

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
TRABAJO DIRIGIDO DE LA ASIGNATURA: MOTORES TÉRMICOS

ÚLTIMAS TENDENCIAS:

**INTRODUCCIÓN A LA INYECCIÓN
DIRECTA DE GASOLINA**

JAIME TASCÓN GÁRATE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
MITSUBISHI.....	6
GRUPO PSA (PEUGEOT-CITROËN).....	10
AUDI.....	18
RENAULT.....	19
SAAB.....	26
BOSCH.....	33
MÁS INFORMACIÓN ACERCA DEL Gdi.....	36

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es recopilar y presentar la información obtenida sobre las últimas tendencias en la tecnología de los motores de automoción y en concreto sobre la inyección directa de gasolina.

En este apartado se hará una explicación acerca de los fundamentos básicos de funcionamiento de esta tecnología, sus ventajas e inconvenientes, así como las motivaciones que han propiciado su aparición y desarrollo. Los apartados siguientes consisten en una exposición de la información recopilada, fundamentalmente a través de Internet, en la que se presentan los diversos caminos que hoy día están tomando los distintos fabricantes de automóviles en este campo concreto.

¿Por qué la inyección directa de gasolina?

En el mundo actual existe una creciente preocupación por la contaminación asociada al desarrollo de la civilización y los problemas medioambientales y de salud que éste conlleva. Por esta razón, distintos organismos han propuesto una limitación de esta contaminación de forma que se minimicen al máximo posible los riesgos para el Hombre y el medioambiente.

Una fuente importante de dicha contaminación es el automóvil. Por eso desde hace años se están emitiendo leyes en los distintos continentes y países que limitan la cantidad de contaminantes emitida a la atmósfera por los motores que mueven a estos vehículos. Los distintos fabricantes han tenido que ir amoldando su política de fabricación de manera que sus productos se adaptaran a estas leyes. De hecho, hoy día, los fabricantes crean nuevos motores que cumplen leyes que aún no han entrado en vigor, convirtiéndose además en un argumento de venta.

Pues bien, los fabricantes se han dado cuenta que una forma de reducir la contaminación en los motores de gasolina es el empleo de la técnica de la inyección directa. Además, esta técnica no supone una merma en las prestaciones del motor. Por tanto, podríamos decir que el pliego de condiciones por el que se diseña un motor hoy día es el siguiente:

- Mayores prestaciones
- Menor consumo (y por tanto),
- Menor contaminación

¿Cómo funciona la inyección directa de gasolina?

La principal diferencia de la inyección directa con respecto a la indirecta es que en ésta última la inyección se hace en el colector de admisión, antes de la válvula de admisión, mientras que en la inyección directa el inyector está colocado en el interior del cilindro.

Los motores de inyección directa se pueden clasificar en dos categorías según su funcionamiento:

- carga estratificada, o
- carga homogénea.

Motores de carga estratificada

Los motores que utilizan la técnica de carga estratificada funcionan de la siguiente manera: un motor 'corriente' de automóvil funciona con una mezcla de aire-gasolina cuya proporción es aproximadamente de 14.7:1 en volumen y 15.18:1 en peso; a esta relación aire-combustible se le llama 'mezcla estequiométrica', y es aquella cuya combustión produce exclusivamente CO₂ y agua. En los motores de carga estratificada se consigue una relación aire-combustible de hasta 60:1; al ser menor la cantidad de gasolina que en la mezcla estequiométrica, a este tipo de mezclas se les denomina 'mezcla pobre'. Pero a pesar de que la mezcla es pobre de forma global, es decir, considerando toda la que hay en el interior del cilindro, no se encuentra repartida de manera homogénea. Mediante un diseño especial de los conductos de admisión y de la cabeza de los pistones se consigue que la mezcla sea localmente rica en las cercanías de la bujía y pobre en el resto del volumen. Así se favorece el inicio de la combustión, ya que cuando la mezcla es excesivamente pobre aparecen problemas para que ésta arda adecuadamente.

Si el motor es capaz de funcionar con mezcla pobre, se producirá una disminución del consumo de gasolina, no ya porque se inyecte menos gasolina, que sería casi la misma cantidad, sino porque la mariposa estaría más abierta que en condiciones normales para dejar entrar más aire, y cuanto más abierta esté la mariposa, mejor rendimiento tiene el motor.

Ahora podemos preguntarnos: ¿por qué los motores normales necesitan funcionar con una mezcla próxima a la estequiométrica? La respuesta es sencilla. Para que el catalizador funcione correctamente, es decir, pueda descontaminar los gases de escape adecuadamente. El gran problema que presentan los motores que funcionan con mezcla pobre es el de la emisión de óxidos de nitrógeno, ya que cuando la mezcla es pobre se produce un aumento de los mismos tras la combustión. Por tanto los motores de inyección directa que recurran a esta técnica necesitarán unos catalizadores más elaborados para eliminar dichos Nox.

Cabe por último decir respecto a estos motores que este tipo de funcionamiento con mezcla pobre se produce en un amplio rango de funcionamiento, es decir, en condiciones en las que no se requiera un fuerte aumento de potencia y hasta una determinada velocidad (típicamente unos 120 Km./h); en caso de que el conductor requiera un aumento de la potencia o de la velocidad, el motor pasa a funcionar con mezcla estequiométrica.

Ejemplos de fabricantes que han optado por esta técnica son Audi, Mitsubishi y el grupo PSA, formado por Peugeot y Citroën

Motores de carga homogénea

Estos motores utilizan una mezcla próxima a la estequiométrica. Funcionan según el principio de re-inyección de los gases de escape en la admisión; este sistema consta de una válvula by-pass que introduce en el cilindro una corriente de gases de escape. Al no trabajar con mezcla pobre, estos motores pueden utilizar los catalizadores que se han venido empleando hasta hoy día en los motores de inyección indirecta, ya que no se producen más Nox. Estos motores, en situaciones que requieran una potencia adicional, desconectan el sistema de recirculación de gases de escape y pasan a un modo de funcionamiento estándar.

Distintos fabricantes que han apostado por esta técnica son Saab y Renault, si bien este último ya ha desarrollado un motor de mezcla pobre.

En los siguientes apartados se amplía toda esta información con los artículos encontrados en distintas publicaciones e Internet relacionados con el tema.

MITSUBISHI

Motor GDI de MITSUBISHI

El fabricante de automóviles MITSUBISHI ha desarrollado un nuevo sistema de alimentación de inyección de gasolina, denominado GDI. Destaca en él, con relación al motor de inyección multipunto convencional, su bajo consumo, la reducción de gases contaminantes y la mejora en cuanto a potencia y par motor.

El GDI de MITSUBISHI es el paso siguiente en la evolución de los motores de gasolina, de la misma manera que los carburadores han sido sistemáticamente sustituidos por la inyección de combustible multipunto (MPI). La inyección directa de gasolina aparece como alternativa a esta última, debido principalmente a las siguientes mejoras: menor consumo de combustible (20 % de ahorro), potencia superior y menor emisión de CO₂ (10 % inferior), a igual cilindrada.

Principales aspectos técnicos del motor GDI

En el motor GDI, la gasolina se inyecta directamente en el interior del cilindro, y no sobre la válvula de admisión, como en los sistemas de inyección convencionales. Esto implica una serie de novedades:

-Colectores de admisión vertical

Estos colectores permiten un control óptimo de la entrada de aire en el cilindro, al crear un fuerte flujo de aire (giratorio en el sentido de las agujas del reloj), que hace que el motor tenga un rendimiento alto. Además, su forma vertical exclusiva, alargada y lisa, aumenta la cantidad de aire que entra en los cilindros, lo que tiene una importancia especial para uno de sus modos de combustión: el de alta potencia.

-Deflector del pistón

Los deflectores en los pistones mejoran la combustión, ya que tienen una cavidad esférica en la parte superior que ayuda a dar forma al flujo de aire giratorio, en el sentido de las agujas del reloj, y también contribuye a concentrar el combustible alrededor de la bujía.

-Bomba de combustible

Debido a que el interior del cilindro del GDI se mantiene a alta presión, se necesita una bomba de combustible también de alta presión para inyectar gasolina dentro de los cilindros. Dicha bomba inyecta carburante a una presión de 50 bar y utiliza un sensor de presión de combustible para el control preciso de la alimentación.

-Inyector de gasolina

En los inyectores de alta presión estriba el éxito del motor GDI para adaptarse a las distintas condiciones de conducción, continuamente cambiantes, tanto a bajas revoluciones como en la zona media y alta del cuentarrevoluciones, ya que deben suministrar gasolina de forma distinta en los diferentes modos, inyectando la cantidad exacta de combustible en el momento preciso

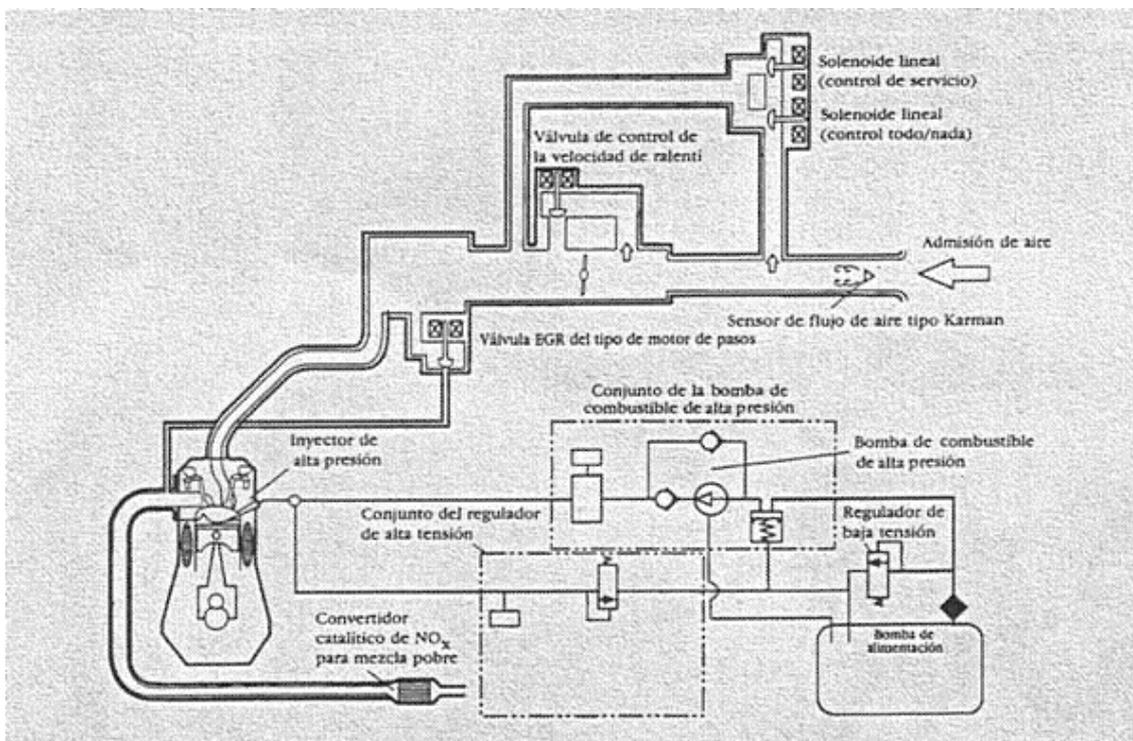
-Flujo de aire dentro del cilindro

El flujo de aire giratorio, en el sentido de las agujas del reloj es un elemento clave en el funcionamiento del motor. Permite que el combustible se concentre en el lugar deseado, alrededor de la bujía, con lo que se obtiene un extraordinario rendimiento en la combustión, incluso con relaciones de aire/combustible extremadamente pobres (40:1).

