

INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

CONCEPTO E HISTORIA

Bosch hace más de 60 años ya había aplicado la inyección directa de gasolina en motores de avión. También el automóvil denominado **Gutbrod** estaba equipado en 1952 con un sistema similar, montado en un motor de 2 tiempos de 600 cc.

Hasta el legendario Mercedes 300 SL “**Alas de Gaviota**” del año 54 llevaba un sistema de inyección directa de gasolina Bosch.

El sistema no se preocupaba del consumo o las emisiones contaminantes sólo le interesaba un aumento de potencia.

En la actualidad estos sistemas se han desarrollado con el fin de adecuarse a las exigencias de contaminación y la mejora en el consumo.

Los motores de gasolina han reducido drásticamente su consumo y, directamente con ello, la cantidad de gases de escape emitidos. El sistema de inyección directa de gasolina permite reducir el consumo hasta en un **20%**, e incluso llegar al **40%** al ralentí.



Estrategias para la reducción de los consumos y las emisiones

Una refrigeración regulada electrónicamente, contribuye a reducir sobre un 3% el consumo (1).

El reglaje de distribución variable (2) y la recirculación de gases de escape (3) ya se emplean en numerosos motores, contribuyendo en una reducción del 5%.

La desactivación de cilindros (5) puede ayudar en un 8 %, pero únicamente tiene sentido en motores de cilindros múltiples, para poder mantener la regularidad cíclica de la marcha. En motores de cuatro cilindros es preciso implantar árboles equilibradores para conseguir una mayor suavidad de funcionamiento.

Para contar con una compresión variable (4) y con tiempos de distribución variables (7) se requieren componentes mecánico-electrónicos de muy altas prestaciones, y un buen control electrónico. Estos sistemas existen y son capaces de reducir hasta un 8% del consumo.



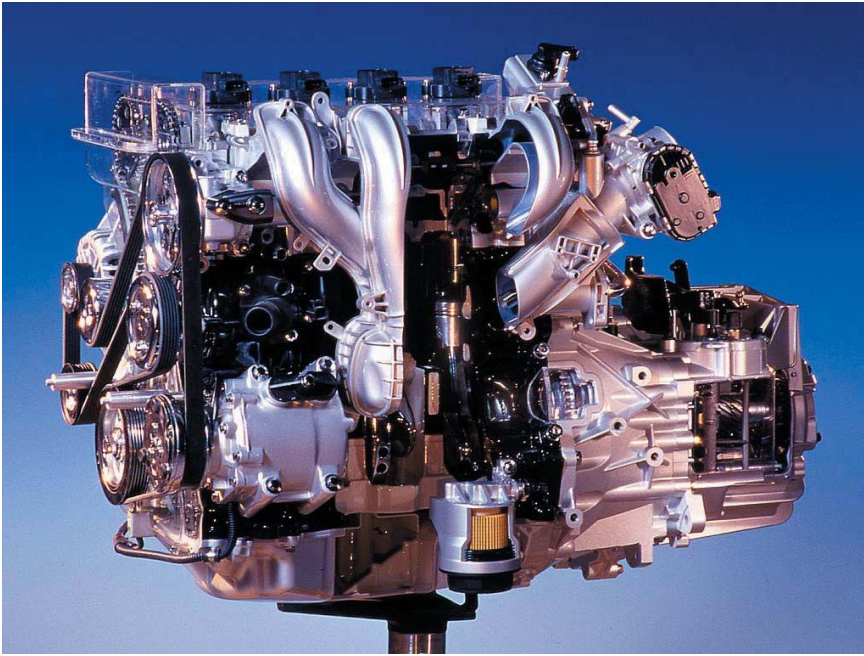
Los motores desarrollados en los últimos años con funcionamiento de mezcla homogénea empobrecida (6)

, reducen hasta un 10 %, pero han sido abandonados en favor de los motores con inyección directa de gasolina .

El control de la apertura de las válvulas en sus versiones mecánicas y electrónicas (8) son capaces de llegar a una reducción de hasta un 12%. Otras técnicas adicionales como la parada del motor, reducción de peso, coeficiente de penetración, aceites de última generación, contribuyen con su tasa de reducción.

La **inyección directa de gasolina** (9), es hoy por hoy, la medida específica que ofrece el mayor potencial de reducción del consumo, de hasta un 20%.





El objetivo más importante no es otro que reducir el consumo de combustible y con éste también las emisiones de escape.

Las emisiones de hidrocarburos, óxidos nítricos y monóxido de carbono se reducen hasta un 99% con la intervención de un catalizador de tres vías.

Por su parte, el dióxido de carbono CO_2 , que se produce con motivo de la combustión, y aunque no es venenoso es el causante del "efecto invernadero", sólo se puede reducir a base de disminuir el consumo de combustible.

Llegados a este punto tecnológico, se puede decir que estamos ante el límite en cuanto a posibilidades de reducir más las emisiones y el consumo en sistemas con formación externa de la mezcla, o inyección en el colector de admisión, llamada indirecta.

Este concepto se trabaja muy exhaustivamente hace tiempo en los motores diesel de inyección directa, de forma que en estos motores el combustible llega puntualizado en tiempo y lugar para una combustión exacta.

Por ese motivo, la mayoría de las marcas de automóviles están desarrollando tecnologías de inyección de gasolina en el interior del cilindro.

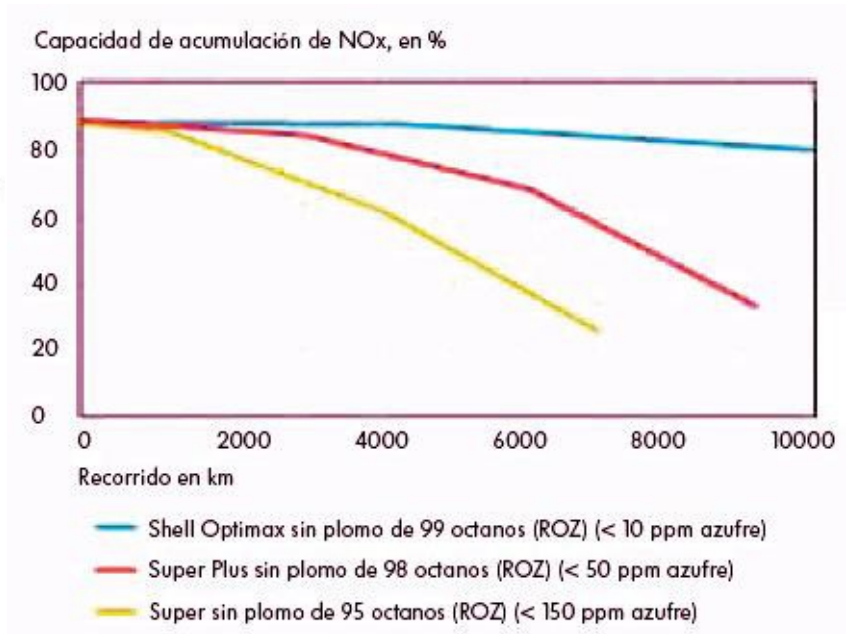
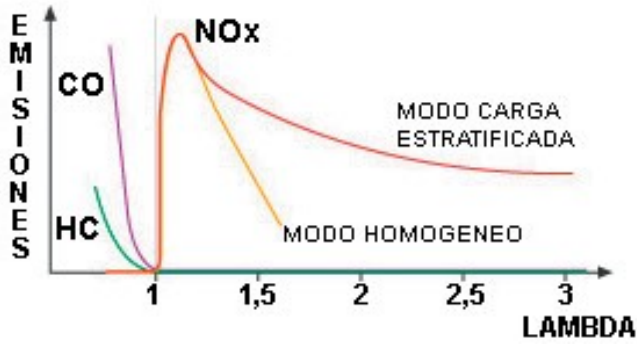
Ventajas e inconvenientes de esta tecnología

En cuanto a los **inconvenientes**, uno de los problemas principales que plantea la inyección directa de gasolina es el tratamiento de los gases de escape según las normativas europeas de emisiones de escape, las normas **EU4** son realmente drásticas en este sentido.

