

# ***Electromecánica***

***Equipo: A***

***Dispositivos de anticontaminación  
empleados en los motores de los  
automóviles***



***I.E.S La Laguna.***

Nombre alumno: ***Nayra Perdomo González.***

Nombre alumno: ***Jesús Manuel Ramallo Rodríguez.***

Nombre profesor: ***Carmelo Febles Mora.***

# Índice

- 1. INTRODUCCIÓN.**
- 2. NORMAS ANTICONTAMINACIÓN, APROBADA LA EURO 5.**
- 3. LA INYECCIÓN ELECTRÓNICA INDIRECTA.**
- 4. LA INYECCIÓN ELECTRÓNICA DIRECTA.**
- 5. CATALIZADORES.**
  - 5.1 TIPOS DE CATALIZADORES.**
  - 5.2 CONSTITUCIÓN DE ESTOS CATALIZADORES.**
  - 5.3 LOCALIZACIÓN DEL CATALIZADOR EN LA LÍNEA DE ESCAPE.**
- 6. EL SISTEMA DE FILTRO DE PARTÍCULAS PARA UNA MEJOR PROTECCIÓN DEL MEDIOAMBIENTE.**
  - 6.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FAP.**
  - 6.2 EL PRINCIPIO DE REGENERACIÓN DEL FILTRO DE PARTÍCULAS.**
  - 6.3 UN BALANCE MEDIOAMBIENTAL.**
- 7. INFORMACIÓN SOBRE LOS LUBRICANTES.**
- 8. INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA.**
  - 8.1 SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE.**
  - 8.2 ACELERADOR ELECTRÓNICO.**
  - 8.3 FUNCIONAMIENTO.**
  - 8.4 COLECTOR DE ADMISIÓN VARIABLE MEDIANTE TRAMPILLAS (CHAPALETAS).**
  - 8.5 CHAPALETA EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN ACCIONADA.**
  - 8.6 CHAPALETA EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN NO ACCIONADA.**
  - 8.7 SENSOR DE POSICIÓN PARA LA CHAPALETA EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN.**
  - 8.8 ELECTROVÁLVULA DE CONTROL PARA CHAPALETA EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN.**

- 8.9 MEDIDOR DE LA MASA DE AIRE CON SENSOR DE TEMPERATURA DEL AIRE ASPIRADO.**
- 8.10 APLICACIONES DE LA SEÑAL.**
- 8.11 ESTRUCTURA.**
- 8.12 SENSOR DE PRESIÓN EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN.**
- 8.13 APLICACIONES DE LA SEÑAL.**
- 8.14 FUNCIONAMIENTO.**
- 8.15 SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE (EGR).**
- 8.16 ASÍ SE DETERMINA LA CANTIDAD DE GASES DE ESCAPE A RECIRCULAR.**
- 8.17 SENSOR DE PRESIÓN PARA AMPLIFICACIÓN DE SERVOFRENO.**
- 8.18 APLICACIONES DE LA SEÑAL.**
- 8.19 FUNCIONAMIENTO.**
- 9. REACCIONES QUÍMICAS EN EL MOTOR.**
  - 9.1 INYECCIÓN DE AIRE EN EL ESCAPE.**
  - 9.2 INYECCIÓN DE AIRE SISTEMA PULSAIR.**
  - 9.3 CONVERTIDORES CATALÍTICOS (CATALIZADORES).**
  - 9.4 GASES DE ESCAPE Y CONTAMINANTES EN EL AUTOMÓVIL.**
  - 9.5 OTROS PRODUCTOS.**
  - 9.6 VAPORES DEL COMBUSTIBLE.**
  - 9.7 GASES DEL CÁRTER.**
- 10. SONDA LAMBDA**
  - 10.1 FUNCIONES.**
  - 10.2 RECICLADO DE VAPORES DEL DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE (CÁNISTER).**
- 11. RECIRCULACIÓN DE GASES DEL ESCAPE EGR.**
- 12. MEDIDAS PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN.**

# 1. INTRODUCCIÓN.

Este trabajo se basa en los sistemas de anticontaminación que pueden tener los vehículos para favorecer al medioambiente.

En él tratamos los catalizadores: estos tienen como misión disminuir los elementos contaminantes de los gases del escape.

Hablaremos del filtro de partículas que es el encargado de retener las partículas no quemadas y rechazadas por el motor.

Hablamos sobre los aditivos para intentar reducir la contaminación del vehículo igual que con otros elementos.

Hablaremos de lo que se refiere a la inyección directa de gasolina, su forma de reducir la contaminación etc.... sus ventajas e inconvenientes.

Hablaremos de las reacciones químicas del motor.

También hablaremos del trabajo encargado a la sonda lambda, que es la encargada de suministrar la señal a la unidad de control que varía según la composición instantánea de la mezcla.

La recirculación de los gases del escape se trata en el punto seis.

Y en el ultimo como finalización hemos querido hablar de las medidas para evitar la contaminación en lo mayor posible con los vehículos.

## 2. NORMAS ANTICONTAMINACIÓN, APROBADA LA EURO 5.

---

La Comisión Europea aprobó la versión definitiva de la directiva comunitaria conocida como Euro 5, el nuevo marco regulador para las emisiones contaminantes de los vehículos. La normativa entrará en vigor en 2008.

La Euro 5, que sustituirá a la actual normativa Euro 4, supondrá una “reducción drástica” en las emisiones de partículas y gases contaminantes en todos los coches que se vendan en la Unión Europea a partir de 2008.

Tanto partículas como gases se reducirán aproximadamente un 80 por ciento. Con este endurecimiento legal se pretende mejorar la calidad del aire de los países europeos, luchar contra el calentamiento global de la atmósfera y contribuir al cumplimiento de los acuerdos del protocolo de Tokio.

Así, tal y como explicó Günter Verheugen, comisario de Industria y Empresas de la UE, los motores Diesel deberán limitar sus emisiones a sólo 5 miligramos por kilómetro, muy por debajo del límite de 25 miligramos actual. Además, deberá rebajar la emisión de óxido nitrógeno (NOx) de 250 a 200 miligramos por kilómetro.

En el caso de las furgonetas, las reducciones propuestas suponen una bajada del 90 por ciento en las partículas y del 20 por ciento en el NOx. Por su parte, el todo terreno de más de 2,5 toneladas también “verán eliminada la exención con que contaban hasta ahora” respecto al nivel de emisiones. Es decir, no se permitirá que estos 4x4 de gran formato contaminen por encima de lo autorizado para el resto de vehículos.

Todos los motores Diesel deberán llevar filtros de partículas.

En cuanto a los motores de gasolina, la reducción del nivel de gases contaminantes deberá reducirse de 100 a 75 miligramos por kilómetro, lo que supone una bajada del 25 por ciento. Calidad ambiental

Con estos cambios legales y técnicos, la Comisión Europea asegura que se avanza de forma notable en la estrategia de calidad de vida en la Unión. Explican que “industria

europea del automóvil contribuirá con un diez por ciento a la reducción de emisiones dentro de esa estrategia”. Para el comisario Verheugen, “los automóviles europeos, un sector en el que la UE es pionera, sólo podrán abrirse camino en el mercado si responden a los más altos requisitos medioambientales, de calidad y de diseño”.

Actualmente, la industria europea ya está muy bien preparada para afrontar los requisitos de la Euro 5. Todos los fabricantes de motores cuentan con máquinas capaces de hacerlo, con lo que no se esperan muchos problemas para poner al día las gamas de productos.

### **3. LA INYECCIÓN ELECTRÓNICA INDIRECTA.**

Es un sistema de inyección independiente del de encendido donde una unidad de control activa los inyectores. Los inyectores están colocados en el colector de admisión. Sus componentes son:

- La rampa de inyección: su función es garantizar la igualdad de presión en todos los inyectores.
- Regulador de presión: mantiene una presión regulada entre 2,5 y 3 bares.
- Inyectores: son válvulas electromagnéticas activadas bajo la inducción magnética. Al estar activada provoca un chorro de combustible. Los impulsos de estos inyectores están sincronizados con la señal de encendido.
- Caudalímetro: Mide el caudal de aire aspirado por el motor. El funcionamiento de este se basa en el desplazamiento de una aleta-sonda bajo el empuje del aire de admisión. Esta aleta-sonda va unida por su eje a un potenciómetro.
- Interruptor de la mariposa: está unido al eje de la mariposa en uno de sus extremos y tiene como finalidad informar a la unidad de control de la situación de ralentí o de plena carga, así la unidad de control efectúa una regulación más precisa.
- Sensor de temperatura: va en contacto con el líquido refrigerante para informar a la unidad de control de la temperatura de este.

### **4. LA INYECCIÓN ELECTRÓNICA DIRECTA.**

En este sistema la gasolina es inyectada directamente en la cámara de combustión. La inyección es efectuada a una presión bastante elevada gracias a que una bomba de alta presión puede suministrar combustible a una rampa común.

En este sistema los inyectores están dentro de la cámara.

Con los sistemas de inyección electrónica se logra un menor consumo de combustible y menor contaminación, con respecto a los motores con carburación.

### **5. CATALIZADORES.**

El catalizador o convertidor catalítico se ha convertido en un elemento primordial a la hora de tratar los gases perjudiciales que salen por el tubo de escape de los automóviles. Este tiene como misión disminuir los elementos contaminantes contenidos en los gases de escape de un vehículo mediante la técnica de la catálisis.

Se trata de un dispositivo, que se monta en el tubo de escape, colocada después del colector de escape, ya que los gases mantienen una temperatura elevada. Esta energía

calorífica pasa al catalizador y eleva su propia temperatura, circunstancia indispensable para que este dispositivo tenga un óptimo rendimiento, que se alcanza entre los 400 y 700 grados centígrados.



## 5.1 TIPOS DE CATALIZADORES.

Según el sistema de funcionamiento, los catalizadores pueden ser de tres tipos:

- **Catalizador oxidante:** El mas sencillo y barato. Dispone de un solo soporte cerámico que permite la oxidación del monóxido de carbono (CO) y de los hidrocarburos (HC).