Con la inyección directa es importante evitar que el combustible choque con la bujía, ya que esto crea una acumulación de hollín que provoca falsas explosiones; si el aire gira a la izquierda, transporta el chorro de combustible directamente inyectado hacia la bujía. Este inconveniente se solucionó con los colectores de admisión verticales, en los cuales se forma un chorro de aire rápido, recto y uniforme que origina un fuerte flujo giratorio hacia la derecha.

Esquema del motor GDI

El control preciso del flujo de aire y de la alimentación de combustible es crucial para el motor GDI. El sensor de flujo de aire de tipo Karman y dos solenoides lineales permiten que el motor GDI vigile constantemente y controle con precisión el flujo de aire, mientras que la bomba de combustible de alta presión funciona conjuntamente para asegurar la dosificación de la cantidad exacta de combustible que necesita.



Funcionamiento del sistema

El motor GDI puede funcionar en dos modos de combustión: ultra-pobre y alta potencia. El perfecto funcionamiento del sistema en general, y el que realiza la electrónica que controla la inyección en particular, hacen que el conductor no note en ningún momento cuál es el modo en el que está funcionando el motor.

-Modo de combustión ultra-pobre

Para conseguir un ahorro de combustible considerable, el motor GDI funciona en el modo de combustión ultra-pobre en las condiciones de conducción más comunes y a velocidades de hasta 120 Km/h. En tal caso, el motor GDI consigue la combustión completa con relación aire/combustible de 40:1, frente a los 14,7:1 de relación estequiométrica que presenta un motor convencional.

Durante la carrera de admisión fluye un gran volumen de aire procedente de los colectores de admisión verticales, que recorre la superficie curvada del pistón y refluye hacia arriba creando un potente flujo.

En la carrera de compresión del pistón la forma giratoria se descompone en numerosos y pequeños torbellinos. A continuación, en la última fase de la carrera de compresión, el inyector de turbulencia de alta presión pulveriza combustible hacia la parte superior del pistón.

El combustible se concentra alrededor de la bujía. La mezcla de aire/combustible es rica en el centro y pobre en la periferia. Por ello, salta la chispa en la bujía (una fuerte explosión que es controlada por la cavidad esférica), que se extiende inmediatamente mediante una reacción en cadena, de manera que no se desperdicia combustible.

Los resultados son una mejora del 20% de ahorro de combustible frente a un motor de igual cilindrada.

-Modo de alta potencia

El motor Gdi no solo ofrece economía de combustible, sino que también desarrolla mayor potencia y par. Cuando se circula a altas velocidades (superiores a 120 Km/h) y se necesita mayor potencia, el sistema cambia con suavidad y automáticamente al modo de alta potencia.

En el modo de alta potencia el combustible se inyecta durante la carrera de admisión para crear un efecto de refrigeración en el cilindro por medio de la evaporación. Para aumentar la refrigeración, el inyector de alta presión cambia su forma de actuar, pasando a dosificar el combustible mediante un chorro largo en forma de cono, con el fin de conseguir su dispersión en el cilindro. El efecto de refrigeración evita las detonaciones espontáneas, que pueden producirse con una relación de compresión alta (12.5:1). Esta elevada relación de compresión significa que el motor GDI desarrolla una potencia y un par más elevado que un motor convencional de igual cilindrada.

Relación en las emisiones de gases contaminantes

Uno de los aspectos más importantes del motor GDI es la menor emisión de gases contaminantes (CO₂, NO_x e hidrocarburos).

Si se quema gasolina se genera CO₂; por lo tanto, si se reduce la cantidad de gasolina quemada se reducirá también la cantidad de CO₂. De este modo, disminuyendo el consumo de combustible en un 20%, en el motor GDI descienden también las emisiones de CO₂ en ese mismo porcentaje.

Los catalizadores de tres vías no son eficaces en el motor GDI cuando funciona en el modo ultra-pobre de combustión. MITSUBISHI ha desarrollado un nuevo tipo de catalizador, denominado de reducción selectiva, para ayudar a disminuir las emisiones de monóxido de nitrógeno (NO_x).

PEUGEOT

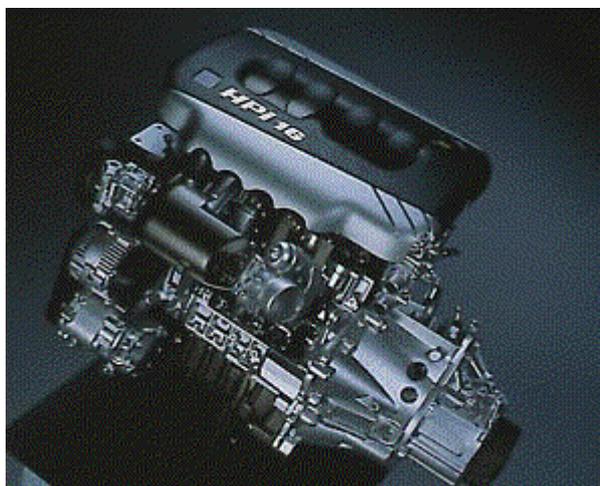
Un motor que ahorra más de 100 pesetas cada 100 kilómetros

Peugeot ha comprado a Mitsubishi las patentes del motor GDi, para fabricar un motor de gasolina llamado HPi, capaz de gastar un 10 por ciento menos que uno normal. Es decir, en condiciones semejantes al ciclo de homologación de consumo -y con la gasolina a 140 pesetas- un Peugeot 406 con éste motor gastaría 1.046 pesetas cada 100 km, 116 menos que un 406 actual de la misma potencia.

El método para conseguirlo es hacer que el motor de gasolina funcione de forma parecida al Diesel, si el conductor no requiere mucha fuerza del motor. Cuando el conductor pisa más el acelerador, bien porque quiera ganar velocidad o bien porque quiera mantenerla en una cuesta arriba, el HPi empieza a funcionar -automáticamente- casi igual que un motor normal de gasolina.

El HPi es un 2 litros de 140 CV, derivado del que tienen el 206 GTi o el 406 2.0. La diferencia con éste es principalmente el sistema de alimentación —por inyección directa— y el de escape, dado que requiere un sistema de descontaminación mucho más complejo que un motor normal.

A final de éste año el Peugeot 406 y el futuro Citroën Xantia tendrán un motor HPi. Por tanto, será el segundo fabricante europeo —si Volkswagen empieza avender el Lupo FSi en octubre— que ponga en el mercado un motor de mezcla pobre, y el tercero —después de Renault y Volkswagen— con un motor de inyección directa de gasolina. En Japón, los pioneros en el motor de mezcla pobre con inyección directa son Toyota y después Mitsubishi, pero es esta marca la que lo ha extendido más, con las siglas GDi. El HPi no es el mismo motor que el GDi, la culata es casi igual, pero el bloque es un diseño de Peugeot.



El motor HPi funciona según el diseño de Mitsubishi: el motor trabaja con una mezcla pobre cuando es posible y normal cuando es necesario. Con poca carga y hasta 3.500 rpm de régimen el motor puede funcionar con el doble de aire que un motor normal. Esto reduce el freno para el motor que constituye una mariposa casi cerrada.

Para que la mezcla pobre arda hay un sistema que concentra casi toda la gasolina en torno a la bujía. La inyecta justo al final de la carrera de compresión (como en un Diesel), y la turbulencia que hay en la cámara la lleva junto a la bujía.

Esa turbulencia la causa la propia gasolina, que resbala sobre la superficie curva del pistón, y el aire, que entra en la cámara de forma que produce un torbellino que coincide con el recorrido de la gasolina.

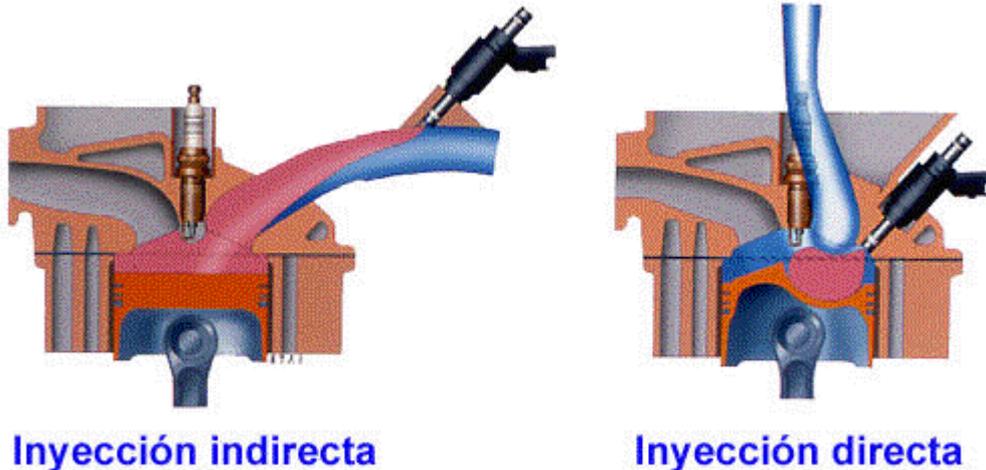
Cuando hace falta más fuerza de la que puede dar el motor con mezcla pobre, automáticamente cambia a modo normal. La inyección ya no es en la carrera de compresión, sino en la de admisión; la gasolina no se concentra en la bujía, sino que se mezcla homogéneamente con el todo el aire.

Incluso en este modo de funcionamiento la inyección directa mejora el rendimiento. Como la gasolina se evapora dentro de la cámara y no fuera, la enfría ligeramente. Esto hace más difícil una combustión indeseada (detonación) y aumenta un poco la densidad del aire.



El mejor método para conseguir que un motor de gasolina funcione con mezcla pobre es la inyección directa. Ahora bien, ni todos los motores de mezcla pobre son inyección directa (por ejemplo, el 1,5 l de 114 CV que tiene el Honda Civic), ni todos los motores de inyección directa trabajan con mezcla pobre (por ejemplo, el 2,0 l de 140 CV que tiene el Renault Mégane).

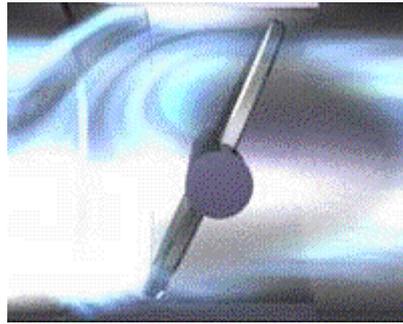
Un motor normal de gasolina funciona casi siempre con una proporción entre aire y combustible de 14,7 a 1; es decir, inyecta un gramo de gasolina por cada 14,7 que entran de aire. Esa proporción aire/gasolina se llama «estequiométrica». En caso de fuerte aceleración el motor puede «enriquecer» la mezcla; es decir, para la misma cantidad de aire que entra, inyecta un poco más de gasolina.



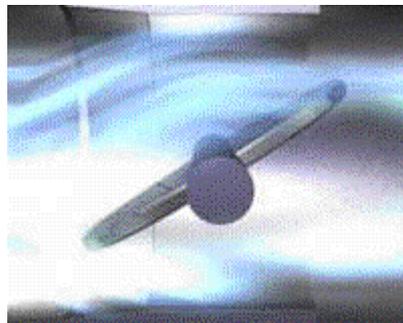
La mezcla sería «pobre» si hay más de esos 14,7 gramos de aire por cada gramo de combustible. Un motor normal de gasolina no trabaja con una mezcla pobre por dos razones: primera, es difícil hacer que arda si hay exceso de aire. Segunda, un catalizador normal necesita una mezcla estequiométrica (o ligeramente rica) para que pueda descontaminar el gas de escape adecuadamente; si la mezcla es pobre, el catalizador no puede impedir un aumento de los óxidos de nitrógeno.