Los óxidos nítricos que se producen con motivo de la combustión en el modo estratificado y en el modo mezcla homogénea –pobre, que son los específicos de la inyección directa, son muchos y no pueden ser transformados suficientemente rápido en nitrógeno y oxígeno puro por medio de un catalizador convencional de tres vías.

Para solucionar este problema se han tenido que desarrollar catalizadores específicos que hagan este trabajo, de forma que hasta que no se ha conseguido no se ha podido implantar esta forma de inyección de un modo generalizado.

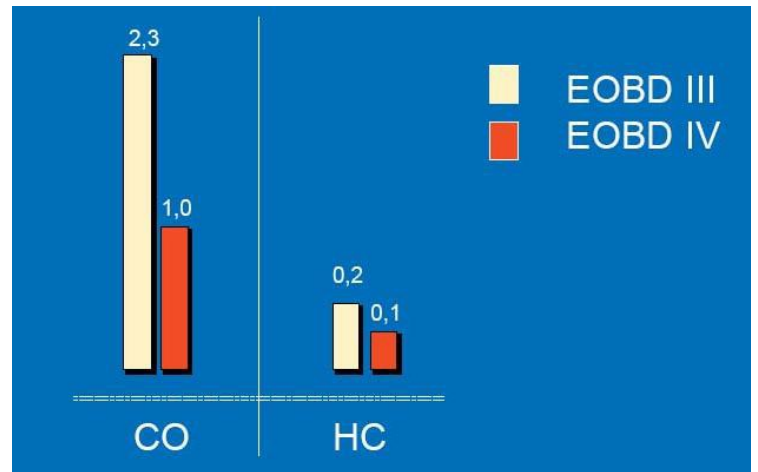
Otro inconveniente con el que se encuentra el motor de inyección directa, es el que plantea el azufre en la gasolina.



Debido a la similitud química que tiene con respecto a los óxidos nítricos, el azufre también se almacena en los catalizadores de NOx, saturándolos.

Esto se traduce en que cuanto mayor es el contenido de azufre en el combustible, tanto más frecuentemente se tiene que regenerar el catalizador, lo que produce un consumo de combustible adicional.

En la gráfica de la página anterior se aprecia la influencia que tiene el contenido de azufre sobre la capacidad de acumulación del catalizador de NOx.



C O		H C		N O x		H C + N O x		Partículas	
Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel	Diesel	
Euro3	2.30	0.64	0.20	-	0.15	0.50	-	0.56	0.050
Euro4	1.00	0.50	0.10	-	0.08	0.25	-	0.30	0.025



Las ventajas son:

1. se desarrollan motores que mantienen lo más bajo posibles los consumos de combustible y las emisiones de gases de escape
2. reducción en impuestos para vehículos con bajas emisiones de escape.
3. se trabaja con un valor λ comprendido entre 1,6 y 3. Esto permite abrir más la mariposa y aspirar el aire superando una menor resistencia.
4. Tenemos menores pérdidas de calor cedido a las paredes ya que en el modo estratificado la combustión únicamente tiene lugar en la zona próxima de la bujía, aumentando el rendimiento térmico



INYECCIÓN INDIRECTA

En el modo homogéneo-pobre y pobre se trabaja con un valor λ de 1,55 aproximadamente. En el corte en retención y en el momento de la reanudación, se puede hacer desde un régimen muy bajo debido a que el combustible no se deposita en las paredes de la cámara de combustión. El motor funciona de un modo muy estable, incluso al trabajar con regímenes de reanudación más bajos.

Con la inyección directa del combustible en el cilindro, el calor del aire de admisión queda notablemente reducido. Al producirse este efecto de refrigeración, la tendencia al picado se reduce, lo que permite aumentar a su vez la compresión.

Esta ganancia en mayor relación de compresión conduce a una presión final superior en la fase de compresión, con lo cual también aumenta el rendimiento térmico del motor.

Existe la posibilidad de trabajar con elevados índices de gases de escape recirculados ya que debido al movimiento intenso de la carga en el modo homogéneo, el motor posee una alta compatibilidad con la recirculación de gases de escape, equivalente hasta un 25%.



INYECCIÓN DIRECTA

Para aspirar la misma cantidad de aire fresco que cuando trabaja con bajos índices de recirculación de gases se abre la mariposa algo más. De esa forma se aspira el aire superando una baja resistencia y disminuyen las pérdidas debidas a efectos de estrangulamiento.

Funcionamiento sistemas inyección indirecta

En un sistema de inyección indirecta, el funcionamiento del motor se produce en un ciclo de funcionamiento en 4 fases de trabajo, esto supone una variación de presión en la cámara que determinará el rendimiento del motor.

Los puntos críticos de funcionamiento son la fase de compresión y de expansión, que debe de ser sin intercambio de calor, de forma que toda la energía que se genera, se dedique para generar el rendimiento del motor.

El diagrama de funcionamiento teórico, se basa en un principio de funcionamiento que en la realidad no se encuentra, debido a que el aumento de la presión en el momento de la combustión no es instantánea, el retardo de producir este aumento produce un desplazamiento del pistón, eso supone una disminución de la punta de presión.

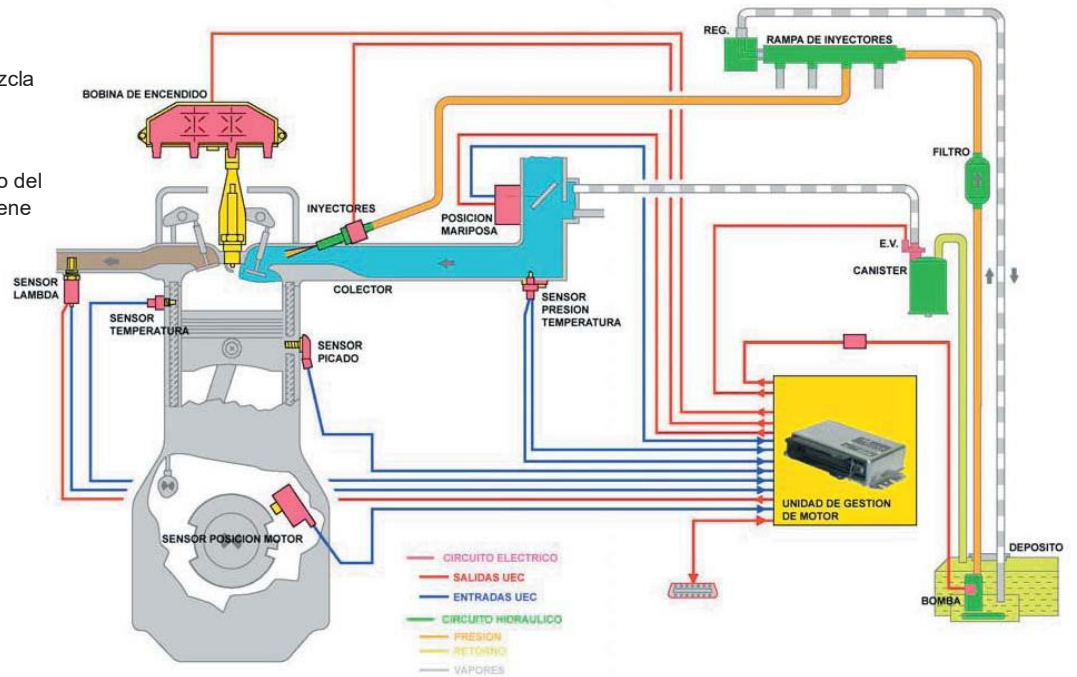
La inyección se produce en la cabeza de la válvula en el momento de la fase que la

corresponde por lo que se comprime es mezcla homogénea siempre.