El oxido de nitrógeno (Nox) no se ve afectado por este tipo de catalizadores de ello se encarga el sistema EGR.

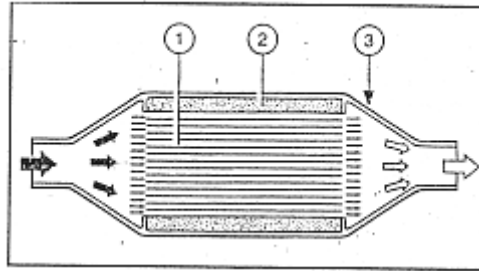


Las prestaciones de estos tipos de catalizadores sobre los gases de escape son difícilmente controlables. Las temperaturas máximas de los gases de escape en los motores diesel no permiten que se funda el monolito cerámico.

## 5.2 CONSTITUCIÓN DE ESTOS CATALIZADORES.

- De un monolito cerámico (1) en forma de nido de abeja. Sobre las paredes de este panel se deposita la sustancia que contiene metales preciosos (esencialmente platino).
- De una malla metálica (2) que permite la sujeción del monolito en su coquilla.
- De una envoltura (3) que incluye los conos de entrada y salida que permiten optimizar la repartición del flujo de los gases de escape.





### 5.3 LOCALIZACIÓN DEL CATALIZADOR EN LA LÍNEA DE ESCAPE.

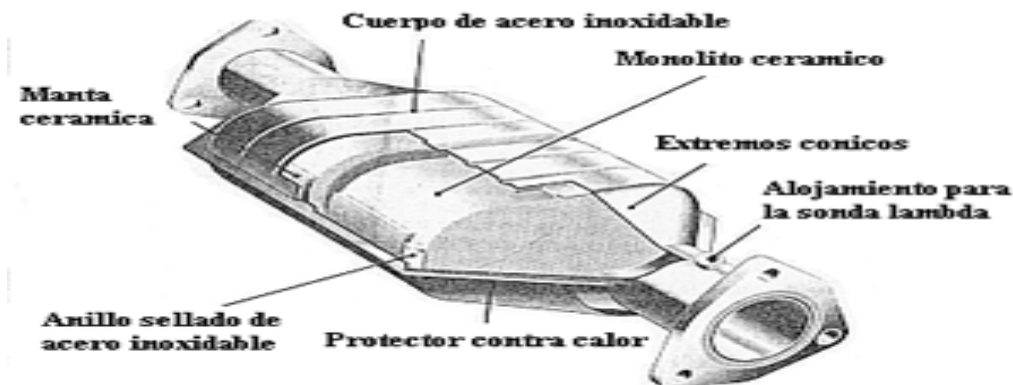
- 1- Catalizador.
- 2- Caja de expansión.
- 3- Silencioso.
- ZC- Zona de corte de la línea.

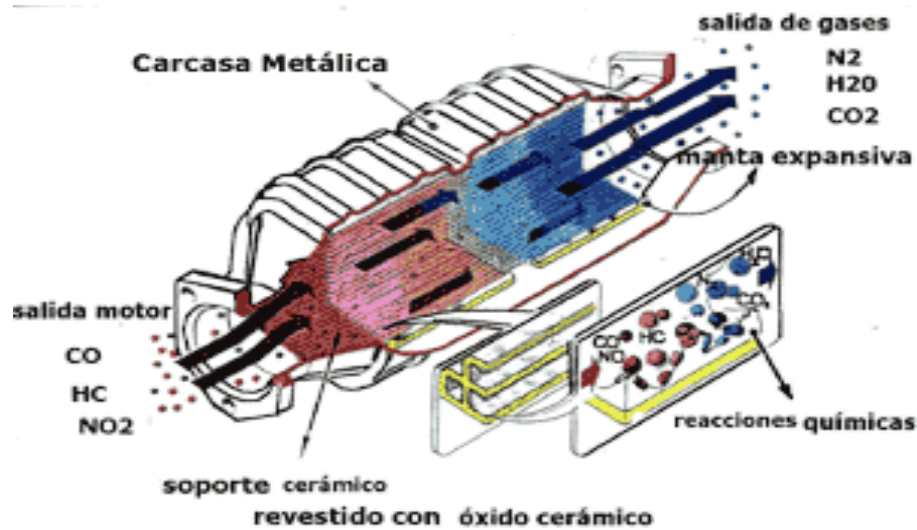
- **Catalizador de dos vías:** También llamados de oxidación, de doble efecto, o de doble cuerpo, son en realidad un doble catalizador de oxidación con toma intermedia de aire. El primer cuerpo actúa sobre los gases ricos de escape, reduciendo el óxido de nitrógeno (Nox), mientras el segundo lo hace sobre los gases empobrecidos gracias a la toma intermedia de aire, reduciendo el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC).

- **Catalizador de tres vías:** Son los más complejos, sofisticados y caros /siendo en la actualidad los más usados), y su evolución tecnológica ha desbancado a los catalizadores llamados de doble cuerpo en los que la oxidación de los gases contaminantes era incompleta. Los catalizadores de este tipo se llaman de tres vías, porque en ellos se reducen simultáneamente los tres elementos nocivos más importantes: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxido de nitrógeno (Nox).

Su mayor eficacia depende de la mezcla de los gases de admisión. Para que funcionen perfectamente los catalizadores de tres vías, es preciso que la mezcla aire-gasolina tenga la adecuada composición que se acerque lo más posible a la relación estequiométrica (un kilo de gasolina por 14,7 Kg de aire).

Los catalizadores de tres vías como el que se ve en la figura inferior, son los utilizados en motores de gasolina alimentados mediante inyección electrónica.





El catalizador es un elemento clave en el control de las emisiones resultantes de la combustión producida en los motores de automóvil; su principal función es realizar la transformación de algunos desechos contaminantes en otros más amigables al Medio ambiente. El catalizador se encuentra situado en el sistema de escape del motor, físicamente es identificable como un componente similar a un silenciador cerca del Colector posterior a la situación del sensor de oxígeno. Los motores en “V” suelen tener 2 catalizadores, uno para cada lado del motor. También es posible encontrar Sensores de Oxígeno para el monitoreo de la eficiencia catalítica que se encuentran situados después del catalizador, aunque esto no es muy común.

El Catalizador trabaja sobre 3 subproductos entre los muchos que se desechan a través del escape, ellos son el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos sin quemar (HC) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), motivo por el cual suelen clasificarse como “catalizadores de tres vías” en referencia a la cantidad de gases, también existen “catalizadores de 2 vías” que sólo funcionan sobre los 2 primeros gases en cuestión. La “catalización” de estos componentes consiste en transformarlos químicamente por oxidación en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua (H<sub>2</sub>O) y nitrógeno (N).

Internamente el catalizador posee una estructura con arquitectura similar a un panal de abejas, usualmente de cerámica aunque existen diferentes variantes. Esta estructura posee un revestimiento catalítico compuesto por platino, paladio y rodio. También pueden incluir otros elementos como rutenio e iridio. El costo de estos elementos así como de los respectivos procesos de manufactura se traduce en un elevado costo de reposición en caso de rotura o avería, llegando a tener precios prohibitivos.

El catalizador no es reparable.

Los catalizadores modernos no pueden funcionar por sí solos, requieren del conjunto de componentes que integran al Sistema de Control de Emisiones para la regulación de la mezcla de combustible, si se presentaran fallas en este sistema y/o en el sistema de encendido se puede producir la obstrucción total o parcial del catalizador.



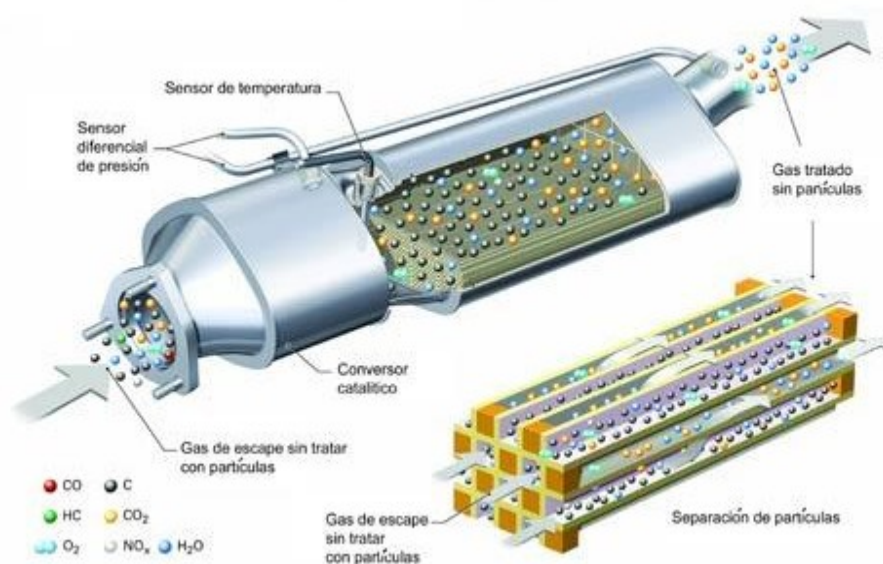
## 6. EL SISTEMA DE FILTRO DE PARTÍCULAS PARA UNA MEJOR PROTECCIÓN DEL MEDIOAMBIENTE.

Citröen presenta en el Salón del Automóvil de París, el sistema de filtro de partículas (FAP), que permite al motor 2.2 HDi del nuevo Citröen C5, reducir en más de un 95% las emisiones de partículas diesel.

Este filtro retiene las partículas no quemadas rechazadas por el motor, y asegura su combustión. El nivel de emisiones de partículas del motor HDi, ya de por sí particularmente bajo, debido a la inyección directa como rail, alcanza el límite de lo medible y va mucho más allá de las futuras normas medioambientales de la unión Europea. El sistema FAP refuerza así los logros del motor Diesel en materia de protección medioambiental.