Si el motor pudiera funcionar con una mezcla pobre, el consumo bajaría. No tanto porque inyecte menos gasolina (sería casi la misma cantidad), sino porque la mariposa estaría más abierta que en condiciones normales para dejar entrar más aire y, cuanto más abierta esté la mariposa, mejor rendimiento tiene el motor.

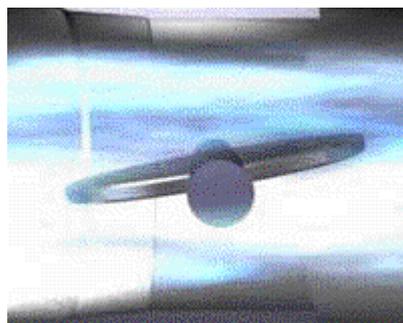
Para obtener estos beneficios, la solución consiste, primero, en conseguir que esa mezcla arda convenientemente, que es lo que se hace mejor con inyección directa que indirecta; segundo, en eliminar los óxidos de nitrógeno que produce.



Mariposa casi en ralentí



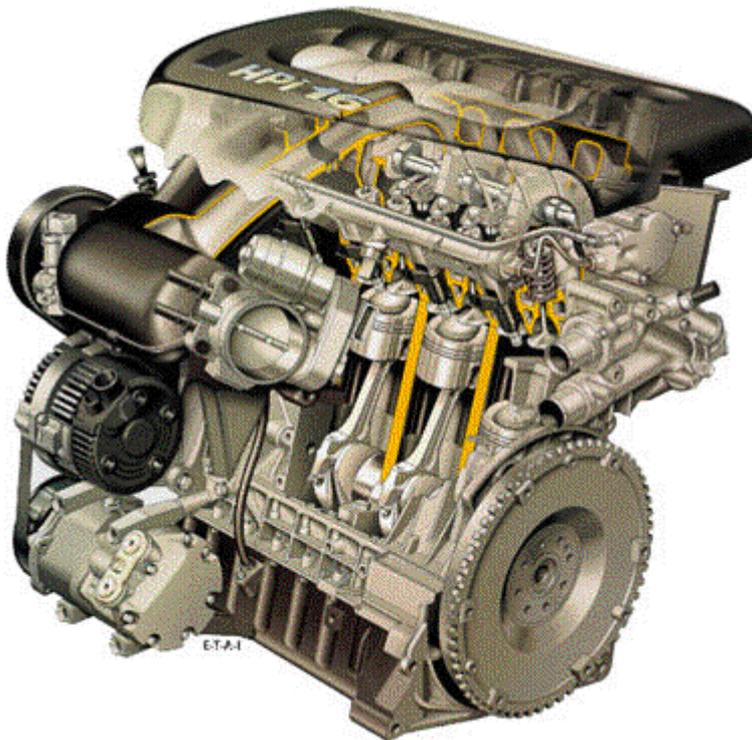
Mariposa en carga parcial



Mariposa en plena carga

En un motor de gasolina normal, lo que varía el conductor al pisar el acelerador es la cantidad de aire que entra en el motor: cuanto más lo pisa, más entra, y más fuerza da el motor. En un motor Diesel, en cambio, siempre entra la máxima cantidad de aire posible porque no hay un mecanismo que limite la entrada de aire. Para variar la fuerza que da el motor, lo que se regula es la cantidad de combustible, no la de aire.

En un motor de gasolina hay una válvula (llamada «mariposa») que es lo que deja entrar más o menos aire en el motor. Al ralentí está casi cerrada, a medida que el conductor pisa el acelerador, se va abriendo. Si lo pisa a fondo, se abre completamente y entra en el motor todo el aire posible (de ahí la expresión «a todo gas»). Siempre que la mariposa no esté completamente abierta (o casi), el motor tiene un rendimiento malo porque «no respira bien»; es decir, tiene dificultad para que le entre aire. No puede ser de otra manera, porque para dosificar la fuerza que da el motor hay que limitar la entrada de aire.



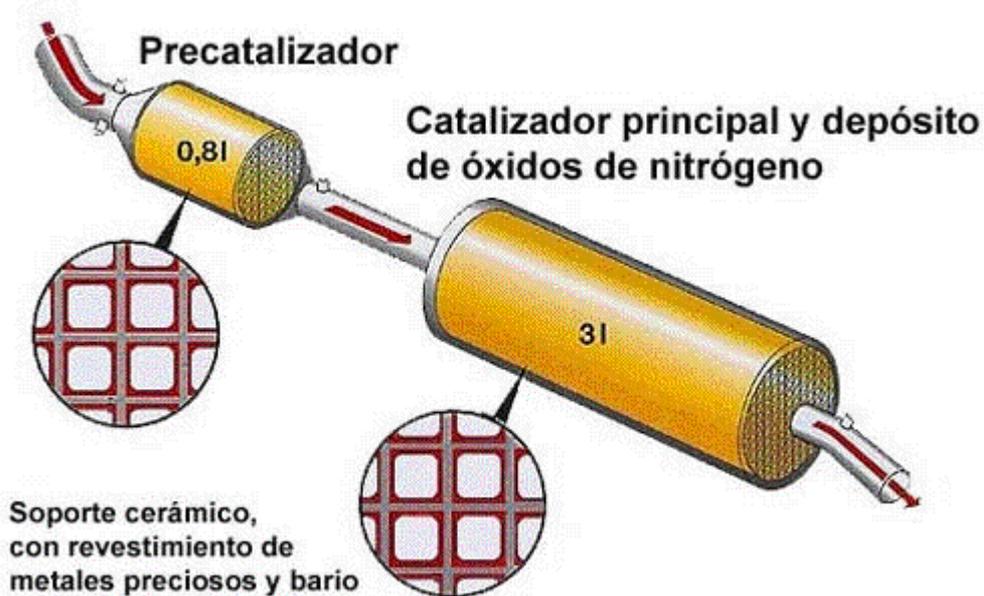
En un Diesel, en cambio, siempre entra todo el aire posible; esa es una de las causas por las que consume menos (no la única). Un motor de gasolina necesita una proporción exacta entre aire y combustible (14,7 gramos de aire por cada gramo de combustible). Si entra más aire, es muy difícil que la mezcla empiece a arder; por esa razón tiene que haber una mariposa que limite la entrada de aire.

Si se consiguiera abrir más la mariposa, que entre más aire para la misma cantidad de gasolina y —aún así— que esta mezcla con exceso de aire, entonces ganaría rendimiento y se acercaría al Diesel. Ese es el objetivo del motor de «mezcla pobre», como el HDi.

Cuando el motor HPi funciona de forma normal tiene el sistema de descontaminación también normal (un catalizador de «tres vías») es suficiente. Cuando lo hace con mezcla pobre, no puede eliminar el exceso de óxidos de nitrógeno.

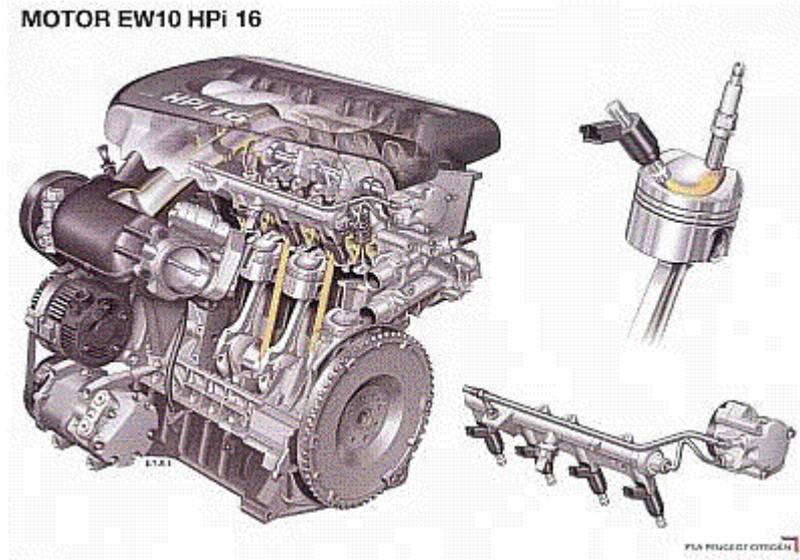
El sistema consta de una especie de depósito que retiene una cantidad limitada de óxidos de nitrógeno. Cuando llega a ese límite, el motor debe funcionar en modo normal para producir sustancias que eliminan esos óxidos.

Este depósito lo usa Mitsubishi en mercados donde la gasolina tiene un bajo contenido de azufre (Japón), pero no en Europa, donde tiene que recurrir a un sistema menos efectivo. Dado que el azufre inutiliza este depósito, Peugeot ha utilizado un método para «limpiarlo» que lo distingue del motor Mitsubishi y lo asemeja al Volkswagen.



Consiste en funcionar con una mezcla rica, también para producir un gas de escape que arranca el azufre del depósito. Cuando esto ocurre el conductor no nota nada especial pero, cuanto más azufre tenga el combustible, más veces hay que limpiar el depósito y más gasta el coche.

PSA Peugeot Citroën presenta su nuevo motor de gasolina HPi de inyección directa de alta presión



Denominado HPi, este motor fue puesto a punto íntegramente por el Tipo PSA Peugeot Citroën en 121 semanas. Implicó un total de inversiones de 420 millones de francos y se fabricará en la factoría de motores de Trérenty (Moselle) a una cadencia de 200 motores diarios. Se destina a vehículos de gama media superior de Peugeot y de Citroën a partir del segundo semestre 2000.

De una cilindrada de 2 litros y una potencia de 103 Kw. (143 CV), el motor HPi permite:

Reducir el consumo en un 19% respecto al motor XU de 2 litros de la generación anterior, y en un 10% comparado con el muy reciente motor de gasolina EW de 2 litros de inyección indirecta (ciclo reglamentario).

En ciclo urbano, estas prestaciones son aún mejores, lográndose reducciones de un 21 % y un 11 % respecto a los motores antes mencionados.

Más placer de conducción, con un par a bajo régimen (2000 r.p.m.) de 170 Nm., en alza de un 9,6% respecto al motor XU y de un 3,6% comparado con el EW. Estas prestaciones confieren al motor una mayor tonicidad.

·Un balance medioambiental mejorado gracias a una disminución notable de las emisiones de CO₂ proporcional a la reducción de consumos y emisiones, muy por debajo de la norma Euro 3 (2001) y compatibles con Euro 4 (2005).

Para lograr estos resultados, el grupo PSA Peugeot Citroën diseñó el motor HPi adoptando las soluciones tecnológicas más avanzadas: la inyección directa con carga estratificada y mezcla pobre. La carga estratificada consiste en concentrar una mezcla de aire / gasolina inflamable cerca de la bujía y llenar el resto de la cámara de combustión con aire. Esta técnica exige la inyección del carburante directamente en la

cámara de combustión de una manera muy precisa y adaptada a cada régimen de funcionamiento del motor.

La gama de regímenes del motor con carga estratificada y mezcla pobre alcanza 3.500 r.p.m., lo que corresponde a un uso urbano o en carretera a velocidad moderada. Más allá de estas condiciones, el funcionamiento del motor es de tipo estequiométrico.