El avance del momento del salto de chispa, vendrá a afectar directamente al rendimiento del motor, sobre todo teniendo en cuenta que tiene que ser variable para cada

condición de marcha.

El retraso y avance real de las válvulas, ocasionan y produce aceleración a los gases suficiente como para mejorar el llenado de la cámara de combustión a alto régimen.



Funcionamiento sistemas inyección directa de gasoil

Como ya hemos dicho anteriormente y debido a las normativas de emisiones tan severas, está demostrado que en el ámbito de los motores diesel, solo va a ser posible alcanzarlas con sistemas de Inyector-bomba y con el Rail común evolucionado.

En sistemas de conducto común, aparece una nueva generación de este sistema, el Multijet. Trabaja sobre la idea de fragmentar la inyección en varias etapas.

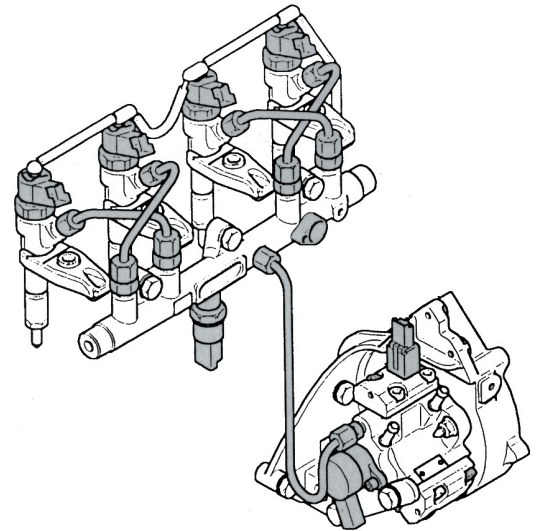
En este caso, y dependiendo de las condiciones en las que el vehículo esté circulando, el número de inyecciones por ciclo de trabajo puede ascender a cinco.

Se consigue una combustión aún más suave, un motor menos ruidoso (especialmente en frío, uno de los mayores inconvenientes de los diesel de inyección directa) y unas emisiones contaminantes muy inferiores a las actuales, lo que permite a este motor cumplir con la normativa EU4 sin más ayuda que la de catalizador de oxidación, con una reducción de las emisiones contaminantes en torno al 35%.

El objetivo que persiguen todos sistemas de inyección, es controlar mejor la cantidad de combustible que se inyecta y el momento en que se produce la inyección.

Se realiza una pequeña inyección de gasóleo momentos antes de la inyección principal, lo que mejora las condiciones de la combustión.

Tanto el consumo como la sonoridad y suavidad de marcha resultan beneficiadas por ello. En inyector bomba se trabaja sobre todo en la presión generada y el impecable control electrónico sobre las válvulas de control.



Las presiones máximas en estos sistemas son muy altas (más de 2.000), lo que contribuye en gran medida a que se queme mejor el gasoil.

Resumiendo, al evitar que todo el combustible sea quemado en un corto espacio de tiempo y ser enviado en varias etapas, se consigue que la presión en el interior de la cámara de combustión resulte más estable, lo que reduce ruido y vibraciones, además de las emisiones y el consumo.

Estos dos conceptos, el Multijet y el Inyector – Bomba, son las estrategias que se utilizan hoy en día en la rama del diesel y vemos por tanto, que tanto con un combustible como en otro se cumple la necesidad común de inyectar directamente el combustible en el interior de la cámara siguiendo distintas estrategias.

FUNCIONAMIENTO GENERAL DE UN SISTEMA DE INYECCION 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.

En los motores de inyección directa se pueden dar tres formas diferentes de funcionamiento,

- **Carga homogénea**
- **Carga homogéneo - pobre**
- **Carga estratificada**

La elección de una u otra forma por parte de la gestión depende del régimen, temperatura o carga, aunque podemos encontrar motores que solo utilicen una de estas formas o dos, combinándolas según convenga.

Un motor de inyección indirecta de automóvil funciona con una mezcla de aire – gasolina cuya proporción es aproximadamente de 14.7:1 en volumen, lo que se denomina mezcla estequiométrica o coeficiente lambda 1 y es aquella cuya combustión produce exclusivamente CO₂ y agua.

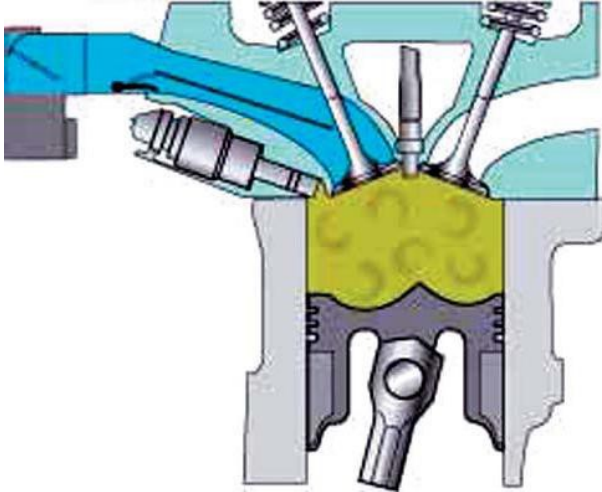
Este tipo de mezcla puede ser modificada en cierta medida en cuanto a riqueza, es decir en coeficiente lambda, sobre todo convirtiéndola en más pobre lo que proporciona ventajas obvias en reducción de emisiones y consumo.

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 mas abierta que en condiciones normales para dejar entrar más aire, y cuanto más abierta esté la mariposa, mejor rendimiento tiene el motor.

Sin embargo los motores normales necesitan funcionar con una mezcla próxima a la estequiométrica 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

Pero se trabaje a mas o menos riqueza, lo que caracteriza a estos motores es que siempre lo hacen en proporción Homogénea, es decir con una mezcla proporcional aire – combustible en toda la cámara de combustión.

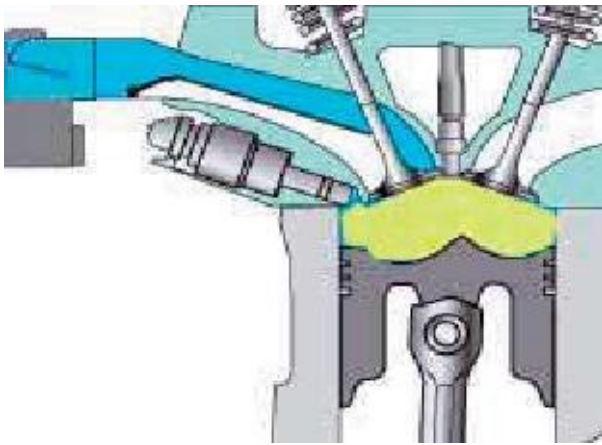
INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA



CARGA HOMOGENEA

Mezcla Homogénea

Los motores que adquieren este funcionamiento lo hacen a cargas y regímenes superiores, y la relación de aire y combustible en este modo operativo es de **Lambda = 1**.