El sistema FAP, desarrollado en 18 meses por el grupo PSA Peugeot Citröen, se puso en marcha gracias al como rail del motor HDi que, por su propio principio de funcionamiento, permite controlar las diferentes fases de la combustión. Vía el control motor, la flexibilidad del como rail permite, ajustando la temperatura de los gases de escape gracias a una postcombustión, dirigir la regeneración del filtro. Hasta el momento, la regeneración del filtro, por combustión de partículas filtradas, constituía el mayor obstáculo al desarrollo del FAP para el automóvil.

La solución técnica adoptada permite una regeneración eficaz, imperceptible para el conductor, que no repercute en absoluto en la conducción.



### 6.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FAP.

El filtro de partículas es una estructura porosa, de carburo de silicio, que captura las partículas de los gases de escape. Se caracteriza por una gran eficacia de filtración y una gran capacidad de retención de partículas.

Se compone de: un soporte filtrante asociado a un precatalizador situado más arriba y de captores de control de la temperatura y de la presión.

un programa evolucionado de mandos y controles del motor HDi “como rail” que dirige la regeneración del filtro y el auto-diagnóstico: es el corazón del sistema.

## **6.2 EL PRINCIPIO DE REGENERACIÓN DEL FILTRO DE PARTÍCULAS.**

La regeneración consiste en quemar periódicamente las partículas acumuladas en el filtro. Siempre que haya oxígeno la combustión se efectúa cuando la temperatura de los gases de escape es superior a 550°C.

La regeneración del filtro está dirigida por el sistema de inyección “como rail” que permite activar las inyecciones múltiples a fin de llevar la temperatura inicial de gas (del orden de 150°C en circulación urbana) a 450°C a la salida del colector de escape.

Esta operación de aumento de la temperatura se efectúa en dos etapas:

1. Una postinyección de carburante en fase de expansión produce una postcombustión en el cilindro y conlleva un aumento de la temperatura de 200°C a 250°C.
2. Una postcombustión complementaria, generada por un catalizador de oxidación situado sobre el filtro, transforma los hidrocarburos no quemados consecuentes de la postinyección. La temperatura puede aumentar 100°C más.

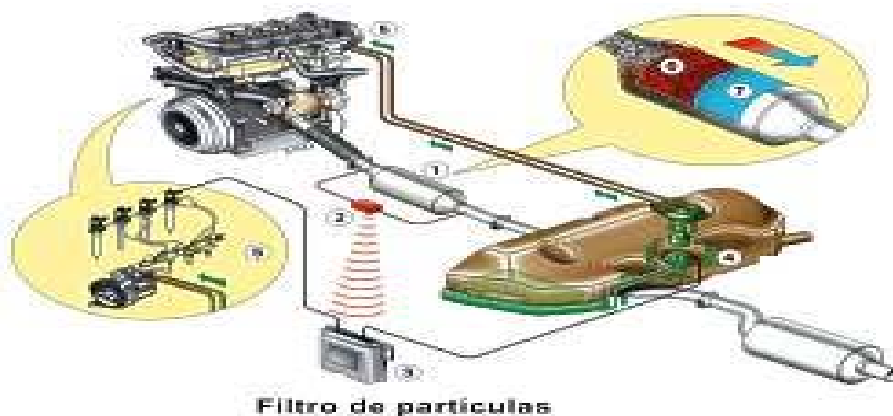
Para alcanzar la regeneración, el carburante incorpora Eolys (una composición a base de cerina), fabricado por la sociedad Rhodia, baja la temperatura natural de la combustión de las partículas a 450°C.

La filtración de los gases de escape se realiza constantemente. Según el estado de obstrucción del filtro, la regeneración interviene cada 400 o 500 Km.

Para asegurar su eficacia, el filtro se limpia con agua bajo presión hasta los 80.000 km. en los concesionarios con el propósito de eliminar los depósitos de cerina.

## **6.3 UN BALANCE MEDIOAMBIENTAL.**

El sistema FAP se inscribe dentro de la estrategia de reducción de emisiones contaminantes que persigue la marca Citroën y el grupo PSA Peugeot Citroën. El sistema FAP proporciona al motor Diesel HDi una ventaja ecológica determinante completando eficazmente sus resultados intrínsecos para la eliminación de partículas y de humos.



## 7. INFORMACIÓN SOBRE LOS LUBRICANTES.

La legislación anticontaminación se ha ido endureciendo progresivamente tanto en Europa como en los Estados Unidos de Norteamérica en los últimos años. Hasta ahora ha sido suficiente la generalización del uso del catalizador de tres vías, o pequeñas mejoras en el rendimiento, para que los nuevos motores instalados en los automóviles de turismo cumplieran unas leyes cada vez más exigentes. Sin embargo, los límites que se prevé que entren en vigor a principios del próximo milenio estarán fuera del alcance de los actuales motores de inyección indirecta de gasolina, especialmente debido a que las nuevas leyes restringirán también las emisiones de CO<sub>2</sub>. Puesto que el dióxido de carbono no puede ser eliminado de los gases de escape mediante oxidación o reducción alguna y toda combustión de hidrocarburos lo produce, se hace imprescindible reducir la cantidad de combustible que se quema en los motores. Si se pretende mantener los actuales niveles de potencia y prestaciones no queda otro remedio que aumentar el rendimiento global del motor de una manera sustancial, cosa no posible si no se varía el concepto básico de los motores actuales. Una de las más claras alternativas para conseguir esta mejora son los motores de mezcla estratificada, capaces de funcionar con un dosado relativo muy variable, desde mezclas extremadamente pobres (con FR en las proximidades de 0,15), hasta dosado estequiométrico o ligeramente rico.

En Septiembre de 1995, tres fabricantes europeos de automóviles de gran peso y prestigio en el mercado mundial acordaron el comienzo de un programa conjunto para el desarrollo de una gama de motores de gasolina de inyección directa para su instalación en automóviles de turismo. Para este proyecto requirieron la colaboración de un importante fabricante de componentes y electrónica para el automóvil y de la Cátedra de Termodinámica Aplicada (Lehrstuhl für Angewandte Thermodynamik o LAT) perteneciente a la Universidad Técnica de Renania Westfalia (Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen) en la ciudad alemana de Aquisgrán.

Estos dos últimos miembros del consorcio serían los encargados de diseñar, fabricar y probar los distintos prototipos para el sistema de inyección directa de gasolina que alimentaría los futuros motores.

El consorcio formado por estos cinco miembros se basó en investigaciones previas realizadas individualmente por los tres fabricantes de automóviles, así como en los resultados de un proyecto previo llamado GADI, para estructurar un completo programa de desarrollo con una duración prevista de cuatro años, subdividido en distintos

proyectos, que desembocará en la construcción de los primeros prototipos de estos motores. Una vez contruidos estos prototipos serán necesarios otros dos años para las correspondientes pruebas en carretera y últimas mejoras de los diseños, así como un año más para su puesta en producción. Como consecuencia, la entrada definitiva en el mercado de los automóviles equipados con estos motores de inyección directa y encendido provocado tendrá lugar unos siete años después del comienzo del proyecto, es decir, en torno al año 2002 ó 2003.

El desarrollo de un nuevo tipo de motor, que introduce grandes cambios con respecto al concepto básico de los actuales motores de gasolina de inyección indirecta, supone el replanteamiento de muchos de los componentes que actualmente son indispensables para la industria del automóvil. Como consecuencia, el consorcio europeo recién formado puso en marcha seis proyectos diferentes, cuyo objetivo principal es el desarrollo de la tecnología necesaria para establecer el potencial de los motores de inyección directa, tanto de encendido provocado como por compresión, para conseguir unas cifras muy bajas en las emisiones de CO<sub>2</sub>, CO, hidrocarburos sin quemar, óxidos de nitrógeno, partículas y ruidos. Además, la información obtenida de estos proyectos servirá también al Parlamento Europeo para ultimar las nuevas leyes anticontaminación previstas para el año 2000.

El presente Proyecto de Fin de Carrera se realizó en el LAT durante el primer semestre del año 1997 y cubre una parte de las pruebas realizadas en este centro dentro del proyecto ADIGA. Es, por lo tanto, un proyecto eminentemente práctico, que muestra los resultados de seis meses de pruebas continuas, así como de trabajo de mantenimiento y mejora de un sistema complejo y frágil como la cámara de medida de alta presión. Al mismo tiempo, por tratarse de una iniciativa completamente privada, sometida a un contrato, gran parte de los resultados expuestos en este proyecto han sido también presentados a los miembros del consorcio que desarrolló el programa en los plazos y formatos convenidos. Además, la comunicación con el fabricante de los inyectores era continua, a fin de acelerar el desarrollo de futuras generaciones de este sistema. La segunda generación de inyectores, recibida en marzo de 1997 ya incorporaba algunas mejoras basadas en los resultados obtenidos en el LAT en los primeros meses de pruebas.

La misión del LAT en esta parte del proyecto era realizar pruebas de evaporación y comportamiento del spray con los primeros prototipos de inyectores suministrados por el fabricante. A tal efecto se utilizó una cámara de medida de alta presión, que será descrita con detalle en el Capítulo 3 de este proyecto, en la que se podían simular las condiciones de presión y temperatura que se pueden encontrar dentro de un cilindro en un motor real en el momento de la inyección. Como será brevemente explicado más adelante en esta introducción y con mayor detalle en sucesivos capítulos de este proyecto, la mayor ventaja de la inyección directa de gasolina frente a la inyección tradicional (por encima de la válvula de admisión), es que permite inyectar el combustible en distintos momentos de la carrera del cilindro, tanto en su carrera descendente (coincidiendo con la admisión del aire fresco, como en un motor de inyección indirecta), como en la carrera ascendente (durante la compresión) o incluso cuando el pistón se encuentra cerca de su punto muerto superior. Esto hace que las condiciones que encuentra el combustible al entrar en el cilindro sean muy diferentes de un caso a otro, ya que una inyección temprana encuentra una presión aproximadamente igual a la del ambiente (en motores atmosféricos) y una temperatura relativamente baja, mientras que una inyección tardía encontrará una presión muy superior (por encima de

los 20 bar para una relación de compresión normal en este tipo de motores) y una cámara calentada durante la compresión. Este hecho obligó a realizar las pruebas con los inyectores a distintas presiones y temperaturas. Al comienzo del periodo de pruebas se diseñó un programa de medidas (expuesto en su totalidad en el Capítulo 4) en el que se conjugaban todas las variables que iban a ser analizadas:

- Presión en la cámara ( $P_{ch}$ ).
- Temperatura en la cámara ( $T_{ch}$ ).
- Duración de la inyección ( $t_{inj}$ ).
- Presión en la línea de combustible cuando este es inyectado o "presión de inyección" ( $P_{inj}$ ).
- Presencia o no de turbulencia en el interior de la cámara en el momento de la inyección.