El grupo desarrolló una bomba de gasolina de alta presión en una joint venture Siemens - PSA Peugeot Citroën. Esta bomba permite disponer de presiones de inyección variables de 30 a 100 bares (3,5 bares en los motores de gasolina clásicos).

Asociado con presiones de inyección elevadas, el funcionamiento con exceso de aire (mezcla pobre) hecho posible por la carga estratificada limita las cantidades de carburante necesarias para la combustión y garantiza ahorros de carburante significativos.

En cambio, este exceso de aire produce gases de escape cuyo contenido de oxígeno impone la puesta en obra de un dispositivo específico destinado a reducir los óxidos de nitrógeno. El grupo PSA Peugeot Citroën desarrolló pues un sistema de tratamiento secuencia; de los óxidos de nitrógeno (NOx) basado en una función de almacenamiento y liberación de los mismos.

Así, la política ambiciosa de renovación de las gamas de motores del grupo PSA Peugeot Citroën, emprendida en 1998 con el motor HDi, un diesel « common rail » de alta presión, se traduce en un nuevo avance en el campo del motor de gasolina con la aparición del motor de inyección directa HPi.

Ficha técnica:

Número de cilindros: 4

Cilindrada: 1.998 CC

Diámetro x carrera de cada cilindro: 85.0 x 88.0 mm

Culata de 4 válvulas/cilindro

Compresión: 11.4:1

Par máximo: 200 Nm a 2.000 rpm

Potencia máxima: 143 CV/6.000 rpm

Inversión financiera: 420 millones de francos (10.500 millones de pestas).

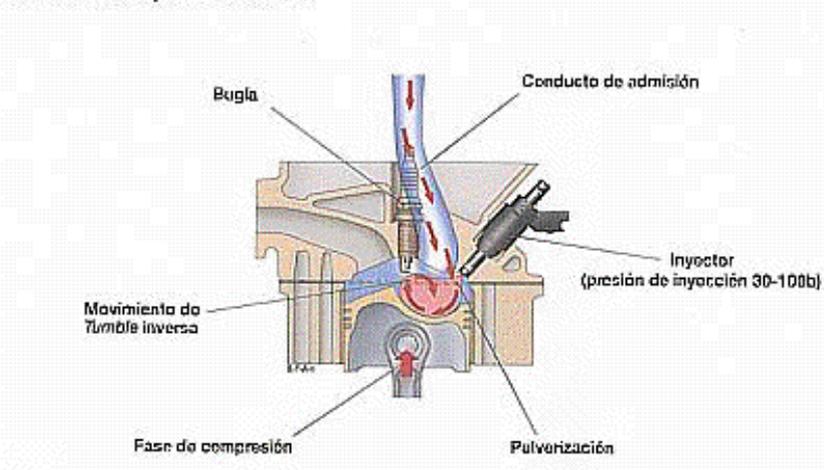
Producción: 200 unidades/día

Comercialización: segundo semestre 2000

(Fuente: PSA Peugeot Citroën Press Release)

MOTOR EW10 HPi 16

Tumble inversa y chorro desviado



AUDI

FSI : INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Los motores de inyección directa de gasolina son el futuro de la automoción mundial. Audi lo sabe, y ya tiene listas sus mecánicas con tan vanguardista tecnología, algo que reporta muchos beneficios tanto en lo relativo a consumo como en lo que respecta a control anticontaminante y emisiones puras.

Según los expertos en la materia, para el año 2007 la mitad de los coches de gasolina que se fabricarán contarán con la técnica de inyección directa. Sin duda este método representa el futuro y, para Audi, ya es presente. La nueva generación A4 va a ser la encargada de estrenar el primer motor de estas características: un 4 cilindros de 2 litros con un rendimiento excepcional. Porque la inyección directa de gasolina aporta, además de un ahorro de combustible de un 15%, una mejora del rendimiento considerable, tanto en términos de potencia como de par.

La técnica de la inyección directa de gasolina cuenta con un conducto común donde una bomba de alta presión almacena el combustible a 120 bar y se distribuye por los avanzados inyectores directamente en la cámara de combustión. Respecto al motor 2 litros actual, esta nueva mecánica dispone de cuatro válvulas por cilindro, en lugar de cinco, para dejar sitio al inyector; además, cuenta con admisión y distribución variable. La cámara de combustión es completamente diferente, con pistones de nuevo diseño que proporcionan una mayor relación de compresión y que se pueda trabajar con mezcla pobre, el auténtico secreto de la inyección directa. Así, cuando las condiciones son favorables, es decir, al ralentí o a bajas vueltas, el motor puede trabajar en lo que se llama carga estratificada. Esto significa que la mezcla de aire/gasolina ya no tiene que ser una relación estequiométrica ideal de 14,7:1, respectivamente, para que se produzca una explosión. Una lámina móvil, en este caso, provoca las turbulencias del aire de admisión necesarias en la cámara de combustión para que inyectando la gasolina en la última etapa de la compresión se pueda conseguir una mezcla óptima junto a la bujía y así provocar la explosión, mientras que en el resto de la cámara solo existe aire.

Además de una mejora del rendimiento, en torno al 5 % del par, se aprecia una reducción del consumo medio en torno al 15 %, aunque en determinadas condiciones, como al ralentí, ese valor se incrementa hasta el 40 %. Esto también tiene una consecuencia directa en la menor contaminación del motor, con la incorporación de válvulas de retorno de gases de escape (EGR) más efectivas. De todas formas, existen consecuencias laterales debidas a este tipo de combustión pobre, y es la mayor presencia de óxidos de nitrógeno. Para solucionarlo, Audi ha instalado un acumulador de Nox que, gracias a un elemento como el bario, es capaz de formar nitratos. Sin embargo, la capacidad de este catalizador es limitada, para lo cual hay que regenerarlo cuando se llega a este punto con una combustión rica durante unos breves segundos (algo que ni siquiera llega a apreciar el conductor) para que el monóxido de carbono actúe con los nitratos produciendo nitrógeno y oxígeno inocuos, a la vez que el catalizador se limpia.

RENAULT

Motor Renault F5R

Renault lanza el primer motor europeo de gasolina con inyección directa IDE: Injection Directe Essence (inyección directa de gasolina)

Fruto de la colaboración estrecha entre la Dirección de Mecánica y Renault Sport, llega a nuestro país el motor IDE de Renault. Primer motor europeo de gasolina que utiliza la tecnología de la inyección directa. Renault ha querido que sea su gama Mégane y más concretamente las versión Coupé y Cabriolet los primeros destinatarios de estos motores. Dentro del programa de reducción de consumo y emisiones contaminantes CAFE (Consumer Average Fuel Economy), Renault ha respondido al reto, elaborando en un breve lapso de tiempo, un motor que utiliza la tecnología de inyección directa en gasolina. Para ello han trabajado en estrecha colaboración la Dirección de Mecánica y Renault Sport,

Inyección directa: Carga homogénea

A la hora de plantearse su motor de inyección directa, Renault ha tenido en cuenta las dos posibles estrategias (carga estratificada y carga homogénea) y se ha decidido por esta última. Para ello, con la ayuda de un dispositivo denominado EGR (Exhaust Gas Recycling) hace entrar en el cilindro parte de los gases de escape ya quemados.

Esta tecnología se ha revelado sumamente eficaz debido a que la presencia de un volumen de gases ya quemados, rebaja la temperatura en el interior de los cilindros; reduciendo por tanto la creación de óxidos de nitrógeno, auténtico "talón de Aquiles" en la tecnología que utiliza la carga estratificada o mezcla pobre.

Motor de inyección directa IDE

Para elaborar su motor F5R IDE, Renault ha partido de un motor de 2 litros de cilindrada con culata de 16 válvulas, equipado con árboles de levas tubulares (para reducir peso) y levas forjadas que actúan sobre rodillos instalados en los patines que accionan las válvulas para evitar rozamientos.

Con una base mecánica del F4R, la única diferencia con éste último es que no dispone del sistema VVT (Variable Valve Timing) por el que se varía el avance de apertura en admisión.

Proporciona el F5R una potencia de 140 cv medidos a un régimen de 6.000 vueltas y su par motor asciende a 200 Nm a 4.000 vueltas. Lo más importante es que, además de una entrega muy lineal de par motor (trabajo llevado a cabo por los ingenieros de Renault Sport que han puesto a punto un resonador acústico de 1.5 litros específico para este modelo), los valores de par motor se encuentran disponibles en un régimen de utilización entre las 2.000 y las 5.000 vueltas (situación típica de conducción urbana).

En cuanto a tema de consumos, el motor F5R consigue 7.6 litros en ciclo europeo y en

ciclo urbano 10.2 litros (frente a los 12.4 que necesitaba el anterior motor de 2 litros de cilindrada y culata de 16 válvulas de la gama Mégane)

Los nuevos motores F5R IDE representan, por tanto, una clara voluntad de innovación en una empresa que en los últimos meses ha protagonizado una importante actualización de sus grupos motrices, introduciendo nuevos motores equipados con culata de 16 válvulas (1.4, 1.6, 1.8 y 2 litros).

Un reto difícil: Rebajar consumos, reducir emisiones contaminantes y aumentar prestaciones

En los últimos años, los pliegos de condiciones por los que se diseñan nuevos grupos motrices, han venido conteniendo pretensiones legislativas y comerciales de tal naturaleza que han conducido a los fabricantes a intentar reducir drásticamente el consumo de combustible en sus motores. Los poderes públicos, además, han endurecido las restricciones a las emisiones contaminantes. Estas tendencias han dictado unas nuevas normas de diseño en motores mucho más complejas que los fabricantes de automóviles han adoptado como línea principal de trabajo.

La reducción del consumo fijado por el programa CAFE (Corporate Average Fuel Economy) que se ha fijado como meta, llegar a una emisión inferior a los 140 gr CO₂/Km de cara al año 2008, ha tenido para Renault una consecuencia inmediata: construir motores con una reducción del consumo (del orden de un 30% con relación a un motor de cilindrada equivalente) y demostrar las excelencias mecánicas a la vez que se aprovecha la sinergia creada entre la Dirección de Mecánica y Renault Sport.

El pliego de condiciones por el que ha nacido el motor F5R IDE es bien sencillo y escueto: mayores prestaciones, menor consumo y menor contaminación. André Laine, director del proyecto IDE, se enfrentó a un reto por el que se fabricaría el primer motor europeo de inyección directa de gasolina.

Inyección

Básicamente, el motor de gasolina (ciclo de Otto) se mantiene fiel a un esquema que ya es centenario:

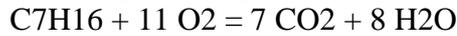
admisión, compresión, explosión (tiempo motor) y escape. En la admisión (tradicionalmente) es el momento en el que se han venido mezclando el aire y la gasolina. En una determinada proporción ("estequiométrica") de acuerdo con la temperatura exterior, densidad, etc. Antiguamente, el carburador era el dispositivo encargado de realizar esta mezcla y de variar (dentro de ciertos límites) la proporción de aire/gasolina con arreglo a la carga del motor.

Como evidentemente, el consumo de combustible depende muy directamente de esta mezcla producida, un primer paso para poder variar la proporción, atendiendo a otros parámetros, vino de la mano de la inyección de combustible que primero se controló de manera mecánica y posteriormente de forma electrónica. Un circuito integrado en el programador (calculador) informaba de la posición del punto muerto superior, de la posición de la "mariposa de gases", de la temperatura del aire exterior, de la temperatura del líquido refrigerante, etc.