CARGA HOMOGENEA - POBRE

Mezcla Homogéneo - Pobre

Sin embargo, cuando el motor el motor trabaja en el modo **Homogéneo-pobre**, es decir, durante la transición entre el modo estratificado y el homogéneo, la mezcla pobre se encuentra distribuida de un modo homogéneo (uniforme) en la cámara de combustión. La relación de aire y combustible es de **Lambda = 1,55** aproximadamente.

En los modos homogéneo y homogéneo - pobre el combustible se inyecta en el cilindro durante el ciclo de admisión y se mezcla allí uniformemente con el aire aspirado.

CARGA ESTRATIFICADA

Mezcla Estratificada

A partir de los regímenes medios de carga y revoluciones, el motor funciona en el modo **Estratificado**.

La estratificación de la mezcla en la cámara, se define como un estado en el cual existen dos formas de funcionamiento dentro de la misma cámara de compresión, una en el centro de la cámara de combustión, donde se encuentra una mezcla con buenas condiciones inflamables cerca de la bujía, y otra cerca de las paredes en una capa exterior y rodeando a la primera mezcla.

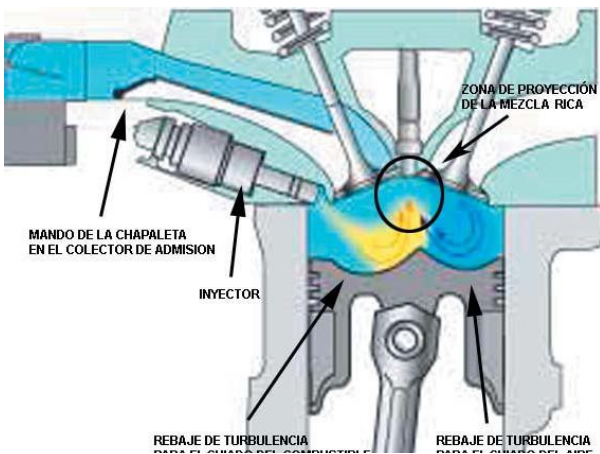
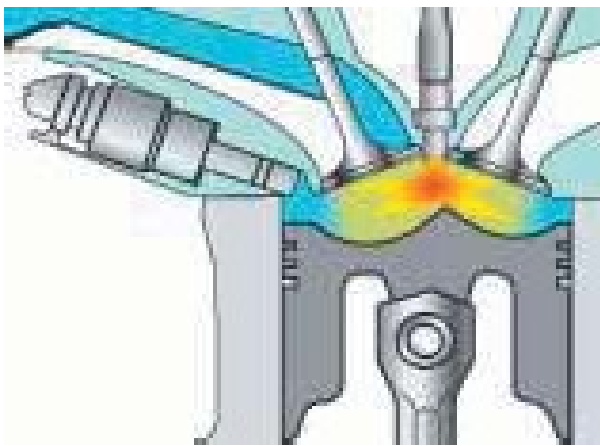
Esta segunda mezcla es mas bien pobre, está compuesta por aire fresco y gases de escape recirculados de forma que el motor funciona con un valor lambda total de aprox. 1,6 hasta 3.

En el modo estratificado la mezcla de combustible y aire se dirige a la zona de la bujía por medio del método de combustión por movimiento cilíndrico de la carga de gases guiado por pared y aire llamado **Tumble**. El inyector se monta de forma que el combustible es proyectado sobre el rebaje específico en la cabeza del pistón y guiado por la propia pared, consiguiéndose así que sea conducido en dirección hacia la bujía.

Con el mando de la chapaleta en el colector de admisión, el rebaje de turbulencia produce en el cilindro un movimiento cilíndrico del aire, el **tumble**.

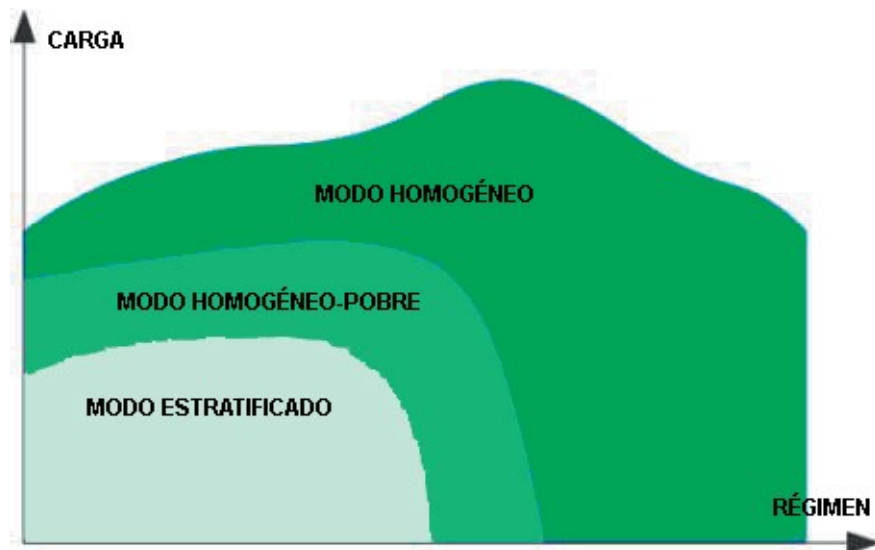
Con este flujo de aire conducido a su vez por aire se respalda el transporte de combustible hacia la bujía.

La formación de la mezcla se realiza en el camino hacia la misma bujía.



ROJO: ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL CHORRO 20°

Resumiendo, podemos ver en el gráfico siguiente cual es la estrategia típica de funcionamiento de un motor de inyección directa en sus tres modos operativos, en relación a la carga motor y al régimen.

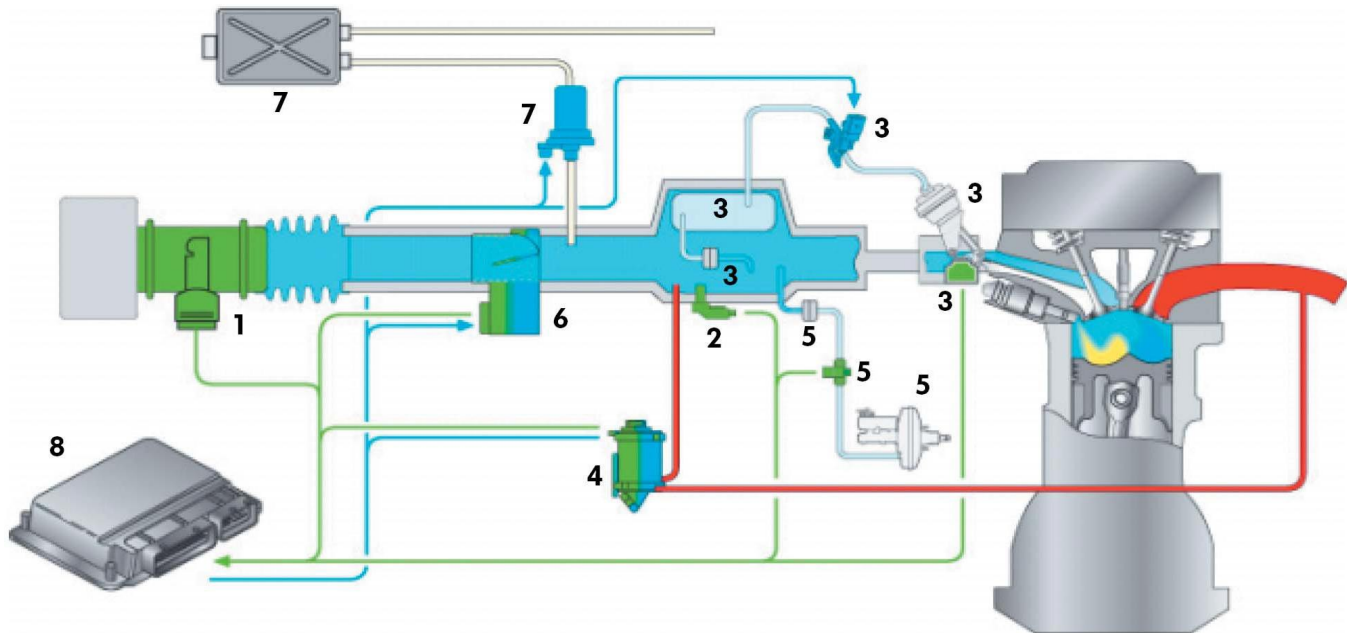


La unidad de control del motor elige el modo operativo en función de estas condiciones además de las de emisiones de gases de escape y seguridad de funcionamiento.

