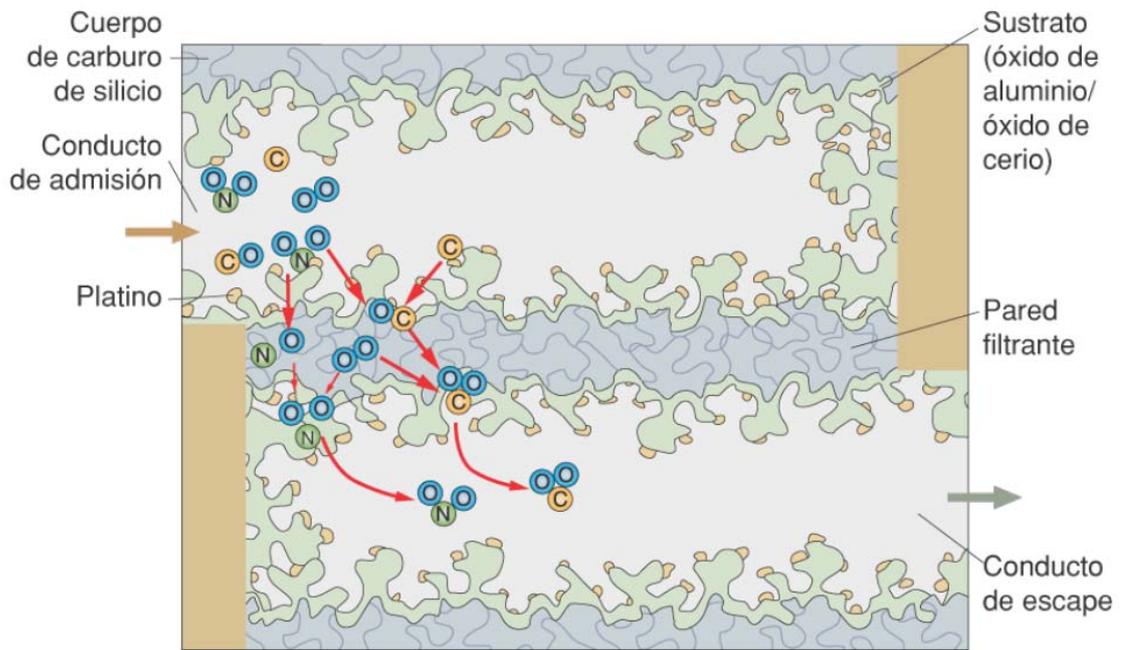
1ª mediante la postinyección, se consigue la subida de  $t^a$  en el catalizador para llegar al umbral máximo de eficacia

2ª la UCE modifica la duración y el momento de la postinyección con lo cual se suministra al catalizador los HC y con ello aparece la postcombustión que acarrea una subida de la  $t^a$  de  $100^\circ$  necesarios para llegar a la regeneración del filtro.

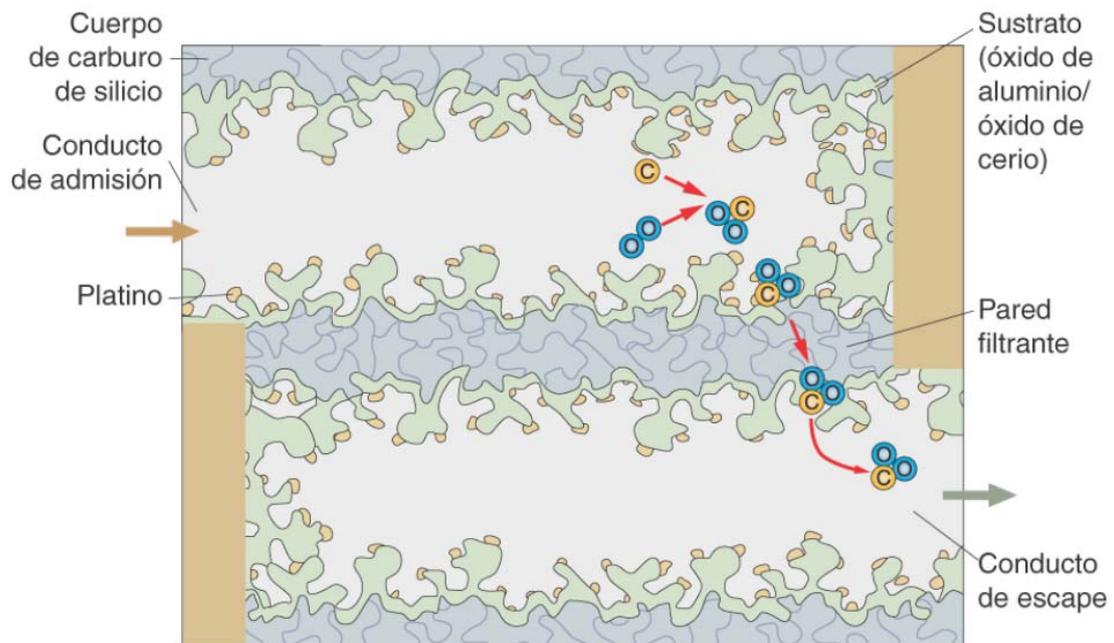
La UCE sabe en todo momento el nivel de atascamiento del filtro gracias a un captador de presión diferencial que mide la presión entre la entrada y salida del KAT- FILTRO.

Por otro lado 2 captadores de  $t^a$  situados a la entrada y a la salida del catalizador informan respectivamente de la  $t^a$  en ambas zonas. De esta forma el calculador de inyección sabe cuando y como debe de efectuarse la regeneración.

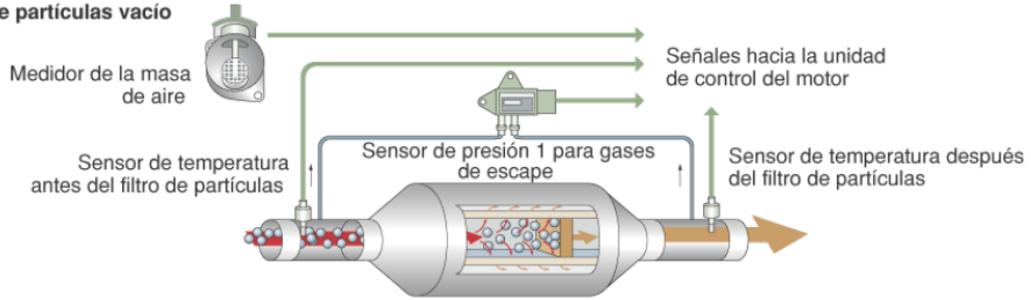
### REGENERACION PASIVA:



### REGENERACION ACTIVA:



**Filtro de partículas vacío**



Filtro de partículas vacío = baja resistencia de flujo

**Filtro de partículas saturado**