Adoptando una serie de cartografías específicas a cada momento, la inyección electrónica ha venido adaptando la mezcla de combustible y el momento de ignición, adecuándolo a cada circunstancia.

La gasolina es un derivado del petróleo producido por destilación fraccionada que se puede formular en química orgánica como $C_n H_{2n+2}$ en donde "n" puede tomar el valor de 6, 7 u 8 (hexano, heptano y octano). Una mezcla apropiada de estos tres compuestos forma lo que conocemos como gasolina a la que se añaden los diferentes aditivos que cada petrolera incorpora en su proceso químico de refinado.

La reacción química que se genera en el caso de la gasolina y el aire se puede formular con arreglo a la siguiente ecuación:



Si a cada elemento se le aplica su peso molecular, resulta que, cada kilogramo de C_7H_{16} necesita 3,51 kg de O_2 o lo que es lo mismo, 15.18 kilogramos de aire. Si a esta igualdad se aplican sus equivalencias en volumen, para poder arder adecuadamente en el interior del cilindro, son necesarias 1 parte de gasolina por cada 14.7 de aire. Esta relación ha venido denominándose desde hace mucho tiempo "mezcla estequiométrica" o de "riqueza 1", correspondiente a la proporción de aire/gasolina en unas condiciones que se han denominado de atmósfera estándar (1.013 mb de presión, temperatura de 15°C y humedad relativa del aire inferior al 45%)

En el interior del cilindro, el carbono del heptano (hexano y octano) reacciona con el oxígeno y forma monóxido y dióxido de carbono. El hidrógeno a su vez forma con el oxígeno vapor de agua. También, el nitrógeno contenido en el aire (78 %) reacciona con el oxígeno (20.9%) y forma distintos óxidos de nitrógeno generalmente formulados como NO_x

Inyección directa

Una de las formas de reducir el consumo de gasolina es, obviamente, reducir la cantidad de combustible que entra en los cilindros. Pero esta medida, tiene un límite por debajo del cual, la gasolina no despliega todo su poder energético. La mezcla "pobre" plantea dos graves problemas. El primero y más importante es que una baja proporción de gasolina hace que esta no arda convenientemente y el segundo y no menos importante es que la formación de óxidos de nitrógeno crece de manera alarmante.

A la hora de reducir el consumo de gasolina, es decir, el aporte de gasolina en el interior de los cilindros, cabe plantearse dos estrategias. La primera es la que se puede calificar como "inyección de combustible en carga estratificada" y la segunda se puede calificar como "inyección de combustible en carga homogénea".

Ya se ha mencionado antes que la proporción adecuada de aire/gasolina viene a ser del orden de 14.7:1. Pero en los de inyección directa de carga estratificada, la proporción se lleva hasta valores cercanos a la relación 60:1. Sin embargo, en las proximidades de la bujía, la proporción es diferente, con lo que se ayuda a iniciar la combustión. Esta diferencia de proporciones en el interior del cilindro es la razón de la denominación de "carga estratificada"

¿Y cómo puede arder la gasolina con tan baja relación?. Ahí es en donde entra en juego la inyección en carga estratificada. Consiste básicamente en realizar la inyección en dos momentos. Una primera fase (cuando el pistón desciende) en la que se produce una mezcla ultra pobre que, aunque no puede detonar, sirve para refrigerar las paredes del cilindro. Una segunda inyección (con mayor proporción de gasolina/aire) sucede cuando el pistón comienza a ascender. En este caso, aprovechando el perfil especial de la cabeza del pistón, la mezcla se ve dirigida hacia las proximidades de la bujía, favoreciendo esta mayor concentración, que al saltar la chispa se produzca la explosión. El hecho de que en el mismo cilindro haya zonas con diferente proporción de aire/gasolina es lo que ha dado a este sistema, el nombre de "carga estratificada".

Motor Renault IDE

Para construir su motor de Injection Directe Essence (inyección directa de gasolina), Renault ha recurrido a sus conocimientos en materia de diseño de motores y conjuntamente con Renault Sport puso a sus ingenieros en pos de una idea común. El resultado ha sido el primer motor de inyección directa de gasolina europeo.

Para su elaboración, se ha partido de un motor con una cilindrada de 2.000 cc una culata de 16 válvulas, un sistema de inyección directa y una estrategia de mezcla homogénea.

Este motor IDEAA (Inyección directa de gasolina asistida por aire) funciona según el principio de re inyección masiva en admisión de los gases de escape reciclados (EGR). Este sistema, además de reducir el consumo, optimiza los niveles de contaminación y favorece la obtención de mayor par motor

El EGR (Exhaust Gaz Recycling) es un sistema que consta de una válvula by-pass que introduce en el interior de los cilindros, una corriente de gases de escape. Como estos ocupan un volumen en el interior del cilindro, reducen la cantidad de gasolina necesaria y por tanto el consumo y posibilitan aumentar la relación de compresión lo que genera -a igualdad de cilindrada- mayor par motor.

Los gases de escape, al reducir la temperatura en el interior de los cilindros, reducen la formación de NOx (óxidos de nitrógeno), consiguiendo de esta manera un funcionamiento totalmente satisfactorio desde el punto de vista de emisiones contaminantes. En cuanto el conductor necesita una potencia suplementaria, situación que es fácilmente detectable al apreciar la velocidad angular con la que se acciona el acelerador, el EGR se desconecta y el motor pasa a funcionamiento standard.

El motor Renault IDE, al funcionar con una entrada adicional de gases quemados, trabaja con mayor presión en la fase de admisión, lo que reduce de manera significativa las pérdidas de potencia debidas al efecto de bombeo, a la vez que optimiza el consumo.

La toma de gases EGR se realiza de manera directa sobre el colector de escape. Una tubería apropiada conduce los gases de escape hasta la válvula EGR en función de las necesidades del motor. El caudal de EGR viene dado en función del régimen de giro del motor y de la carga. El calculador electrónico de inyección/encendido controla además la apertura de la válvula en función del caudal cartografiado.

Este motor garantiza un arranque a alta presión (por encima de 30 bares, con lo que la puesta en marcha en frío es por tanto muy breve: menos de 2 segundos a una temperatura ambiente inferior a los -20°C. Asimismo, se limita de manera importante el consumo de combustible en la arrancada que reduce de 3 a 5 veces el valor de un motor convencional.

La cámara de combustión del motor IDE Renault dispone de inyector vertical central, bujía lateral y cabeza de pistón en forma de cubeta. Esta disposición posibilita inyectar combustible sin producir condensación en las paredes del cilindro, obtener un volumen de combustión compacto apartado de las paredes del cilindro, iniciar la combustión prácticamente en el centro de ese volumen compacto y controlar las condiciones aerodinámicas internas manteniendo la turbulencia en la cabeza del pistón. Todas estas características favorecen una combustión rápida con un excelente rendimiento, limitando al mismo tiempo las pérdidas por transmisión aerodinámica hacia las paredes del pistón. Debido a la forma compacta de la cámara de combustión y gracias a la pulverización del combustible directamente dentro del cilindro, el motor IDE Renault alcanza una relación de compresión de 12.5:1, es decir de 1 a 2 puntos por encima de la de un motor convencional. La formación del torbellino y el menor tamaño de las gotas de combustible -debido a una mayor presión de inyección del orden de 100 bares- provocan

una mayor velocidad de combustión con un frente de llama mucho más eficaz.

El tiempo de respuesta (muy breve) del sistema de inyección (con una cartografía especial), ha sido desarrollada por Siemens y el hecho de no condensarse la gasolina en las tuberías de admisión, son dos elementos que procuran una alta prestación en bajo régimen y posibilita obtener respuestas francas en regímenes de transición.

Como la relación volumétrica es superior a la de un motor tradicional y el aporte de la válvula EGR procura un llenado de aire, el motor IDE Renault presenta una curva de par muy completa, desde los regímenes bajos. Funcionamiento flexible y excelente par motor en toda la curva que extienden las posibilidades de cada marcha y mejoran el consumo al mismo tiempo que favorecen altas prestaciones.

Sin duda, uno de los factores importantes a la hora de estudiar la curva de par motor, es el resonador. Este elemento ha sido estudiado directamente por Renault Sport y aprovecha las experiencias adquiridas en el diseño y concepción de motores RS de 10 cilindros en V que fueron capaces de alcanzar seis campeonatos del mundo seguidos en la Fórmula Uno.

El resonador es una cavidad de geometría estudiada con un volumen de 1.5 litros que está situado paralelamente al repartidor de admisión que modifica la acústica de este repartidor y que hace las veces de un amortiguador acústico, para favorecer la resonancia del motor.

Sabido es que en un motor convencional, debido a la acústica de los conductos de admisión y escape, la curva de par motor presenta algunos altibajos.

Estos se pusieron de manifiesto en la primera curva de par motor que se obtuvo en el diseño del motor IDE. Una zona de picos en torno a las 2.250 vueltas y otra de baches sobre las 3.000 rpm.

Con el resonador, en cambio, el aumento de par supera los 5 Nm entre 2.750 vueltas y 4.000 rpm y se homogeneiza la gráfica en una zona en la que precisamente- el motor está más solicitado.

Para conseguir par motor a bajo régimen, Renault ha recurrido a un estudiado diseño y redimensionado de los conductos de admisión que optimizan el llenado a bajo régimen, aprovechando al máximo los efectos acústicos sin sacrificar por otra parte la potencia entregada por el motor.

El aire fresco penetra por la caja de mariposas y se mezcla con el EGR en el circuito de admisión. Después, a través de las válvulas de admisión correspondientes, mediante una aerodinámica interna "tumble" entra en el cilindro. En el interior, el movimiento circular producido se acentúa debido a la forma que tiene la cabeza del pistón que ha sido estudiada para proporcionar una mejor homogeneización de la mezcla.

La inyección de combustible, pilotada por el calculador se realiza en el momento en que la válvula de admisión se encuentra abierta. El carburante llega directamente al cilindro por medio de un inyector situado en una rampa común superior fijada a la culata que entrega el carburante a una presión de entre 50 y 100 bares.

Gestión del motor IDE

El motor de inyección directa de gasolina Renault cuenta con una gestión completa basada en dos subsistemas. Uno de ellos actúa sobre los componentes electrónicos y el otro, sobre el sistema de alimentación de combustible.

El sistema electrónico consta de un módulo de control del motor que recibe información del captador de presión en el circuito de admisión, de los sensores lambda, de la posición de la válvula de mariposa y manda información al cajetín de inyectores y a la válvula EGR.

El sistema de control de combustible funciona de la siguiente manera: La gasolina contenida en el depósito es convenientemente filtrada y a través de la bomba de presión, enviada a los inyectores en donde en su rampa correspondiente, se dispone de un sensor de presión y de su regulador electrónico de alta presión correspondiente.

Carga homogénea o carga estratificada ¿cuál es mejor?

Llegados a este punto, tanto el motor de inyección directa con carga estratificada como el de carga homogénea, se han revelado como dos sistemas importantes a la hora de reducir el consumo de gasolina en los motores de explosión.

Los dos sistemas tienen ventajas e inconvenientes y, por el momento, la razón para elegir uno u otro se encuentra en la calidad de la gasolina europea. ¿Por qué?. Es debido a que, cuando un motor funciona con mezcla pobre, produce más óxidos de nitrógeno. Para reducir estos elementos contaminantes se puede recurrir a soluciones del tipo "catalizador trampa" (catalizador DeNox) que retiene los óxidos de nitrógeno que serán liberados en funcionamiento con mezcla normal. La reducción entonces aporta oxígeno para oxidar los CO y convertirlos en CO₂ y el nitrógeno libre escapa a la atmósfera.