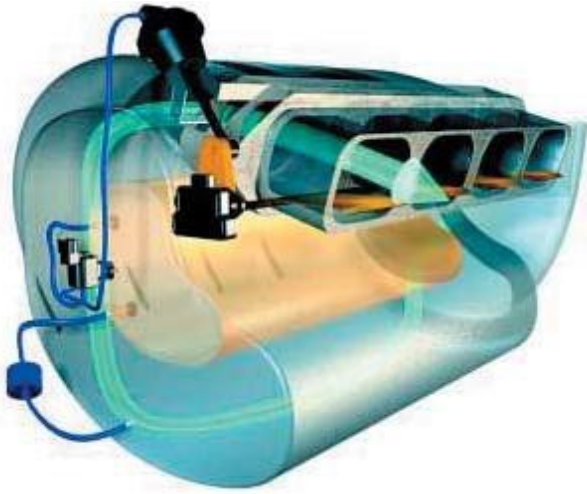
El procedimiento de la combustión puede ser variable en esta y otras formas apoyado por la recirculación de los gases de escape y otros parámetros, como el mando de la mariposa de admisión o la variación de la entrada del aire en colectores.

Sistema de admisión

- 1 Medidor de la masa de aire por película caliente y sensor de temperatura del aire aspirado.
- 2 Sensor de presión en el colector de admisión.
- 3 Circuito de mando para las chapaletas en el colector de admisión.
- 4 Electroválvula de recirculación de gases de escape.
- 5 Sensor de presión para servofreno.
- 6 Unidad de mando de la mariposa.
- 7 Depósito de carbón activo.
- 8 Unidad de control para Motronic.



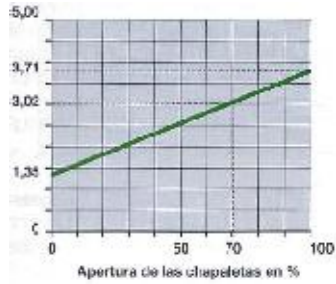
Chapaleta de admisión



Mando eléctrico

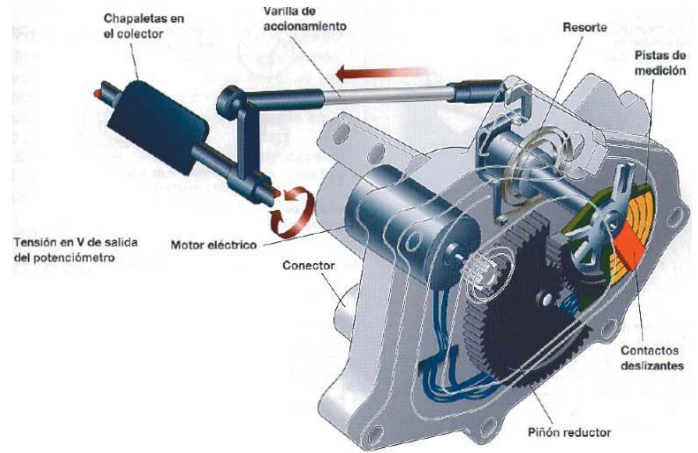
Consta de un motor eléctrico gestionado por la unidad que se encarga de posicionar a la chapaleta. La unidad reconoce la posición de ésta, a través de la información de un potenciómetro

SALIDA DE
POTENCIOMETRO



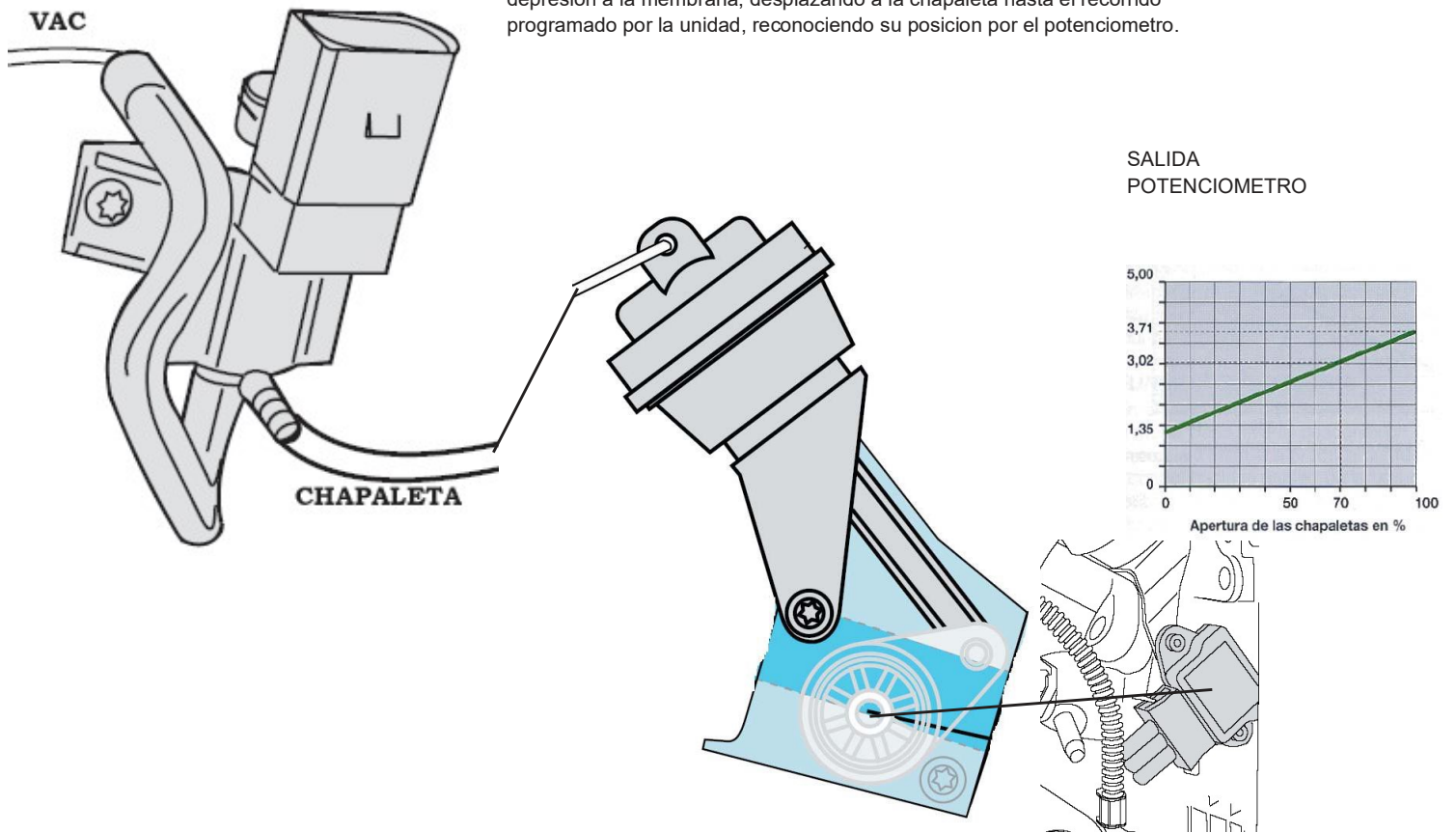
Mando neumático

Consta de una electroválvula que gestiona a una membrana neumática que se encarga de posicionar a las chapaletas. Para reconocer la posición de la misma, el eje de ésta dispone de un potenciómetro