La cámara de alta presión en la que se realizó la práctica totalidad de las pruebas fue originalmente diseñada para estudiar el comportamiento de inyectores Diesel de inyección directa, por lo que era capaz de simular temperaturas y presiones muy superiores a las máximas utilizadas durante este período de pruebas. Antes de comenzar éste, la cámara hubo de ser modificada y acondicionada para su nuevo cometido.

También fueron instalados (y en algunos casos diseñados y fabricados), nuevos equipos y componentes que se utilizarían por primera vez en este banco de pruebas, como por ejemplo el sistema de vídeo de alta velocidad o distintos módulos en la cabeza de la cámara, como será explicado en el capítulo 3 de este proyecto. Todos estos nuevos sistemas hubieron de pasar por un periodo de adaptación y ajustes hasta que llegaron a funcionar correctamente.

El LAT recibió el primer grupo de prototipos para el sistema de inyección en el segundo semestre de 1996 y sus pruebas comenzaron a principios del año 1997. En una primera fase sólo se pretendió estudiar el comportamiento del spray de combustible (siempre se utilizó gasolina sin plomo comercial con un índice de octano de 97) al ser inyectado en la cámara de medida de alta presión ante la variación de alguna de las variables anteriormente expuestas. A este efecto se utilizó un sistema de vídeo de alta velocidad que permitía registrar imágenes aisladas de una duración extremadamente corta (hasta  $1\mu s$ ) y con un retardo preciso y conocido, pero variable a voluntad del usuario, respecto a una señal exterior. Para cada punto definido en el programa de medidas (ver Capítulo 4), se obtuvo una secuencia de imágenes separadas por un intervalo temporal definido que dependía de la duración de la inyección en ese punto.

Las imágenes así obtenidas podían ser inmediatamente transferidas a un ordenador y almacenadas en su memoria, mediante el software adecuado, para su posterior tratamiento y análisis. Éste comenzaba con el cálculo de la media de treinta imágenes tomadas consecutivamente, en el mismo instante de la evolución de la inyección y con las mismas condiciones. De esta forma se obtenía una sola imagen que caracterizaba un cierto instante de la evolución del spray para unas condiciones de contorno dadas, evitando el efecto de las variaciones entre ciclos. En esta primera fase de los ensayos se realizaron cerca de 10000 instantáneas que produjeron más de 300 "medias" que pasaron a la fase de análisis.

Una vez obtenidas las imágenes *mvsr*, éstas pasaban a ser analizadas para poder comparar parámetros característicos del spray de la inyección. En primer lugar se utilizó un programa de diseño gráfico comercial para medir longitudes y ángulos característicos. Los datos así obtenidos se almacenaron en hojas de cálculo en formato EXCEL, de modo que posteriormente fuera más sencillo el acceso a los mismos para realizar los gráficos y comparaciones que se consideraron necesarios y que forman el cuerpo principal del Capítulo 5 del presente Proyecto Fin de Carrera.

A la vista de los resultados de este análisis, se observó la necesidad de obtener algunos datos adicionales para la mejor comprensión de la manera en que las condiciones de la cámara podían influir en el comportamiento del spray y, lo que es más importante, cómo podría verse afectada la ignición de la mezcla por las condiciones de la inyección y de la cámara de combustión. Como datos complementarios, obtenidos a partir de las mismas imágenes *mvsr*, se obtuvieron las áreas cubiertas por el spray en algunos de los puntos de medida y el porcentaje de esa área cubierto por puntos con una determinada intensidad luminosa. Este último dato es de especial importancia, ya que todas las imágenes obtenidas con el sistema de vídeo de alta velocidad dentro de este programa definido lo fueron mediante la técnica *Schlieren*, estría en alemán, que muestra los cambios de densidad como cambios de intensidad luminosa en la imagen.

De esta manera era posible obtener una idea de como se produce la evaporación del combustible inyectado.

Pero no fueron las instantáneas obtenidas con el sistema de vídeo los únicos datos utilizados para el análisis. Aparte de este sistema, que fue el más usado en la obtención de datos, se utilizaron otros, como:

- **Cámara de alta velocidad NAC**, capaz de superar los 10000 fotogramas por segundo, aunque para estos ensayos solo se llevó hasta los 7200 fps. Con esta cámara se obtuvieron dos películas por cada punto de medición. Estas películas contenían el desarrollo completo de una única inyección cada una. Para obtenerlas se obtuvieron dos métodos *schlieren* diferentes, uno en color y otro en blanco y negro, que resaltaban diferentes aspectos de la evaporación. Algunos fotogramas procedentes de estas películas serán mostrados en un Anexo.
- **Técnica de iluminación por capas o *light sheet technique***. Se utilizó una disposición muy básica de esta técnica que permite iluminar tan solo un plano del suceso que se va a registrar para obtener una "sección" del mismo. De esta manera se pretendía comprobar si el spray de la inyección era realmente un cono hueco, tal y como se preveía en las líneas maestras previas al desarrollo.
- **Fotografía directa**. Algunas instantáneas directas, obtenidas sin filtro *schlieren*, se realizaron colocando el inyector en distintas posiciones para ver el inicio del spray desde distintos ángulos.
- **Medidas de masa**, destinadas a conocer el flujo másico de combustible a través del inyector en función de la presión de inyección.

Todos los datos obtenidos con los sistemas anteriores han sido también analizados y serán presentados a lo largo del presente PFC, especialmente en el Capítulo 5, dedicado precisamente al análisis de los datos. De esta forma se obtuvo una impresión



bastante completa del comportamiento del spray y de las variables que favorecen la evaporación de la gasolina, así como de los puntos y momentos en que ésta se produce.

Este dato es de la mayor importancia, pues será necesario optimizar la combustión a todos los regímenes de funcionamiento del motor y a todos los niveles de carga. Si ésta ya es una tarea complicada en un motor de inyección indirecta tradicional, lo será aun más en un motor de inyección directa puesto que este avance permite modos de funcionamiento muy diferentes según la carga a la que está sometido el motor en cada momento. En términos generales se pueden distinguir dos comportamientos completamente diferentes:

- **A carga parcial** el motor operará sin ningún tipo de estrangulamiento en la admisión (lo que mejorará el rendimiento volumétrico y reducirá las pérdidas), con una mezcla extremadamente pobre. Este tipo de marcha se conseguirá con una clara estratificación de la carga, preparando una mezcla rica en torno a la bujía y muy pobre en el resto de la cámara de combustión. En un motor de inyección directa esto se consigue mediante la inyección muy tardía del combustible en el interior del cilindro, incluso cuando el pistón está cerca de su punto muerto superior. Para conseguir una ignición correcta en estas condiciones muchos de los sistemas de inyección directa propuestos hasta el momento colocan la bujía en las proximidades del inyector, lo que genera nuevos problemas de fallo en la ignición por el impacto del combustible en los electrodos de la bujía.
- **A carga total** el motor debe operar en condiciones estequiométricas o incluso ligeramente ricas para conseguir mejores prestaciones. Si se utiliza mezcla estratificada, se genera hollín en la zona rica, así que debe proveerse el suficiente exceso de aire en torno a esa zona para quemar el hollín. Por lo tanto, a plena carga lo más indicado es utilizar mezcla homogénea estequiométrica o ligeramente rica. En los motores de inyección directa esto se consigue con una inyección temprana (cuando el pistón recorre su camino descendente en el cilindro) y de mayor duración.

Se aprecia, por lo tanto, que los requerimientos del sistema de ignición a plena carga serán similares a los de un motor actual de inyección indirecta, ya que el pistón comprimirá una mezcla homogénea de aire y combustible, que será la que encuentre la chispa en el momento de saltar. No obstante, a cargas parciales el mecanismo de ignición cambia completamente, por lo que era necesario realizar las pruebas pertinentes. La segunda parte de este Proyecto Fin de Carrera recoge los primeros pasos de los ensayos que comenzaron a mediados de Mayo de 1997 y en los que se pretendía encontrar la posición óptima de la bujía, la duración e intensidad de la chispa, el momento en que debe saltar y demás datos necesarios para optimizar el comienzo de la combustión tras una inyección tardía. Estos ensayos se realizaron siempre con presiones medias y altas (típicamente 8 bar) en el interior de la cámara de medida, pues son estas las condiciones en las que se inyectará en un motor real al buscar mezcla estratificada.

En el Capítulo 6 se abordará el problema de la ignición y se mostrarán los primeros datos obtenidos. Durante el siguiente período de ensayos (a partir de Septiembre de 1997) se pretende continuar con las pruebas de ignición. Algunos de los datos ya obtenidos no han podido ser analizados, debido a que no podían ser procesados por los programas informáticos utilizados para los ensayos Diesel. Una de las primeras tareas en un futuro próximo será realizar las modificaciones pertinentes en estos programas para poder analizar los ensayos de extinción de luz descritos en el capítulo 6.