Bosch, que está elaborando un sistema de inyección directa, tiene previsto la utilización de un catalizador con un sistema de limpiado de azufre que exige mantenerlo por encima de los 650°. Dado que no siempre es posible mantener la temperatura de funcionamiento tan alta, hay que quemar de vez en cuando gasolina en exceso para calentarlo. Esta tarea eleva un poco el consumo pero, como el catalizador detecta la cantidad de azufre en el combustible, esta tarea dejará de realizarse en cuanto se reduzca el contenido de azufre en la gasolina europea.

Ventaja clara del motor IDE Renault

La clara ventaja del motor IDE radica en que, con la gasolina actual en Europa y con los catalizadores europeos, es capaz de superar las normas anticontaminantes más estrictas. Sin necesidad de utilizar doble catalizador ni utilizar un catalizador especial para los óxidos de nitrógeno, ni tampoco usar la tecnología de "barrido de gases caliente". La astucia de los ingenieros de diseño Renault ha consistido en que, utilizando una tecnología avanzada (inyección directa) mediante una válvula EGR se cumplen a entera satisfacción las normas europeas en esta materia.

De cara al futuro

Evidentemente, la marcha de las investigaciones sigue su curso. En la actualidad, hay que estar muy atento a dos factores. De una parte la evolución de la legislación comunitaria en materia de emisiones contaminantes y, de otra, en la evolución de la calidad de las gasolinas. Si como parece anunciado ya por las grandes petroleras del viejo continente, se va a reducir el contenido de azufre en los combustibles actuales, Renault potenciará su sistema de inyección directa con carga estratificada que ya tiene muy avanzado.

Con una cilindrada de 1.998 cc, culata de 16 válvulas, el motor F5R proporciona una potencia de 140 CV medidos a 5.500 vueltas por minuto con un par motor de 200 Nm a 4.000 rpm con una respuesta totalmente plana y lineal que entrega un par motor superior a los 170 Nm en un amplio régimen de utilización que abarca de las 2.000 a las 5.650 rpm.

El motor F5R ha logrado un consumo muy racional. Tan solo emplea 7.6 litros cada 100 kms medidos en un ciclo europeo, 6.1 en el caso de medición sobre autopista y en el ciclo urbano, 10.2 litros cada 100 kilómetros. Las prestaciones que alcanza este vehículo son importantes: Una velocidad máxima de 213 km/h (210 en Cabriolet) y una aceleración de 8.6 segundos (9.0 en Cabriolet) para alcanzar los 100 km/h. Es capaz de recorrer los 400 m con salida parada en 16.3 segundos (16.6 para el Cabriolet) y para realizar un kilómetro con salida parada, el Mégane Coupé equipado con motor IDE emplea 29.5 segundos, en tanto que su hermano de gama Cabriolet necesita 5 décimas de segundo suplementarias.

Los Mégane Coupé IDE y Cabriolet IDE, al incorporar este nuevo motor, apenas han sufrido modificaciones con respecto a las especificaciones que incorporaban con el anterior motor de 2 litros y culata de 16 válvulas (F7R).

SAAB

SAAB COMBUSTION CONTROL

Saab Combustion Control, SCC, es un nuevo sistema de motor concebido para reducir el consumo de combustible y, al mismo tiempo, disminuir de forma contundente las emisiones de gases de escape. Todo esto sin menoscabar el rendimiento del motor.

Mediante la incorporación de una gran cantidad de gases de escape en la combustión, se obtiene una reducción del consumo de combustible de hasta un 10 por ciento y, al mismo tiempo, las emisiones alcanzan niveles inferiores a los dictados por las normas estadounidenses de ULEV 2 (Ultra Low Emission Vehicle – Vehículos de emisiones extremadamente reducidas) que entrarán en vigor en 2.005.

En comparación con un motor actual de Saab que ofrezca un rendimiento equivalente, las emisiones de monóxido de carbono y de hidrocarburos se reducen a casi la mitad y las de óxidos de nitrógeno en un 75 por ciento.

- **Tres componentes principales forman el concepto SCC**

El sistema SCC está basado en una combinación de la inyección directa de gasolina con variación tanto del tiempo de apertura y cierre de las válvulas como del tramo de descarga de la chispa. A diferencia de los sistemas de inyección directa en venta actualmente en el mercado, el SCC aprovecha las ventajas de la inyección directa de gasolina sin renunciar a la proporción de mezcla ideal de aire y combustible (14,6:1 = lambda 1) necesaria para que funcione debidamente un catalizador corriente de tres vías.

Los componentes más importantes del sistema SCC son:

Inyección directa de combustible asistido por aire con generador de turbulencia

El equipo de inyección y la bujía van integrados en una unidad denominada spark plug injector en inglés, SPI. La gasolina se inyecta directamente en el cilindro empujada por aire comprimido. Inmediatamente antes de inflamarse el combustible, un breve impulso de aire genera una turbulencia en el cilindro que facilita la inflamación y acorta la duración de la combustión.

- **Tiempos de apertura y cierre de las válvulas variables**

El sistema SCC lleva árboles de levas pivotantes para poder ir variando de forma progresiva la apertura y el cierre de las válvulas de admisión y escape. Este procedimiento permite incorporar los gases de escape en el cilindro y aprovechar las ventajas de la inyección directa

conservando, con todo, la proporción lambda 1 en la mayoría de las condiciones de conducción. Los gases de escape pueden constituir hasta un 70 por ciento del contenido del cilindro durante la combustión. La proporción exacta depende de las condiciones de conducción.

El sistema SCC lleva árboles de levas pivotantes para poder ir variando de forma progresiva la apertura y el cierre de las válvulas de admisión y escape. Este procedimiento permite incorporar los gases de escape en el cilindro y aprovechar las ventajas de la inyección directa conservando, con todo, la proporción lambda 1 en la mayoría de las condiciones de conducción. Los gases de escape pueden constituir hasta un 70 por ciento del contenido del cilindro durante la combustión. La proporción exacta depende de las condiciones de conducción.

- **Tramo de descarga de la chispa variable con una potencia de encendido muy alta**

El tramo de descarga de la chispa puede variar de 1 a 3,5 mm. Un electrodo, que ocupa una posición central integrado en la unidad del inyector y bujía, envía la chispa o bien a un electrodo fijo situado a una distancia de 3,5 mm o a una espiga ubicada en el pistón. La variación del tramo de descarga de la chispa constituye, junto a la elevada potencia de encendido, una condición indispensable para poder inflamar una mezcla de aire y combustible considerablemente rebajada por la presencia de gases de escape.

- **El catalizador continúa siendo el elementos más importante para la depuración de los gases de escape**

El componente más importante del proceso de depuración de gases de escape lo continúa siendo el catalizador. Durante una conducción normal, el catalizador procesa más del 99% de los compuestos químicos nocivos y los convierte en gases de presencia normal en la naturaleza.

El interior de catalizador se compone de un núcleo perforado cuyas paredes están revestidas con un material catalítico de metal noble (platina o rodio). La totalidad de la superficie del material catalítico posee un área que equivale a tres campos de fútbol.

El revestimiento de metal noble captura el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (HC) y los óxidos de nitrógeno (NOx) y hace posible que estos elementos reaccionen entre sí para formar dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O) y nitrógeno (N₂).

- **Los inconvenientes del catalizador**

A pesar de su eficacia a la hora de hacerse cargo de los elementos nocivos de los gases de escape, el catalizador tiene ciertas limitaciones. Para que un catalizador de tres vías trabaje a pleno rendimiento, debe haber una la temperatura de aproximadamente +400°C. Por este motivo, no hay capacidad depuradora directamente después de un arranque en frío (el término “arranque en frío” no tiene nada que ver las condiciones meteorológicas, sino que se define así todo arranque de motor que tenga lugar cuando la temperatura de líquido refrigerante es inferior a +85°C).

Otro requisito es que debe mantenerse constante en el catalizador la concentración de oxígeno.

La concentración de oxígeno depende a su vez de la proporción de la mezcla de aire y gasolina del combustible que se consume durante la carburación. La proporción ideal es la constituida por 1 parte de combustible y 14,6 partes de aire ($=\lambda 1$). Una mezcla más rica, con una mayor presencia de combustible, se traduce en un aumento de las emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC). Una mezcla más pobre, con menos combustible, aumenta las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx).

El catalizador no afecta tampoco las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), que son directamente proporcionales al consumo de combustible. Cuanto más combustible se consuma, mayores son las emisiones de dióxido de carbono.

Así pues, gran parte de la labor de desarrollo de motores de gasolina de mayor limpieza se rige por dos objetivos principales: lograr la mayor reducción posible del consumo de combustible y conseguir que el catalizador trabaje en condiciones óptimas durante la mayor parte posible de la conducción. El sistema SCC se ha desarrollado precisamente siguiendo estas directrices.

- **La inyección directa convencional proporciona una reducción del consumo de combustible ...**

En un motor con un sistema normal de inyección indirecta, la gasolina se inyecta en el colector de admisión donde se mezcla con el aire que entra en el cilindro. Una parte de la gasolina queda retenida en las paredes del colector de admisión, por lo que hay que inyectar más combustible para que llegue al cilindro la cantidad necesaria, sobre todo al arrancar con el motor frío.

Hace unos años, algunos fabricantes de automóviles introdujeron el sistema de inyección directa de gasolina con el propósito de disminuir el consumo de combustible. Al inyectarse directamente la gasolina en el cilindro, se puede regular de un modo más preciso el consumo aprovechando sólo la cantidad exacta de gasolina necesaria en cada combustión. La mezcla inflamable de combustible y aire no ocupa, en tal caso, todo el cilindro, sino que basta con que se inflame la mezcla más inmediata a la bujía. El resto del cilindro se llena de aire.

- **... pero da lugar a un aumento de las emisiones de óxidos de nitrógeno**

Esta mezcla de combustible más pobre proporciona una reducción del consumo en ciertas condiciones de conducción, pero es causa también de que no pueda utilizarse un catalizador de tres vías para hacerse cargo de las emisiones de óxidos de nitrógeno. Hay que recurrir, en vez, a un catalizador especial provisto de los denominados capturadores de óxidos de nitrógeno.

En comparación con un catalizador convencional de tres vías, estos catalizadores especiales presentan una serie de inconvenientes de consideración. Resulta más caros fabricarlos a causa de la mayor concentración de metales nobles. Son, por otra parte, más sensibles a las altas temperaturas, por lo que requieren refrigeración cuando trabajan con mucha carga, normalmente mediante el método de enviar más gasolina al motor. El capturador de óxidos de nitrógeno necesita, además, regenerarse tras haberse llenado, es decir, deben limpiarse los óxidos de nitrógeno acumulados dejando que el motor marche un instante con una mezcla de combustible más rica. Tanto la refrigeración como la regeneración actúan en perjuicio del

consumo de combustible.

Estos tipos de catalizadores especiales son, por añadidura, sensibles al azufre y exigen, por tanto, una gasolina con una concentración de azufre muy baja. El proceso de desulfatación del combustible genera, asimismo, un incremento de las emisiones de dióxido de carbono en las refinerías.

- **Inyección directa y lambda 1 con SCC**

Con el sistema SCC, los técnicos de Saab han conseguido aprovechar las ventajas de la inyección directa conservando, con todo, la proporción lambda 1. El combustible se inyecta directamente en el cilindro empujado por aire comprimido a través del inyector integrado con la bujía. A diferencia de otros sistemas de inyección directa, el cilindro no recibe más aire que el estrictamente necesario para obtener la proporción lambda 1. El resto del cilindro se llena con los gases de escape de la combustión anterior.