MANDO NEUMATICO

Consta de una electroválvula, que la unidad gestiona con un ciclo de trabajo variable. En función de la señal de mando aplica mas o menos depresión a la membrana, desplazando a la chapaleta hasta el recorrido programado por la unidad, reconociendo su posición por el potenciómetro.



MANDO ELECTRICO

Potenciómetros de mariposa



Potenciómetro para las chapaletas en el colector de admisión



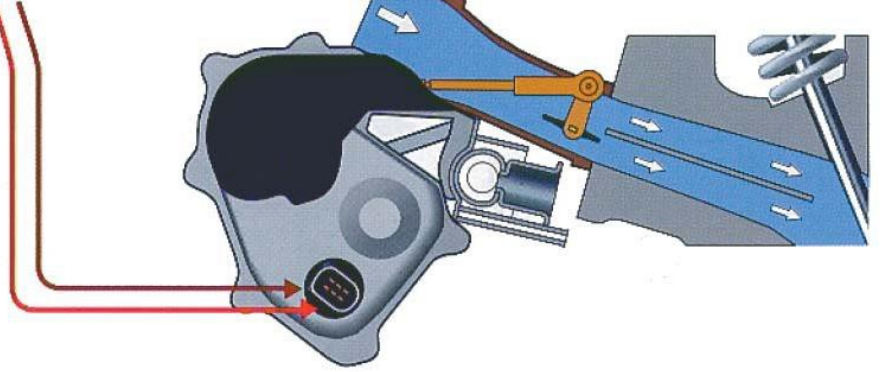
Transmisor de temperatura del líquido refrigerante



Transmisor de régimen del motor



Unidad de control del motor



Servomotor para las chapaletas del colector de admisión

SISTEMA DE CANISTER

Depósito de carbón activo

Es el lugar donde irán atrapándose los vapores de combustible generados en el depósito de combustible. Éstos se tienen que ir deslojando del depósito para evitar que este se sature. Para ello el sistema tiene una electroválvula, que controlada por la unidad, comunica los vapores con el colector de admisión, siendo aspirados en esta situación por el motor.

Dependiendo de las fases de trabajo del motor, para modo homogéneo o estratificada, el sistema modifica su estrategia.

Modos homogéneo-pobre y homogéneo

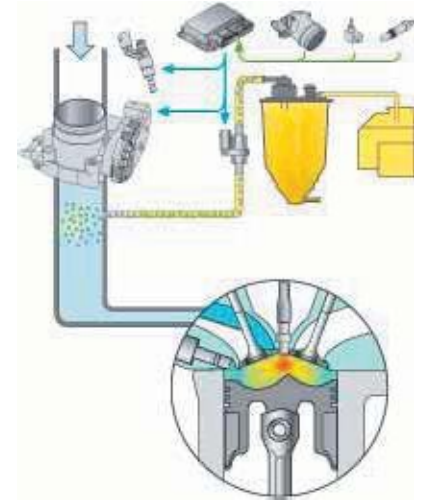
La mezcla capaz de ignición se encuentra distribuida de un modo uniforme en la cámara. La combustión tiene lugar en toda la extensión de la cámara, y el combustible procedente del depósito de carbón activo se quema en esa ocasión.

En el modo estratificado

La mezcla capaz de ignición se encuentra concentrada solamente en la zona de la bujía. Una parte del combustible procedente del depósito de carbón activo se encuentra sin embargo en la zona exterior, no directamente inflamable. Esto puede provocar una combustión incompleta y aumentar las emisiones de HC en los gases de escape. Esto implica que el control de la electroválvula canister, sea inferior para evitar una respuesta negativa del sistema.

Para determinar el nivel de activación de la electroválvula, la unidad de control del motor necesita la siguiente información:

- La carga del motor, procedente del medidor de la masa de aire por película caliente.
- El régimen del motor, procedente del sensor de régimen del motor.
- La temperatura del aire aspirado, procedente del sensor de temperatura del aire aspirado.
- El estado de saturación del depósito de carbón activo, procedente de la sonda lambda.



UNIDAD DE BOMBA DE COMBUSTIBLE

Con el objetivo de disminuir el consumo de combustible, debiéndose de las versiones, tienen incorporado una unidad en la bomba de combustible, ésta tiene la misión de controlar la intensidad de paso en función de las necesidades de marcha del motor.

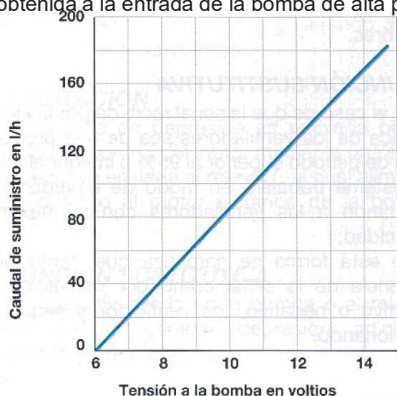
Cuando el motor se le solicita poca carga, la unidad de motor informa a la unidad de bomba de la situación, haciendo que ésta disminuya la intensidad consumida, en esta condición la presión del combustible disminuye y el caudal también.

Cuando se le solicita carga al motor, la unidad de bomba recibe la nueva situación, su respuesta es aumentar la intensidad de la bomba y por tanto la presión y caudal.

La variación de presión que puede adquirir en condiciones de marcha varían de 1,5 a 5 bar, (y los caudales de 0,6 a 55 l/h, respectivamente)

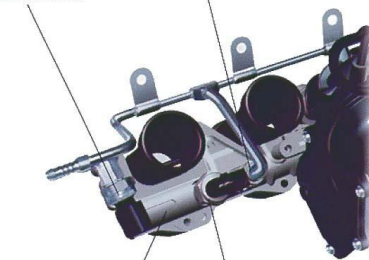
En caso de excesiva carga eléctrica, la unidad de RED, informa a la unidad de bomba de esta situación, haciendo disminuir la intensidad que consume la bomba, limitando las condiciones de funcionamiento del motor.

Para el control, el sistema consta de un sensor de presión del circuito de baja, así la unidad de bomba manda a ésta en función de la presión obtenida a la entrada de la bomba de alta presión.