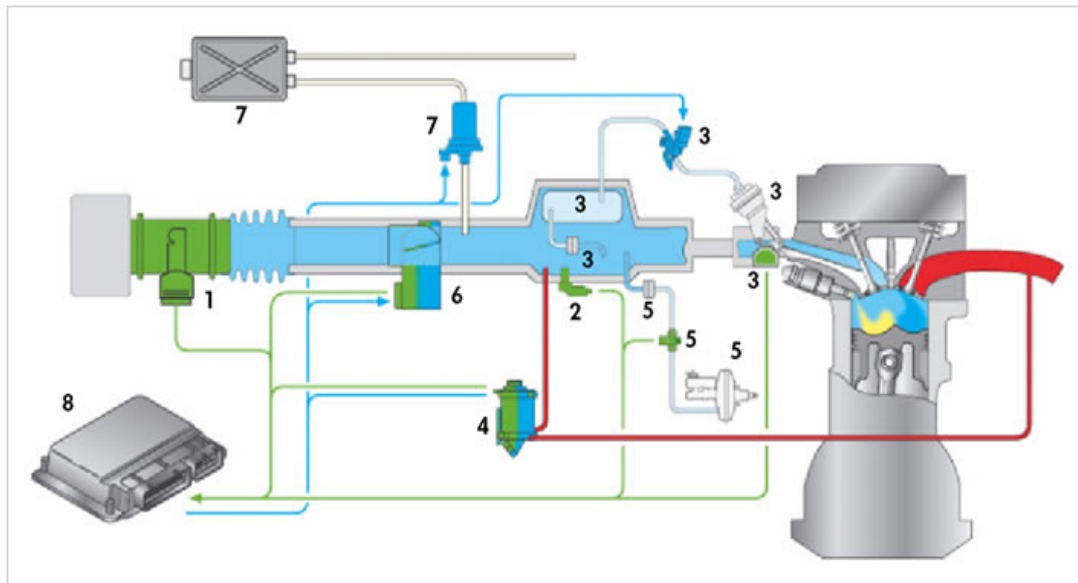
A lo largo de este PFC se usará normalmente la relación entre aire y combustible (A/F) para expresar el dosado, a fin de ser consecuente con la nomenclatura anglosajona utilizada habitualmente en la documentación interna del proyecto ADIGA. Recuérdese que la relación A/F para mezcla estequiométrica tiene un valor aproximado de 14,6 para una gasolina comercial común.

## **8. INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA.**

### **8.1 SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE.**

Ha sido adaptado a las necesidades de un motor de inyección directa de gasolina, en comparación con un sistema de inyección en el colector de admisión, el sistema influye de forma específica en el flujo del aire en el cilindro, según el modo operativo de funcionamiento del motor (modo estratificado, modo homogéneo, etc)..Los elementos básicos que forman el sistema de admisión de aire son los siguientes:

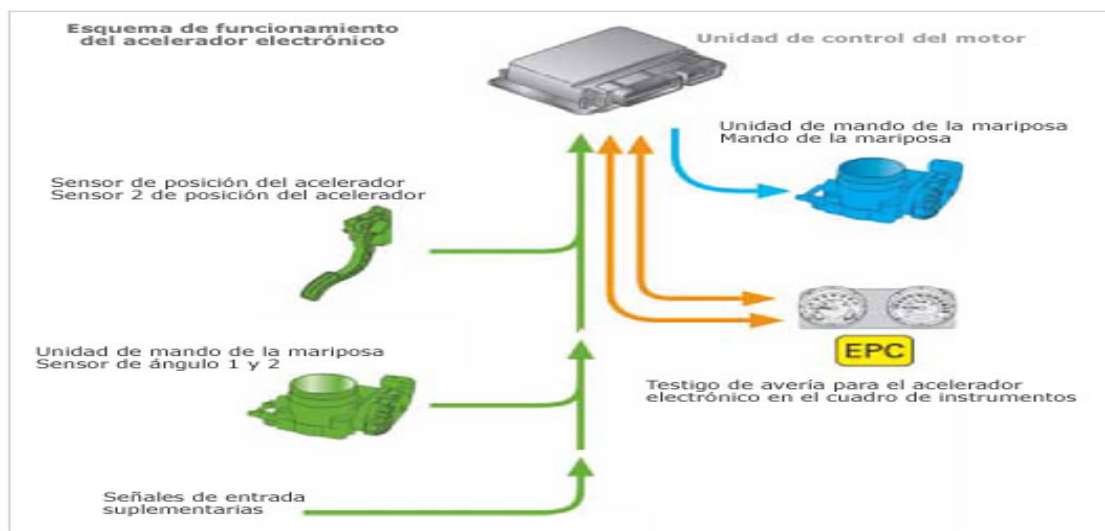
1. un medidor de la masa de aire por película caliente con el sensor de temperatura del aire aspirado (G42) para la determinación exacta de las condiciones de carga
2. un sensor de presión en el colector de admisión para calcular la cantidad de gases de escape a recircular
3. un circuito de mando para las chapaletas en el colector de admisión con objeto de conseguir un flujo específico del aire en el cilindro
4. una electroválvula de recirculación de gases de escape con una gran sección de paso para conseguir altas cantidades de gases recirculados
5. un sensor de presión para servofreno, destinado a regular la depresión de frenado.
6. unidad de mando de la mariposa
7. depósito de carbón activo
8. unidad de control del motor



## 8.2 ACELERADOR ELECTRÓNICO.

Constituye la condición previa esencial para la inyección directa de gasolina. Con su ayuda se puede regular la válvula de mariposa independientemente de la posición del acelerador y en los modos estratificado y homogéneo-pobre se la puede abrir a una mayor magnitud.

La ventaja se manifiesta en un funcionamiento del motor casi exento de pérdidas de estrangulamiento. Eso significa, que el motor tiene que aspirar el aire superando una menor resistencia, con lo cual se reduce el consumo de combustible.



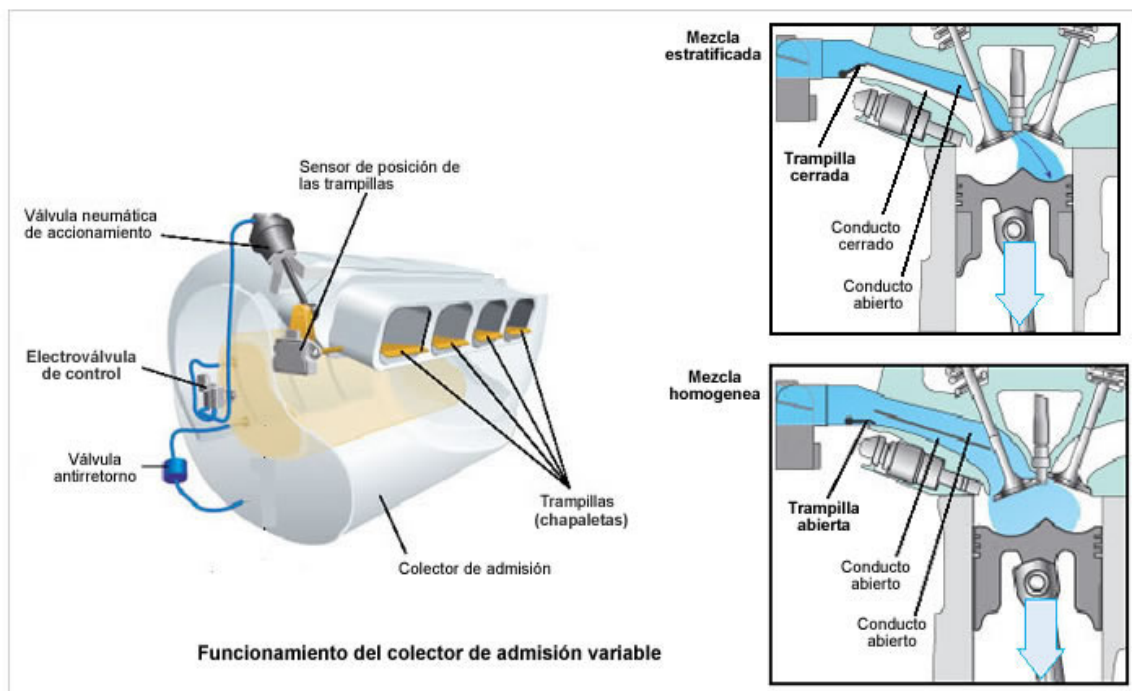
## 8.3 FUNCIONAMIENTO.

Los deseos expresados por el conductor a través del acelerador se detectan por medio de los sensores de posición del acelerador y se transmiten a la unidad de control del motor. Con ayuda de esta señal y otras señales suplementarias calcula el par necesario y lo implementa a través de los actuadores.

- **En el modo estratificado** se determina el par del motor a través de la cantidad de combustible.  
La válvula de mariposa se encuentra casi completamente abierta, excepto un estrangulamiento necesario para el depósito de carbón activo, la recirculación de gases de escape y eventualmente para la regulación de la depresión para el freno.
- **En los modos homogéneo-pobre y homogéneo** el par del motor se determina a través del ángulo de encendido y la masa de aire aspirada.  
La válvula de mariposa abre de acuerdo con el par motor necesario.

## 8.4 COLECTOR DE ADMISIÓN VARIABLE MEDIANTE TRAMPILLAS (CHAPALETAS).

Se utiliza para gestionar el flujo del aire en el cilindro de conformidad con el modo operativo reinante.



## 8.5 CHAPALETA EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN ACCIONADA.

En los modos estratificado y homogéneo-pobre y en partes del modo homogéneo se acciona la chapaleta en el colector de admisión y se cierra el conducto inferior en la culata.

Debido a ello el aire de admisión fluye únicamente a través del conducto superior hacia el cilindro. Este conducto está diseñado de modo que el aire de admisión ingrese describiendo una turbulencia cilíndrica. Adicionalmente aumenta la velocidad de flujo a través del estrecho conducto superior, intensificando la formación de la mezcla.

Esto tiene dos ventajas

- En el modo estratificado, el flujo cilíndrico del aire transporta el combustible hacia la bujía. En el trayecto hacia ésta se realiza la formación de la mezcla.
- En el modo homogéneo-pobre y en partes del modo homogéneo, el flujo de turbulencia cilíndrica del aire respalda la formación de la mezcla. De esta forma se consigue una alta capacidad de ignición de la mezcla y una combustión estable, así como un funcionamiento con mezcla pobre.  
Esto supone dos ventajas:

## **8.6 CHAPAleta EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN NO ACCIONADA.**

Al funcionar a cargas y regímenes superiores en el modo homogéneo no se acciona la chapaleta en el colector de admisión, con lo cual se encuentran abiertos ambos conductos. Debido a la mayor sección de paso del conducto de admisión, el motor puede aspirar la masa de aire necesaria para la entrega de un par más intenso y una alta potencia.