La ventaja de aprovechar los gases de escape en vez de sólo aire para llenar el cilindro radica en que los gases de escape son inertes. No aportan oxígeno a la combustión, por lo que no afectan tampoco la proporción lambda 1. De este modo, el sistema SCC no necesita llevar un catalizador especial, sino que funciona perfectamente con un catalizador convencional de tres vías. La temperatura de los gases de escape es, asimismo, muy elevada, por lo que ocupan mucho espacio, y el aporte de calor resulta, además, beneficioso para la combustión.

- **La reducción de pérdidas por bombeo proporciona una disminución del consumo de combustible**

El sistema SCC contribuye también a reducir las pérdidas por bombeo. Éstas surgen normalmente al conducir con poca carga aplicada al motor cuando la mariposa no va completamente abierta. El pistón debe superar en el cilindro una contrapresión en la fase de admisión y “aspirar” el aire, como al tirar de una bomba de bicicleta tapando el agujero de entrada con un dedo. La energía adicional consumida para hacer descender el pistón ocasiona un aumento del consumo de combustible.

En un motor SCC, el cilindro recibe la cantidad exacta de gasolina y aire que se requiere según cada situación. El resto del cilindro se llena con gases de escape no inflamables. De este modo se obtiene una reducción de las pérdidas por bombeo, ya que el motor no necesita aspirar más aire de lo necesario para alcanzar la proporción lambda 1.

- **Distintos tipos de chispas para condiciones de conducción diferentes**

La mezcla de combustible y aire en los cilindros de un automóvil provisto del sistema SCC se compone esencialmente de gases de escape y aire. Los gases de escape representan entre un 60 y un 70 por ciento del volumen de la cámara de combustión, entre un 29 y un 39 por ciento del

volumen es aire, mientras que la gasolina constituye menos del uno por ciento del total. Por regla general, se utiliza más gases de escape al conducir con poca carga aplicada al motor que cuando el motor trabaja con mucha carga.

Para inflamar una mezcla de gases compuesta, sobre todo, de gases de escape y para conseguir que se consuma con la suficiente rapidez, se exige un sistema de encendido con una gran capacidad de encendido, capaz de concentrar una cantidad muy elevada de energía en una zona específica de la cámara de combustión. En el sistema SCC, esto se consigue variando el tramo de descarga de la chispa y aplicando una potencia de encendido muy elevada (80mJ).

El tramo de descarga puede variarse de 1 a 3,5 mm. Cuando la carga aplicada al motor es baja, el electrodo de la bujía, que ocupa una posición central en el cilindro y va integrada en la unidad del inyector, envía una chispa a un electrodo fijo que se encuentra a una distancia de 3,5 mm de la bujía. Cuando la carga es alta, el encendido se retrasa un instante y la densidad de la mezcla es entonces demasiado alta para permitir que la chispa recorra un trayecto de 3,5 mm. Se recurre entonces a una espiga ubicada en el pistón que hace las veces de electrodo. La chispa, que obedece a las leyes de la física, salta a la espiga del pistón en cuanto ésta se encuentra a una distancia inferior a 3,5 mm.

- **El sistema SCC ha sido desarrollado por Saab**

El sistema Saab Combustion Control se ha construido en la sección de desarrollo del motor de Saab, que es asimismo el centro especializado en el perfeccionamiento de motores de gasolina provistos de turbocompresor en el seno de GM. El método del sistema SCC que permite variar el tramo de descarga de la chispa, parte del concepto de relación entre chispa y pistón que Saab presentó en la exposición de Francfort de 1.995. En cuanto a la inyección directa con asistencia de aire, dicho sistema constituye el resultado de la colaboración de los técnicos de Saab con la empresa australiana Orbital.

SCC es un sistema de motor “global” en la medida que cumple tanto con las normas estadounidenses, que hacen sobre todo hincapié en las emisiones óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, como con las Europeas, que prestan mayor atención a las emisiones de dióxido de carbono. El sistema SCC se introducirá en la próxima generación de automóviles Saab.

- **El trabajo del motor SCC, paso a paso**

Tiempo de combustión

1. Se inflama la mezcla de aire y gasolina. La producción de calor provoca la expansión de la mezcla que lanza hacia abajo el pistón.

Tiempo de escape

2. Las válvulas de escape se abren cuando el pistón alcanza su máxima posición de descenso. La mayor parte de los gases salen expulsados por la lumbrera de escape por haber diferencias de presión entre el cilindro y las lumbreras. Esto ocurre durante un tiempo muy reducido mientras el pistón se encuentra en el punto muerto inferior. El resto de los gases sale despedido del cilindro al ascender el pistón.

3. Poco antes de alcanzar el pistón el punto muerto superior, la unidad de inyección introduce en el cilindro un chorro de gasolina. Al mismo tiempo se abren las válvulas de admisión. Los gases de escape mezclados con la gasolina salen empujados tanto por las lumbreras de escape como por las de admisión.

El tiempo exacto en que permanecen abiertas simultáneamente las válvulas de escape y las de admisión (determinando la concentración de gases de escape que habrá en el cilindro al producirse la combustión), depende de las condiciones de conducción. La concentración de gases de escape suele aumentar cuando la carga aplicada al motor es baja y disminuir cuando la carga es alta.

Tiempo de admisión

4. Desciende el pistón. Permanecen abiertas las válvulas de escape y las de admisión. La mezcla de gases de escape y gasolina pasa de las lumbreras de escape al cilindro por la fuerza de succión. Una gran parte de la mezcla sube a presión por las lumbreras de admisión.

5. El pistón continúa descendiendo. Se cierran las válvulas de escape pero siguen abiertas las de admisión, por lo que regresa al cilindro la parte de la mezcla de gases de escape y gasolina que fue introducida en el colector de admisión.

6. El pistón se acerca al punto muerto inferior. Ha vuelto al cilindro toda la mezcla de gases de escape y, durante la fase final del tiempo de admisión, entra el aire necesario para que se produzca la combustión (14,6 partículas de aire por una de combustible).

Tiempo de compresión

7. Se cierra la válvula de admisión. El pistón asciende y la mezcla de gases de escape, aire y gasolina se comprime. A medio camino, aproximadamente, de la carrera del pistón (unos 45 grados de giro del cigüeñal), poco antes de inflamarse la mezcla de aire y gasolina, la unidad de inyección envía un impulso de aire. Este impulso genera una turbulencia que facilita la

inflamación y acorta el tiempo de combustión.

8. Poco antes de que alcance el pistón el punto muerto superior, el electrodo de la bujía integrada en la unidad de inyección envía una chispa que hace arder la mezcla de aire y gasolina e inicia la siguiente fase de expansión.

El momento exacto de encendido depende de las condiciones de conducción. Según lo que tarde en producirse el encendido, la chispa se dirige o bien hacia el electrodo fijo, un tramo de 3,5 mm, o hacia una espiga ubicada en el pistón.

La chispa obedece a las leyes de la física y pasa al pistón en cuanto la espiga del pistón se encuentra a una distancia inferior a 3,5 mm. Por regla general, la chispa se dirige hacia el electrodo fijo cuando la carga aplicada al motor es baja y pasa al pistón al aumentar la carga.

BOSCH

Bosch y la inyección directa de gasolina

Objetivos: reducir el consumo y la contaminación, y mejorar las prestaciones.

Bosch ha aprovechado los conocimientos de sus ingenieros en el campo de la inyección directa Diesel para aplicarlos también a la técnica de inyección directa de alta presión en los motores de gasolina. Esto no significa que la inyección directa de gasolina Bosch BDE haya sido un invento absolutamente nuevo, puesto que hace más de 60 años, Bosch había aplicado ya esta técnica a los motores de avión. También el automóvil denominado *Gutbrod* estaba equipado en 1952 con un sistema similar, montado en un motor de 2 tiempos de 600cc. Hasta el legendario Mercedes 300 SL "Alas de Gaviota" del año 54 llevaba inyección directa de gasolina Bosch. La particularidad de estas tres experiencias fue que sólo se utilizó el sistema para aumentar las prestaciones del motor, dejando el consumo o las emisiones contaminantes en un segundo plano.

La compatibilidad con el medio ambiente es, junto con la seguridad y la economía de consumo, el principal objetivo de desarrollo asumido por la industria europea del automóvil y por sus proveedores. La reducción progresiva de emisiones contaminantes pactada por los legisladores, con lo que la industria ha de seguir las directrices marcadas.

Los motores de gasolina han reducido drásticamente su consumo y, directamente con ello la cantidad de gases de escape emitidos. Bosch propone un sistema de inyección directa de gasolina denominado Motronic MED7 que, controlado electrónicamente, permite reducir el consumo hasta en un 15%, e incluso llegar al 40% al ralentí. Este sistema viene equipado con una bomba de alta presión para poder inyectar directamente en la cámara de combustión a través de unas válvulas electromagnéticas. La cantidad de carburante se ajusta a la masa de aire aspirada.

El régimen de carga estratificada se utiliza en el campo de carga parcial del motor de gasolina de inyección directa. El know-how de los ingenieros de Bosch se basa en la división del área de combustión en dos zonas: una nube de mezcla inflamable de aire y gasolina en la bujía, integrada en una capa térmicamente aislada compuesta de aire y gas residual. Con esta estratificación de la carga, hace que el valor Lambda le sea favorable, y se consiga la mayor reducción en el consumo de combustible.

A medida que aumenta la carga del motor, el sistema de inyección cambia a una mezcla homogénea del cilindro. De este modo se puede aumentar el par motor respecto a los motores convencionales. Por tanto, este sistema aumenta incluso la potencia de arranque de los motores de gasolina, y una reducción media en el consumo en marcha del 15%. A fin de aprovechar completamente el potencial de ahorro de la inyección directa de gasolina y disponer de una técnica de gas de escape eficiente a largo plazo, se precisa de un carburante pobre en azufre.

Actualmente ya existe un modelo de Volkswagen que incorpora este sistema. Según las previsiones, en el año 2007 en Europa Occidental, uno de cada dos motores de gasolina nuevos montarán el sistema de inyección directa.

¿Cómo funciona?

El sistema de inyección de alta presión de Bosch para motores de gasolina se basa en un

acumulador que soporta hasta 120 bares de carga suministrados mediante una bomba de alta presión. Gracias a esto, la gasolina puede inyectarse en cualquier momento directamente al área de combustión a través de unas válvulas electromagnéticas. La cantidad de carburante se adapta con exactitud a la masa de aire aspirada. El sistema Motronic MED7, al estar regulado por los valores de medición de una sonda Lambda de banda ancha, ofrece varios regímenes de funcionamiento del inyector directo, incluido el funcionamiento en régimen de carga estratificada, con valores Lambda mayores a 1, es decir: con un gran exceso de aire. Precisamente aquí reside la oportunidad de lograr un consumo de combustible muy bajo.

El régimen de carga estratificada se utiliza en el campo de carga parcial del motor de gasolina de inyección directa. La experiencia de los ingenieros de Bosch apunta hacia la división del área de combustión en dos zonas, una nube de mezcla inflamable de aire y carburante en la bujía integrada en una capa térmicamente aislada compuesta de aire y gas residual. Con esta estratificación específica de la carga, el valor Lambda en el área de combustión oscila entre 1,5 y 3.