Transmisor de baja presión de combustible

Válvula de descarga



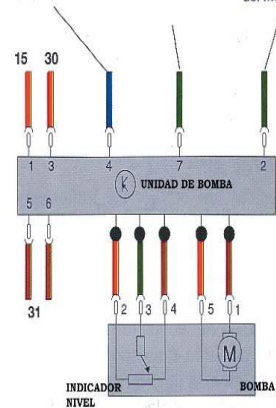
Tubo distribuidor de combustible

Transmisor de alta presión de combustible

Unidad de control para la bomba de combustible



al cuadro de instrumentos de la unidad de la red de a bordo de la unidad del motor

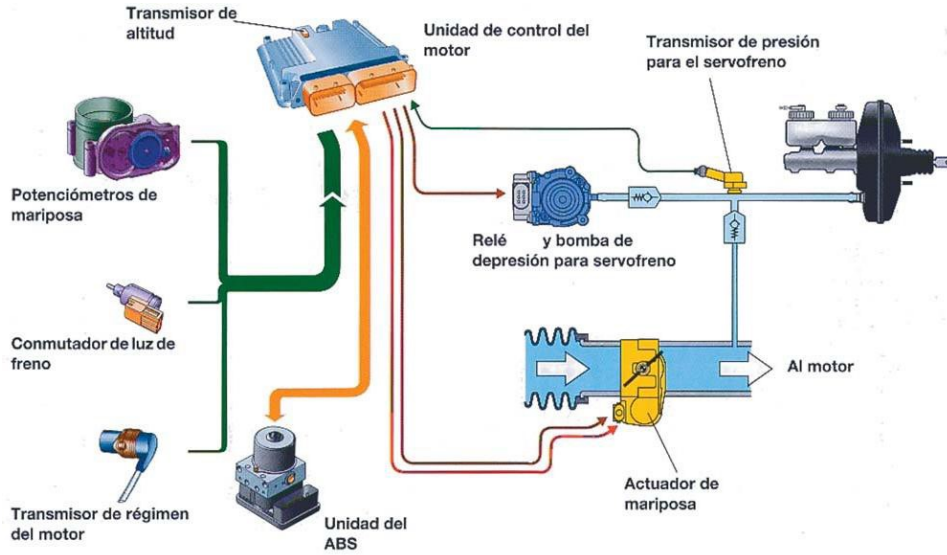
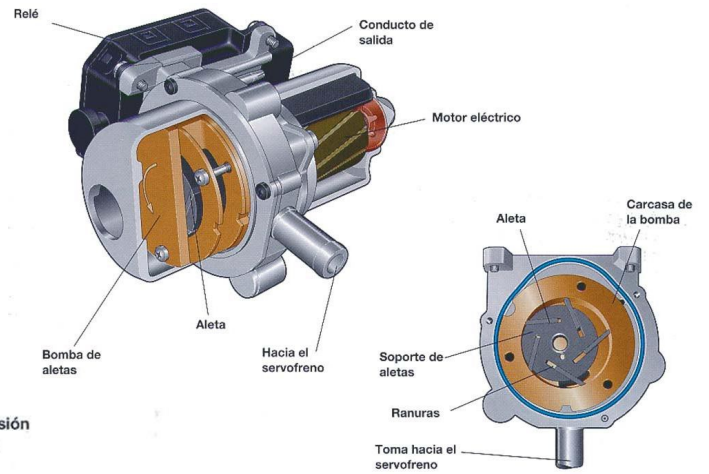


BOMBA ELECTRICA DE SERVOFRENO

Este equipamiento solo es para vehículos con cambio automático.

Consta de una bomba de aletas mandada por un motor eléctrico de corriente continua, así como un relé conmutador.

La función de este conjunto es generar una depresión adicional, para ello es controlada por la UEC motor.



La bomba aporta una depresión que se sumará a la depresión proporcionada por el motor, para ello dispone de dos válvulas antiretorno.

SENSOR PRESIÓN SERVOFRENO

El rendimiento específico del servofreno se debe a la presión (depresión), que recibe. Debido a que esta puede

estar proporcionada por el colector de admisión, puede verse afectada dependiendo de las fases de trabajo del motor, es decir del porcentaje de apertura de la mariposa de admisión.

En los modos operativos de carga estratificada y carga

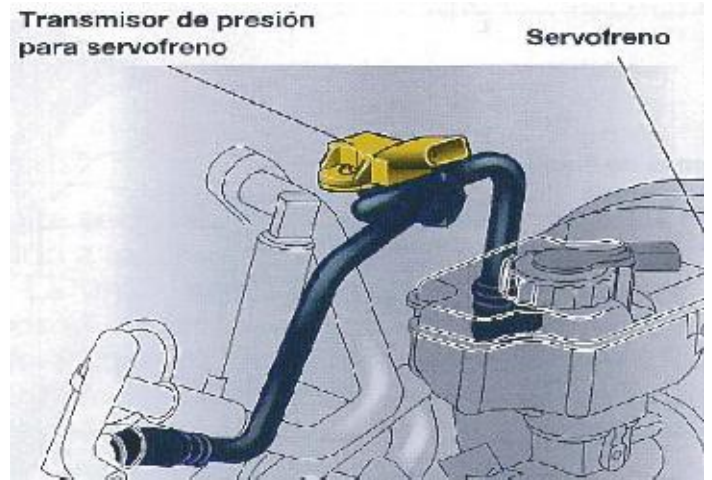
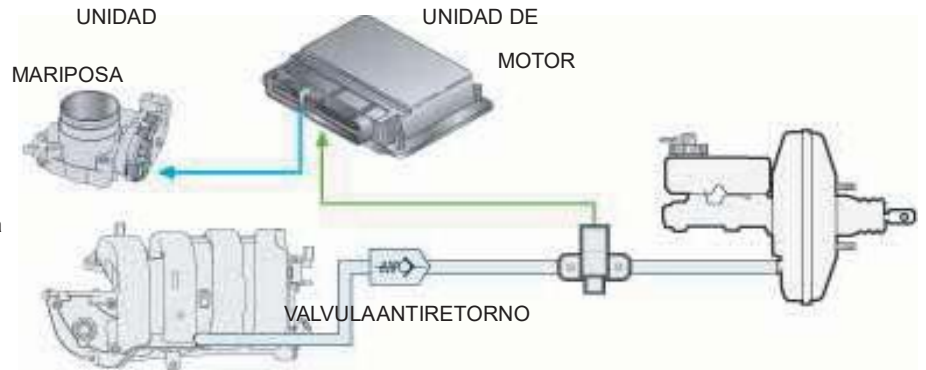
homogénea-pobre, la válvula de mariposa se encuentra más abierta y en el colector de admisión disminuye la

depresión. Si en esta situación demandamos una determinada asistencia en la frenada, ésta puede ser insuficiente e impedir que vehículo se detenga en esa frenada. Para evitar este fenómeno se procede a cerrar un poco más la mariposa, para que aumente la depresión generada. Si aún así, la depresión es insuficiente, la fase de trabajo puede pasar a homogéneo y cerrarse más la mariposa.

Para que la unidad determine cual es el valor de la depresión del servofreno, dispone de un sensor específico en el conducto del mismo, el

cual aplica una tensión variable en función de la depresión.

Si el sistema está equipado con cambio automático, la unidad controla el funcionamiento de la bomba eléctrica en función de este captador



En las últimas gestiones de FSI del grupo VAG, incorporan una serie de componentes específicos como son los que se detallan a continuación:

POSICION PEDAL DE ACELERADOR

Se compone de una bobina inductora y tres bobinas inducidas. A la bobina inductora se le aplica una señal alterna que produce una inducción sobre las bobinas inducidas.