## **8.7 SENSOR DE POSICIÓN PARA LA CHAPAleta EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN.**

Va unido al eje para las chapaletas en el colector de admisión, y detecta la posición de las mismas, transmitiendo esta información a la unidad de control del motor. Esto es necesario, porque la actuación de las chapaletas en el colector de admisión influye en el encendido, en el contenido de gases residuales y en las pulsaciones del aire en el colector de admisión. La posición de las chapaletas en el colector de admisión resulta relevante por ello para los gases de escape, en virtud de lo cual se la tiene que verificar a través de la autodiagnos. Este sensor es un potenciómetro

### **\* Efectos en caso de avería del sensor**

Si se ausenta la señal del sensor ya sólo se permite el modo homogéneo.

## **8.8 ELECTROVÁLVULA DE CONTROL PARA CHAPAleta EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN.**

Es excitada por la unidad de control del motor y abre el paso del depósito de vacío hacia la válvula neumática de accionamiento. A raíz de ello la válvula neumática se encarga de accionar las chapaletas en el colector de admisión.

### **\* Efectos en caso de avería de la electroválvula**

Si se avería esta válvula ya sólo se permite el modo homogéneo.

## **8.9 MEDIDOR DE LA MASA DE AIRE CON SENSOR DE TEMPERATURA DEL AIRE ASPIRADO.**

Ambos sensores van alojados en una carcasa situada en el trayecto de admisión ante la unidad de mando de la mariposa.  
Para obtener la señal más exacta posible sobre la carga del motor se emplea un medidor de la masa de aire por película caliente con detección de flujo inverso. Mide no sólo el aire aspirado, sino que también detecta la cantidad de aire que vuelve debido a la apertura y el cierre de las válvulas.

La temperatura del aire de admisión medida por el sensor se utiliza como valor de corrección.

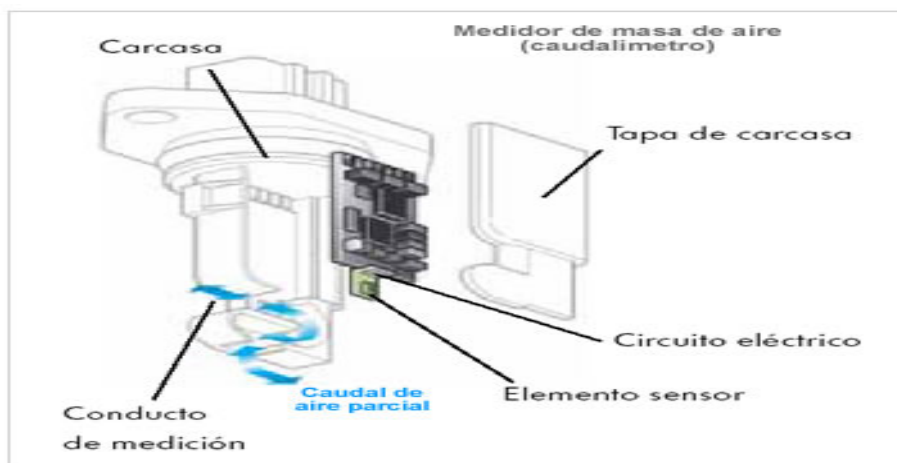
## 8.10 APLICACIONES DE LA SEÑAL.

Las señales se emplean para calcular todas las funciones supeditadas a la carga. Son éstas por ejemplo el tiempo de inyección, el momento de encendido y el sistema del depósito de carbón activo.

## 8.11 ESTRUCTURA.

El medidor de la masa de aire por película caliente consta de una carcasa de material plástico con un conducto de medición y un circuito eléctrico con un elemento sensor. El conducto de medición está diseñado de modo que una parte del aire aspirado y el aire de flujo inverso pasen ante el elemento sensor.

En el elemento sensor se genera con ello una señal que se procesa en el circuito eléctrico y se transmite a la unidad de control del motor.



### \* Efectos en caso de avería

Si se avería el medidor de la masa de aire se emplea la señal del sensor de presión en el colector de admisión como señal de carga del motor.

## 8.12 SENSOR DE PRESIÓN EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN.

Va fijado al colector de admisión. Mide la presión en el colector de admisión y transmite una señal correspondiente a la unidad de control del motor.

## 8.13 APLICACIONES DE LA SEÑAL.

Con esta señal y con las señales del medidor de la masa de aire y el sensor de temperatura del aire aspirado, la unidad de control del motor calcula la cantidad exacta de gases de escape a recircular.

Con el sensor de presión en el colector de admisión se detecta asimismo la carga durante el ciclo de arranque del motor, porque en esas condiciones son todavía demasiado inexactas las señales procedentes del medidor de la masa de aire, debido a las pulsaciones que presenta la admisión.



## 8.14 FUNCIONAMIENTO.

La medición de la presión en el colector de admisión se realiza con ayuda de una membrana de cristales de silicio. Sobre esta membrana hay resistencias extensométricas, cuya resistencia eléctrica varía ante cualquier deformación de la membrana. El vacío de referencia se utiliza para la comparación de presiones.

La membrana se deforma según la intensidad de la presión en el colector de admisión, con lo cual varía la resistencia y se produce una variación de la tensión en la señal eléctrica. Con estas señales eléctricas, la unidad de control del motor detecta la presión que está dada en el colector de admisión.



## 8.15 SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE (EGR).

En la retroalimentación de los gases de escape se conduce una parte de los gases de escape a la admisión del motor. Hasta un cierto grado, una parte de los gases residuales creciente puede repercutir positivamente sobre la transformación de energía, reduciendo con ello la emisión de contaminantes.



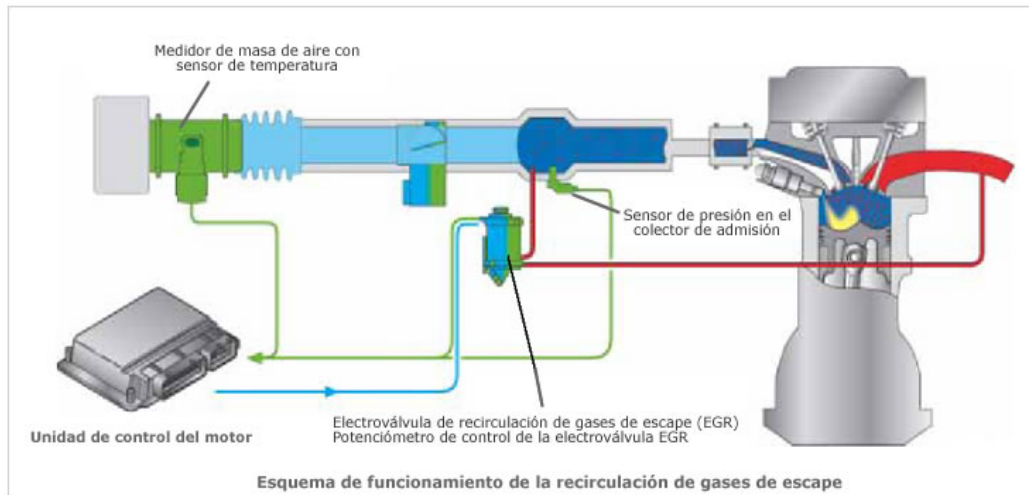
## 8.16 ASÍ SE DETERMINA LA CANTIDAD DE GASES DE ESCAPE A RECIRCULAR.

Con ayuda del medidor de la masa de aire, la unidad de control del motor mide la masa del aire fresco aspirado y calcula de ahí la correspondiente presión en el colector de admisión. Si se alimentan gases de escape a través del sistema de recirculación

aumenta la masa del aire fresco en una cantidad correspondiente a la de los gases recirculados y la presión en el colector de admisión aumenta.

El sensor de presión en el colector de admisión mide esta presión y transmite una señal de tensión correspondiente a la unidad de control del motor. Previo análisis de esta señal se determina la cantidad total (aire fresco + gases de escape). El sistema resta la masa de aire fresco de esta cantidad total y obtiene así la cantidad de gases de escape.

La ventaja reside en que se puede aumentar la cantidad de gases de escape a recircular y se la puede acercar aún más al límite operativo.

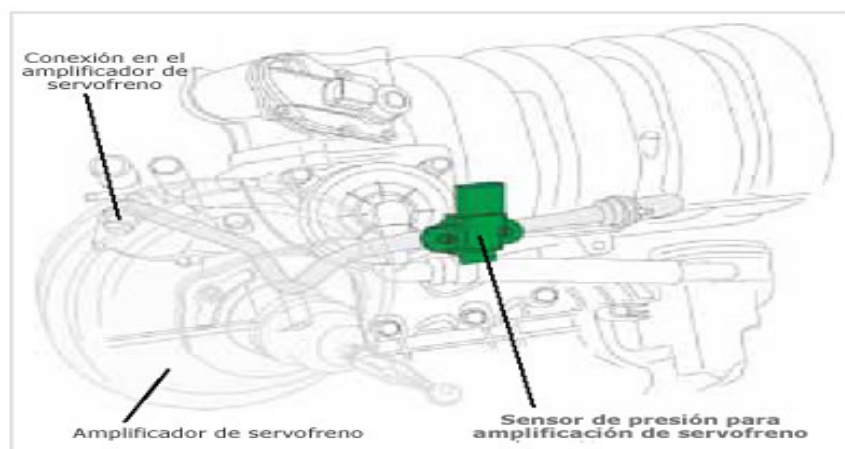


- **Efectos en caso de avería**

Si se avería el sensor de presión en el colector de admisión, la unidad de control del motor calcula la cantidad de gases de escape y reduce la cantidad a recircular en comparación con lo previsto en la familia de curvas características.

## 8.17 SENSOR DE PRESIÓN PARA AMPLIFICACIÓN DE SERVOFRENO .

Se encuentra en el conducto entre el colector de admisión y el amplificador de servofreno. Mide la presión en el conducto y en el amplificador de servofreno, respectivamente.