En el campo de carga parcial la inyección directa de gasolina alcanza el mayor ahorro de combustible frente a los procedimientos convencionales (en marcha de ralentí incluso alcanza el 40%). A medida que aumenta la carga del motor, el Motronic MED7 cambia a una mezcla homogénea del cilindro. En este modo de funcionamiento se puede aumentar el par en hasta un 5% frente a los motores de gasolina tradicionales. Por tanto, la inyección directa aumenta la potencia de arranque de los motores de gasolina. Esto supone un ahorro medio de combustible de hasta un 15%, lo cual resulta de gran importancia para los ingenieros de Bosch.

Actualmente, Volkswagen ya produce el primer vehículo con el sistema Motronic MED7. Dado el gran interés de la industria del automóvil, los responsables de Bosch preveen que en el año 2007 uno de cada dos motores de gasolina de nueva fabricación en Europa Occidental incorporen los sistemas de inyección directa.

Más información:

SISTEMA DE INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

En el proceso de régimen de carga estratificada el combustible se pulveriza finísimamente para poder producir una mezcla óptima en el breve lapso que media entre la inyección y el encendido. Seguidamente, para evitar la formación de hollín, la distribución por válvulas de la Motronic MED7 cambia a carga cilíndrica homogénea. En este caso, el sistema inyecta muy pronto, durante el proceso de aspiración, para conseguir una buena mezcla de combustible y aire con una relación $\lambda=1$.

El sistema de inyección de alta presión de Bosch para motores de gasolina se basa en el acumulador de presión, un distribuidor de gasolina al que una bomba de alta presión recarga hasta una presión regulada de 120 bares. Por eso, el combustible se puede inyectar en cualquier momento directamente en la cámara de combustión a través de válvulas de inyección electromagnéticas.

La masa de aire aspirada se regula libremente por medio de la válvula de reducción con mando electrónico (EGAS) y se determina con la ayuda de un medidor de masas de aire. La sonda Lambda de banda ancha (LSU), situada en la corriente de gases de escape delante de los catalizadores, sirve para controlar la mezcla.

Los puntos de referencia para un mejor grado de eficiencia

Según las leyes de la termodinámica, los expertos calculan que la eficiencia general de los motores de gasolina actuales, en el ciclo de prueba europeo asciende a un 13%. Esto también

significa que sólo una octava parte de la energía aplicada con la gasolina se puede convertir en una energía cinética aprovechable. El alto porcentaje de pérdida (un 87%) tiene causas muy diversas:

l Incluso en un proceso ideal de motorización, se producen pérdidas de energía del 45%, condicionadas por el principio del régimen de carga estratificada.

l Para el motor en el régimen de $\lambda = 1$, se añade otro 7%.

l Las pérdidas por "combustión no ideal" y las pérdidas de calor en las paredes de la cámara de combustión suponen otro 15% adicional de la energía aplicada.

l Asimismo, se pierde otro 10% por las pérdidas de estrangulación.

l La fricción en el motor, así como en los grupos secundarios necesarios, añaden otro 10 por ciento.

Para reducir al mínimo estas pérdidas, los técnicos de Bosch dedican sus esfuerzos a tres aspectos:

l Con un gran porcentaje de régimen en la carga estratificada con valores $\lambda > 1$, se consigue alrededor de un 5 por ciento.

l Se puede evitar otro 5% de pérdida en el punto "combustión no ideal" y "pérdidas de calor en las paredes".

l Con el régimen sin estrangulación frecuente, las pérdidas se pueden reducir otro 5 por ciento.

Con la Motronic MED7 de Bosch y un catalizador acumulador se han superado estos obstáculos. Después del inicio de la producción en serie del primer vehículo europeo en Volkswagen con el sistema Motronic MED7 de Bosch, se espera, a medio plazo, un amplio uso de la nueva técnica en los motores de gasolina, en vista del gran interés que ha demostrado la industria europea de automoción.

Objetivos de la inyección de combustible

Inyección de combustible (gasolina)

sensor lambda y catalizado

Objetivos de la inyección de combustible:

Mayor potencia por volumen de embolada, menor consumo específico de combustible, par de giro más elevado a bajas revoluciones y mejor calidad de los gases de escape.

Inyección de gasolina:

El motor cuatro cilindros a gasolina fue desarrollado por Daimler en 1883 en Alemania, y prácticamente desde 1900 se ha mantenido igual en los vehículos de pasajeros. Las ventajas del motor a gasolina radican en su gran desempeño y en los bajos niveles de emisiones de NOx, mientras que sus desventajas se centran en su ineficiencia debido a la mezcla de aire/gasolina fuera del cilindro y en los altos índices de emisiones de CO₂. El motor diesel, producto del ingenio de Rudolf Diesel en 1892, ofrece mayor eficiencia en el consumo de un combustible menos costoso y bajo niveles de emisiones de CO₂, pero falla al brindar poca potencia y altos niveles de emisiones de NOx.

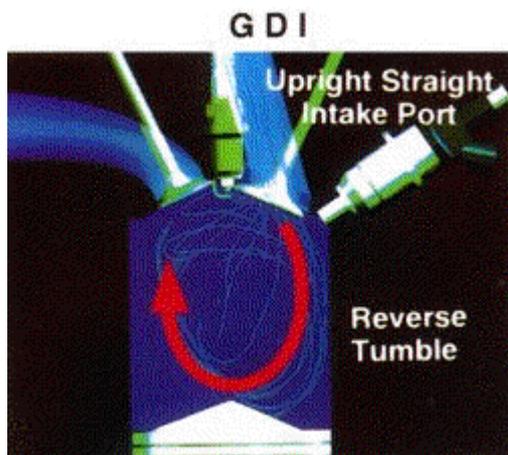
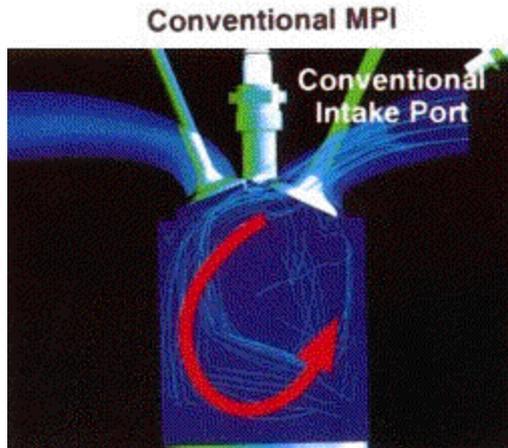
La evolución de los sistemas de alimentación de combustible ha sido lenta, pero en los últimos 25 años se han hecho los mayores esfuerzos en la búsqueda de motores más eficientes y menos contaminantes. Hasta la década de los 70 el carburador era el punto central para la distribución del combustible. En los años 80 surgió el popular Multi Point Fuel Injection, en uso hasta ahora, que desterraría al carburador. El MPI consiste en inyectar indirectamente el combustible en cada cilindro. Surgió hace pocos años el GDI, un motor en el cual se inyecta la gasolina directamente en el cilindro, donde se mezcla con el aire justo antes de la ignición.

Las exigencias de protección del medio ambiente han conducido al desarrollo de motores cada vez más eficientes y menos contaminantes debido al alto contenido de plomo en la gasolina. Desde su debut a fines de 1995, el motor de moda en la industria automotriz es el GDI, el primer motor de inyección directa de combustible desarrollado por Mitsubishi en Japón.

Las ventajas del GDI radican en que ofrece la potencia y capacidad de respuesta de un motor a gasolina y la economía de combustible disponible en un motor diesel, podría decirse que son dos motores en uno.

Entre los factores que limitan el aumento de la relación de compresión están las detonaciones que se producen en los motores convencionales en condiciones de alto par a baja velocidad. El sistema de control denominado Mezcla en Dos Etapas (Two Stage Mixing) evita las detonaciones del motor en condiciones de alto par a baja velocidad. Mediante este sistema la mezcla se realiza en dos etapas y se inyecta dos veces en el cilindro, lográndose menos detonaciones en el motor incluso con una relación de compresión superior al 12.5:1.

En los motores de gasolina de inyección convencional la mezcla de aire y combustible se realiza fuera de los cilindros. En el motor GDI esta mezcla tiene lugar dentro del cilindro. Esto elimina residuos y pérdida de rendimiento debido a que el combustible se quema por completo, aprovechándose así toda su energía. Gracias a este proceso hay una reducción drástica en las emisiones de CO₂.



El motor Mitsubishi GDI dosifica la mezcla de acuerdo a las condiciones de manejo. A velocidades de hasta 120 km/h funciona con combustión ultrapobre, quemando el combustible con una relación pobre de 40:1, mientras que en los motores convencionales la relación es de 14.7:1 y en los motores de combustión pobre la relación es de 22:1.

Cuando se conduce a altas velocidades el GDI cambia imperceptiblemente al modo de potencia superior, es decir que se modifica el momento de la inyección para lograr un par y una potencia superior. Esto significa que el par aumenta en un 10% respecto al par de un motor convencional de cilindrada similar.

En la búsqueda de motores más eficientes y menos contaminantes siempre han surgido unos motores mejores que otros. Algunos ofrecen mayor eficiencia, otros se venden como limpios por producir menos emisiones contaminantes, y finalmente los que brindan mayor potencia. Sin embargo la superación en cualquiera de estas áreas ha significado el sacrificio de otra. El GDI de Mitsubishi utilizando un 20% menos de combustible reduce en una proporción igual las emisiones de CO₂ en relación a los motores convencionales de una cilindrada equivalente obteniendo un 10% más de par. Sus ventajas podrían resumirse en que logra una eficiencia y una potencia comparable con la de un motor a gasolina normal, pero con la conveniencia de ser el motor más limpio disponible comercialmente.

Las instalaciones de inyección actualmente empleadas en los motores de otto inyectan el combustible no directamente al cilindro, sino al tubo de aspiración o al colector de admisión. Existen la inyección mecánica de gasolina mediante una bomba accionada por el motor de combustión o la inyección mecánica K-jetronic no accionada y la inyección de gasolina

dirigida electrónicamente (D-jetronic y L-jetronic).

sensor lambda y catalizador

Su construcción es la siguiente: una parte de cuerpo de cerámica se encuentra sumergida en el flujo de los gases de escape, la otra parte está en contacto con el aire exterior. La superficie del cuerpo de cerámica (dióxido de circonio) está provista de electrodos de una fina capa de platino permeable a los gases. Adicionalmente, la parte expuesta a los gases de escape lleva una capa porosa de cerámica como protección contra el ensuciamiento por residuos de la combustión.

funcionamiento: se basa en la conductividad que adquiere el material cerámico, a partir de la temperatura de aprox. 3000 °C, para los iones de oxígeno. Si se da una diferencia de contenido de oxígeno en ambos lados del sensor, se produce una tensión eléctrica entre ambas superficies debido a las propiedades especiales del material utilizado. Esta tensión es una medida de la diferencia del contenido de oxígeno en ambos lados de la sonda.

Los gases de escape del motor de combustión contienen también en una combustión con exceso de combustible una parte de oxígeno residual (con la composición de la mezcla $\lambda=0,95$, por ejemplo 0,2 a 0,3 % en volumen). El contenido del oxígeno residual depende en gran parte de la composición de la mezcla de aire y combustión. Esta dependencia permite tomar el contenido de oxígeno en los gases de escape como medida de la relación de aire y combustible λ .

catalizador:

Constan de una carcasa de chapa rellena de material granulado o un cuerpo alveolar. La superficie de este material o cuerpo está cubierta con masa catalítica (metales nobles u óxido de metal). No se altera con la recombustión, sino que la favorece con su presencia. La utilización de los catalizadores para la recombustión está condicionada a la utilización de combustible libre de plomo.