## 8.18 APLICACIONES DE LA SEÑAL.

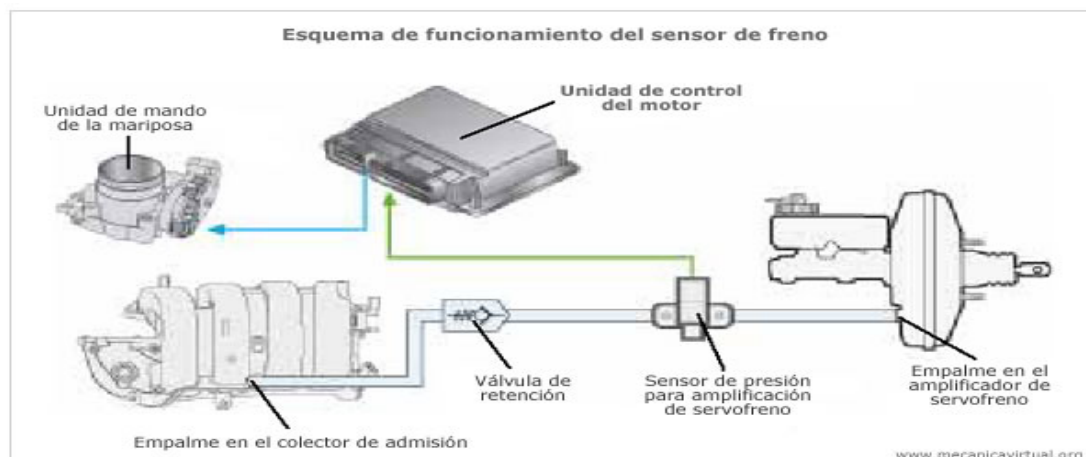
Con ayuda de la señal de tensión procedente del sensor de presión, la unidad de

control del motor detecta si es suficiente la depresión para el funcionamiento del amplificador de servofreno.

## 8.19 FUNCIONAMIENTO.

El amplificador de servofreno requiere una depresión específica para alcanzar lo más rápidamente posible la fuerza de frenado máxima.

En los modos operativos de carga estratificada y carga homogénea-pobre, la válvula de mariposa se encuentra más abierta y en el colector de admisión está dada una baja depresión. La depresión acumulada en el servofreno deja de ser suficiente si ahora se acciona el freno varias veces. Para evitar este fenómeno se procede a cerrar un poco más la válvula de mariposa, para que aumente el vacío generado. Si la depresión sigue siendo insuficiente se cierra más aún la mariposa y en caso dado se pasa incluso al modo homogéneo.



## 9. REACCIONES QUÍMICAS EN EL MOTOR.

La combustión en un motor de ciclo OTTO procede de la reacción química del combustible (gasolina) formado por Hidrógeno y carbono y el comburente (aire) formado en su mayor parte por oxígeno y nitrógeno.

Se introduce en los cilindro la mezcla de aire y combustible finamente pulverizado y en una proporción de 14,5:1 y se comprime a gran presión, en ese momento se hace saltar una chispa que eleva la temperatura y el combustible se quema en presencia del oxígeno del aires, es decir, se oxida rápidamente combinándose el carbono del combustible con el oxígeno del comburente.

La energía química del combustible se libera en forma de calor cuando se quema, transformándose en el motor en energía mecánica.

Se produce la transformación de la mezcla en vapor de agua  $H_2O$  con el oxígeno del aire y el hidrógeno del combustible, y dióxido de carbono  $CO_2$ , por la reacción del oxígeno del aire y el carbono del combustible. El nitrógeno del aire no interviene y queda como  $N_2$ .

La combustión en el motor de ciclo OTTO, aunque teóricamente no produciría productos nocivos, la combustión incompleta que se produce en la realidad si los crea.

El resultado de la combustión es:

Símbolo	Porcentaje
N <sub>2</sub>	71 %
H <sub>2</sub> O	9 %
CO <sub>2</sub>	18 %
O <sub>2</sub>	1 %
	1 %
Nox	0,08 %
HC	0,05 %
CO	0,85 %
Partículas sólidas	0,02 %

Como vemos hay un 1% de gases contaminantes pero este porcentaje es suficiente para crear trastornos en la atmósfera sobre todo de las grandes ciudades, que se suma a la contaminación de las industrias, centrales energéticas y la propia de las ciudades, por las calefacciones, etc.

Se calcula que los automóviles producen una sexta parte de la contaminación por óxidos de nitrógeno.

## GASES DE ESCAPE

Para eliminar los elementos nocivos de los gases de escape existen varios sistemas:

### 9.1 INYECCIÓN DE AIRE EN EL ESCAPE.

Como ya vimos antes el CO y el HC se oxidan con el oxígeno del aire gracias a las condiciones reinantes en el colector de escape, pero como quiera que esta reacciones son lentas lo que hacemos es **inyectar aire** en el escape para de este modo favorecer la oxidación y obtener CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> respectivamente.

El aire se debe inyectar en una zona caliente para que no afecte a las condiciones de alta temperatura necesarias para estas reacciones, por ejemplo junto a la válvula de escape. El aire se inyecta mediante una bomba movida por el motor con lo que inyecta aire en función del régimen de este, y una válvula de un solo sentido.

### 9.2 INYECCIÓN DE AIRE SISTEMA PULSAIR.

Se basa en la idea anterior de añadir aire al escape para facilitar la oxidación como ya se explico, pero este sistema es más sencillo y no usa bomba de aire por lo que es más fiable y económico.

Se trata de una válvula con una membrana de acero que tapa y libera el paso según las pulsaciones de los gases de escape, aprovecha así las variaciones de presión del sistema de escape.

La inyección de aire se interrumpe mediante una válvula de derivación cuando estamos en deceleración para evitar detonaciones en el escape.

### 9.3 CONVERTIDORES CATALÍTICOS (CATALIZADORES).

Con este sistema se actúa sobre los gases de escape para tratar de completar el proceso de combustión que no ha dado tiempo de completar en la cámara de combustión y que gracias a este sistema se completa la oxidación en el sistema de escape con gran rapidez. Además el producto catalítico no se mezcla con los gases de escape por lo que permanece inalterado.

Los elementos catalíticos que se usan son metales preciosos como el rodio, el platino, etc. Que se colocan en un sustrato cerámico de celdillas situados en el escape, como un silencioso, de este modo los gases al pasar por estas celdillas entran en contacto con los catalizadores y gracias a ellos se acelera enormemente las reacciones de oxidación. El panel de celdillas lo que hace es que todo el gas pase por pequeños conductos de manera que todo el gas así repartido entra en contacto con el catalizador.

Es un sistema muy efectivo que permite reducir el 90% de los gases nocivos transformándolos en otros inofensivos.

Gas Inicial		Transformado a:	Efectividad
Monóxido de Carbono	CO	CO <sub>2</sub>	90%
Hidrocarburos	HC	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	90%
Óxidos de nitrógeno	NO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	75%

Pero hay que tener en cuenta que el uso del catalizador quita potencia al vehículo de modo que consume un 5% más, y el catalizador tiene una duración limitada de unos 80.000 Km. Pero las actuales normas anticontaminación lo hacen **obligatorio**.

Los convertidores catalíticos (catalizadores) pueden ser de dos vías o de tres vías según el número de compuestos que puedan transformar.

Los de **dos vías** (oxidación) actúan sobre el CO y HC oxidándolos, pero no sobre el NO<sub>x</sub> porque este necesita un proceso de reducción.

Los de **tres vías** además actúan sobre el NO<sub>x</sub>, incorporando el elemento catalítico rodio, para eliminar los NO<sub>x</sub>, pueden ser con **toma de aire** (bucle abierto) o con **sonda lambda**<sup>L</sup>, (bucle cerrado). Estos últimos utilizan la sonda lambda para el control de la mezcla <sup>L</sup>=1! 14 gr. de aire por 1 gr. de gasolina. El volumen del convertidor catalítico equivale más o menos a la cilindrada del motor.

El plomo de la gasolina reacciona con los productos catalizadores recubriéndolos, y por esto es absolutamente imprescindible que se use **gasolina sin plomo**.

Como sabemos las reacciones de oxidación que buscamos requieren altas temperaturas, el catalizador favorece que estas reacciones se produzcan a la temperatura normal de salida de gases de escape, pero de todos modos es una alta temperatura (entre 400° y 800°C) y por ello se toman una serie de medidas:

El catalizador tiene un revestimiento aislante.

Ubicar el catalizador cerca del colector de escape, pero no tanto que haya exceso de temperatura que afecte a su integridad. También utilizar en el escape y colector acero inoxidable en lugar de fundición (que absorbe calor).

Precalentar el catalizador mediante calefactores eléctricos antes de arrancar el vehículo.

## 9.4 GASES DE ESCAPE Y CONTAMINANTES EN EL AUTOMÓVIL.

En los vehículos a motor la contaminación se produce por tres focos:

El escape es el principal elemento de contaminación. En el motor se produce una combustión que si fuese ideal produciría H<sub>2</sub>O vapor, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>, ninguno de los cuales es contaminante, pero en la realidad como las combustiones son incompletas se produce en los gases de escape, gases muy contaminantes como el monóxido de carbono CO, óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, hidrocarburos HC Pb. El contenido perjudicial asciende aproximadamente al 1% de los gases de escape

- **Monóxido de carbono (CO):**

Es incoloro inodoro e insípido y por ello muy peligroso. Reduce la capacidad de absorción de oxígeno por la sangre al ocupar el espacio de este en la hemoglobina, disminuyendo por ello el contenido del oxígeno en la sangre. Un porcentaje de tan solo un 0,3% de CO en el aire es suficiente para ocasionar la muerte en 30 minutos. Es un gas **venenoso**.

Se forma cuando se va a formar CO<sub>2</sub> pero el **carbono no encuentra la suficiente cantidad de oxígeno**.

El CO se difunde rápidamente y al contacto con el oxígeno del aire se transforma en CO<sub>2</sub>. Por todo ello la necesidad de tener bien ventilados los recintos donde se tenga un motor en marcha.

Como es lógico su proporción aumenta en las mezclas ricas y disminuye en las pobres, por lo que se usa como indicador en la preparación de la mezcla. Para evitar la formación de CO basta con mejorar el proceso de combustión.

Los motores disponen de distintos dispositivos que permiten regular el CO manualmente, o bien es el calculador el que se encarga de su control.

- **Óxidos de Nitrógeno:**

El NO es incoloro, inodoro e insípido y aunque es inerte (no se mezcla con otros) en las condiciones de altas temperaturas (en la combustión) en presencia del oxígeno del



aire reacciona rápidamente con este dando bióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> de color marrón rojo y olor picante que provoca gran irritación de los órganos respiratorios.

En concentraciones altas, el bióxido de nitrógeno es también **nocivo** para la salud, pues destruye el tejido pulmonar. El NO y el NO<sub>2</sub> suelen denominarse conjuntamente con la expresión de óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>.

Estos compuestos vertidos a la atmósfera, humedad y rayos solares forman ácido sulfúrico que forma la llamada lluvia ácida, que esta compuesta en un 30% de NO<sub>x</sub> y en un 60% de óxidos de azufre SO<sub>2</sub>.

- **Hidrocarburos HC:**

Aparecen en los gases de escape de forma muy diversa según las diversas reacciones que se produzcan produciendo gran variedad de compuestos orgánicos, acetileno, etileno, ácidos carbónicos, cetonas, aromáticos, etc... En presencia de óxido de nitrógeno y la luz solar forman oxidantes que provocan irritación de las mucosas.

Una parte de los hidrocarburos ha sido catalogada como nociva para la salud, algunos son cancerígenos.

Proviene del combustible que no se ha quemado, es decir que han quedado parcialmente oxidados. Y se producen por la falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica), o por que la velocidad de inflamación sea muy baja (mezcla pobre). Como se ve es por tanto conveniente un adecuado ajuste de la riqueza.

- Si la mezcla es rica hay exceso de CO y de HC pero mejora las emisiones de NO<sub>x</sub>.
- Si la mezcla es pobre se mejoran los valores de CO y HC pero empeoran los de NO<sub>x</sub>.

## **9.5 OTROS PRODUCTOS.**

### **Plomo:**

El plomo (tetraetilo de plomo) se usa en las gasolinas como antidetonante, como no interviene en la combustión es expulsado con los gases de escape. El plomo es venenoso para el cuerpo humano ya que ataca al sistema nervioso. Actualmente se utilizan gasolinas sin plomo que utilizan otros elementos no contaminantes como antidetonante.

### **Dióxido de azufre SO<sub>2</sub>:**

Causado por las impurezas del combustible y provoca la niebla contaminante y la lluvia ácida (aunque solo un 2% de la contaminación por SO<sub>2</sub> es achacable a los automóviles)

Aunque el CO<sub>2</sub> no es venenoso para la salud se le considera el principal causante del efecto invernadero. Pero para reducir su emisión deberíamos recurrir a otros combustibles.

### **Partículas Sólidas:**

Proceden de la combustión incompleta, sobre todo en los motores Diesel y son partículas de cenizas y hollín.

## 9.6 VAPORES DEL COMBUSTIBLE.

Una de las principales propiedades de los combustibles de automoción es su facilidad para evaporarse (volatilidad), que aumenta al aumentar la temperatura. Esta volatilidad es aprovechada para realizar la mezcla.

Pero los vapores que son vertidos a la atmósfera, por ejemplo los procedentes del depósito, son nocivos.

Debemos evitar la salida al exterior de estos gases que, por otra parte, pueden ser reutilizados para la formación de la mezcla.

## 9.7 GASES DEL CÁRTER.

Como durante el funcionamiento del motor existen fugas de los gases comprimidos, estos pasan al cárter, y si estos quedasen allí, al enfriarse se condensaría y bajaría por las paredes hasta el aceite del fondo del cárter, mezclándose con el degradándolo, además el agua de estos vapores pasaría al fondo con lo que sería aspirada al arrancar (que es cuando mejor lubricación necesitamos).

Se hace necesario por tanto ventilar esos gases, pero una ventilación que expulse esos gases al exterior no está permitida por lo nocivo de los mismos, por ello disponemos de un circuito cerrado que envía esos gases a la admisión.

Este sistema es sencillo y se basa en la aspiración creada por la depresión en la admisión para absorber los gases y así reciclarlos.

## 10. SONDA LAMBDA

Es un elemento encargado de suministrar una señal a la unidad de control que varía según la composición instantánea de la mezcla.

- Lo que la sonda lambda mide es la **cantidad de oxígeno en los gases de escape**, presencia (mezcla pobre) o no (mezcla rica), y de este modo puede determinar con gran precisión si la combustión de la mezcla es completa o en que sentido es incorrecta. Se sitúa antes del catalizador para así determinar la riqueza de la mezcla.

- La precisión de la riqueza de la mezcla debe tener un margen muy limitado para que los gases presenten una calidad óptima.

Este sistema solo pueden llevarlo los motores que regulen la mezcla de manera electrónica, como son las inyecciones electrónicas.

- La sonda tiene una cerámica especial porosa que tiene uno de los lados en contacto con el aire ambiente, a través de unos embutidos que lleva, el otro lado de la cerámica se halla en contacto con los gases de escape. Si la mezcla es rica, existe una diferencia de concentración de oxígeno entre los dos lados de la cerámica y los iones de oxígeno se desplazan y crean una diferencia de potencial en los bornes de los electrodos de platino que están alimentados a 1 voltio. En este caso, el calculador debería empobrecer la mezcla mediante la disminución del tiempo de inyección. Así pues el calculador interpretará la señal para aumentar o disminuir el tiempo de apertura de los

inyectores. Con una composición estequiométrica de la mezcla aire/combustible de  $\lambda = 1,00$  se origina una función de salto. Esta tensión representa la señal de medición

- El tiempo de respuesta de la sonda de oxígeno es muy pequeño, de milisegundos a unos 600 °C o 800 °C que es su temperatura ideal de trabajo, pero el problema es que por debajo de 300 °C de temperatura su funcionamiento es más lento y defectuoso. Para tratar de remediarlo se le incorpora un pequeño calefactor (resistencia térmica) que permite alcanzar la temperatura de funcionamiento en unos 20 o 30 segundos, pero hasta que se alcance la temperatura la señal debe ser ignorada, lo mismo que en máxima aceleración puesto que en esta última situación prima la entrega de potencia sobre la



calidad de los gases de escape.

## 10.1 FUNCIONES.

**Arranque:** Como hemos dicho la sonda Lambda sólo proporciona señales válidas a partir de temperaturas superiores a unos 350°C. Mientras no se alcance esta temperatura no queda otro remedio que renunciar a la regulación por lo que la mezcla aire/combustible  $\lambda$  se ajusta a un **valor medio**.

**Aceleración y plena carga:** Cuando aceleramos al máximo necesitamos la plena potencia sobre cualquier otro interés, por esto al detectar la plena carga se **ignora** la señal de la sonda Lambda y se regula el tiempo de inyección para obtener la máxima potencia.

## 10.2 RECICLADO DE VAPORES DEL DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE (CÁNISTER)

Como ya explicamos es necesario que los gases que se forman en el depósito de combustible no salgan al exterior y al mismo tiempo permitir su utilización. Esto se consigue mediante un elemento llamado Cánister.

Es un recipiente cilíndrico lleno de carbón activo con una base en contacto con el aire hasta el que se hacen llegar los vapores del depósito de combustible. El carbón activo absorbe los vapores de gasolina que después se harán llegar a la alimentación.

Los vapores recogidos en el cánister se purgan mediante un electro-válvula que les da paso a la admisión, donde son absorbidos para pasar a formar parte de la mezcla.

La válvula de purga siempre permanece cerrada con el motor parado, y su gobierno depende del sistema del motor, puede ser cíclica, controlada por el calculador o por depresión mediante un sistema mecánico.

Por seguridad dispone de una válvula antivuelco.

## **11. RECIRCULACIÓN DE GASES DEL ESCAPE EGR.**

Se utiliza para disminuir los NOx.

Consiste en coger una pequeña parte de los gases de escape y llevarlos al colector de admisión para volver a meterlos en la cámara de combustión con los frescos. De este modo la mezcla resulta empobrecida por lo que disminuye la velocidad de combustión con lo que disminuyen la temperatura y la presión límites.

Como ya explicamos la formación de NOx necesita de temperaturas (y presiones) altas, y como hemos reducido la temperatura y presión se reduce la formación de NOx, y además también se reduce la formación de óxidos de azufre. Este sistema logra reducciones de hasta un 50%. Solo actúa a cargas parciales y con el motor caliente y prácticamente no se nota en el funcionamiento del motor.



## **12. MEDIDAS PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN.**

Puesto que la contaminación que produce el motor es causada por la combustión se trabaja para mejorar esta a través de sus dos factores principales que son la mejora del encendido y de la alimentación. Además se busca un mayor ahorro de combustible y un diseño optimo de todos los elementos para aprovechar al máximo todas sus posibilidades. Por ejemplo en la forma de la cámara, los cilindros, conductos de admisión variable, caldeo de colectores, distribución variable, etc. etc.

Todos ellos encaminados a producir el menor número posible de sustancias contaminantes.

La cantidad de contaminantes en los gases de escape depende de varios factores, en especial de la **combustión**. Lo ideal sería que el combustible se quemara totalmente, y de esta forma obtendríamos una cantidad de contaminantes mínimos

Que el combustible no se quemara totalmente puede producirse tanto por una mezcla pobre como por una mezcla rica, y origina una gran cantidad de productos contaminantes.

La temperatura a la que se realiza la combustión, presión, mezcla turbulencia, forma de la cámara de combustión.

Pero cuando estas sustancias contaminantes se producen se hace necesario tratarlas para eliminarlas en la medida en que esto sea posible.