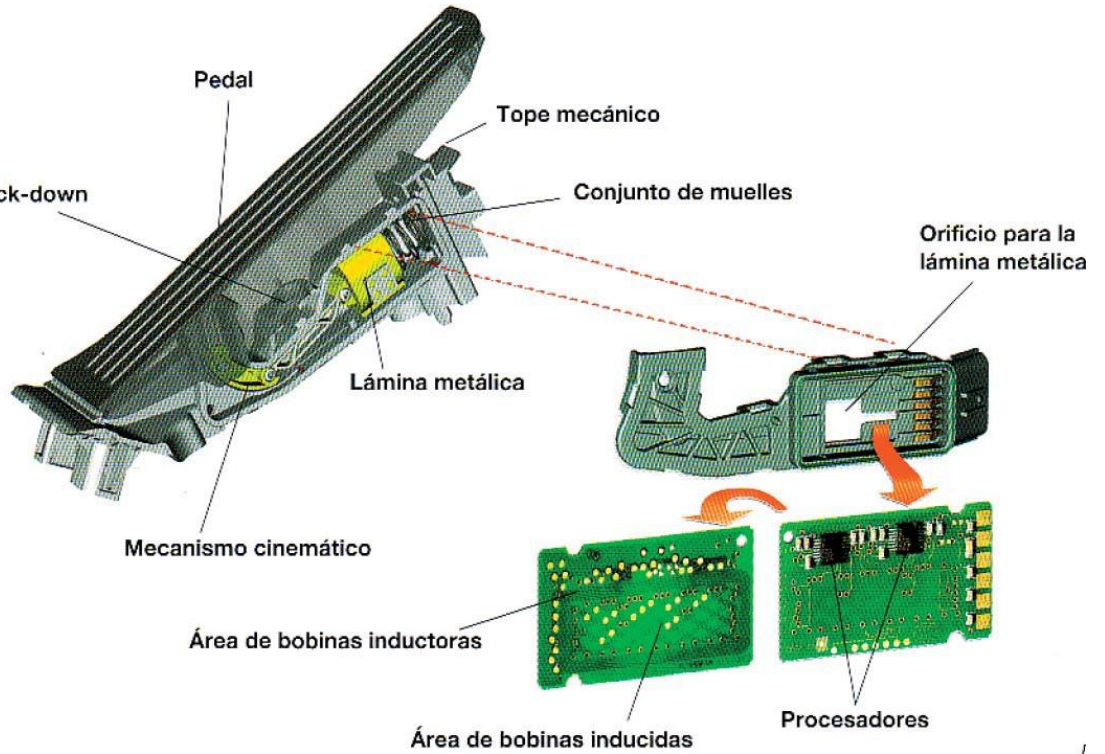
Las bobinas están formadas por un circuito impreso en la propia placa inductora en forma de rectángulo y las inducidas,

mantiene una forma romboidal y desfasadas entre ellas.

El pedal de acelerador acciona a una lámina metálica que se

encuentra en su interior siendo la encargada de producir la inducción variable entre las bobinas.

El desfase entre las bobinas hace que se produzca una amplitud diferente entre ellas, obteniéndose por tanto un conjunto de tres amplitudes diferentes, que serán aplicadas a un circuito electrónico que se encarga de ofrecer una tensión variable proporcional a la posición del pedal de acelerador.





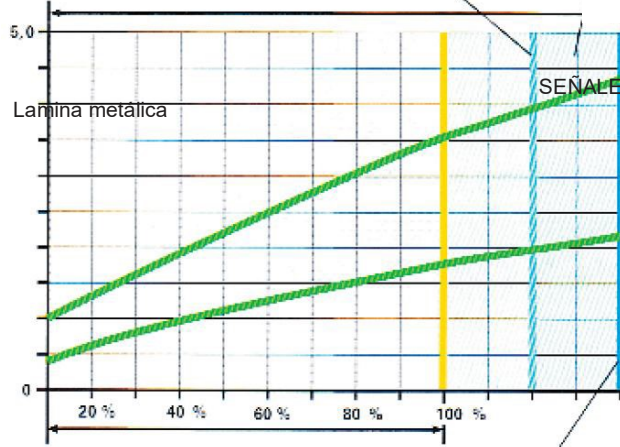
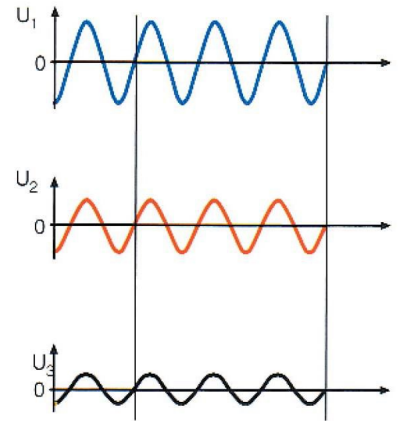
REPRESENTACION EN TRES POSICIONES DIFERENTES



3 bobinas inducidas romboidales



Bobina inductora rectangular



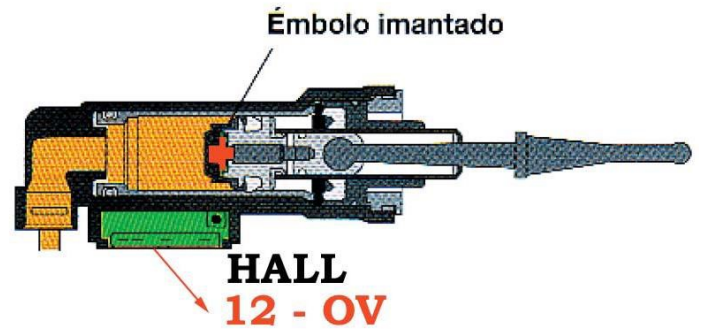
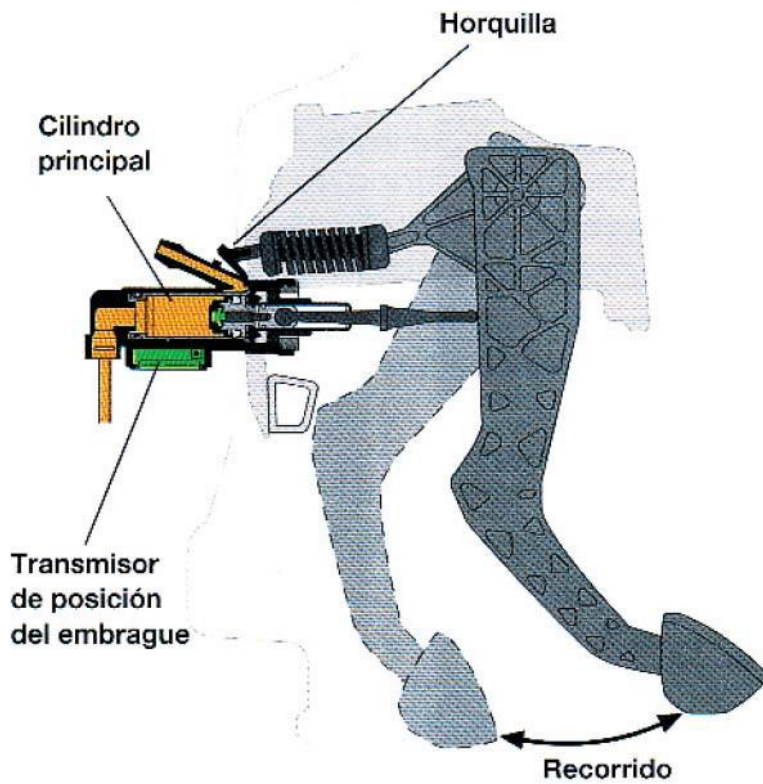
SEÑALES DE SALIDA EN UNA POSICION

Lamina metalica

Señal de salida del procesador, obteniendo una tension variable en dos terminales, siendo las tensiones una doble de la otra.

POSICION PEDAL DE EMBRAGUE

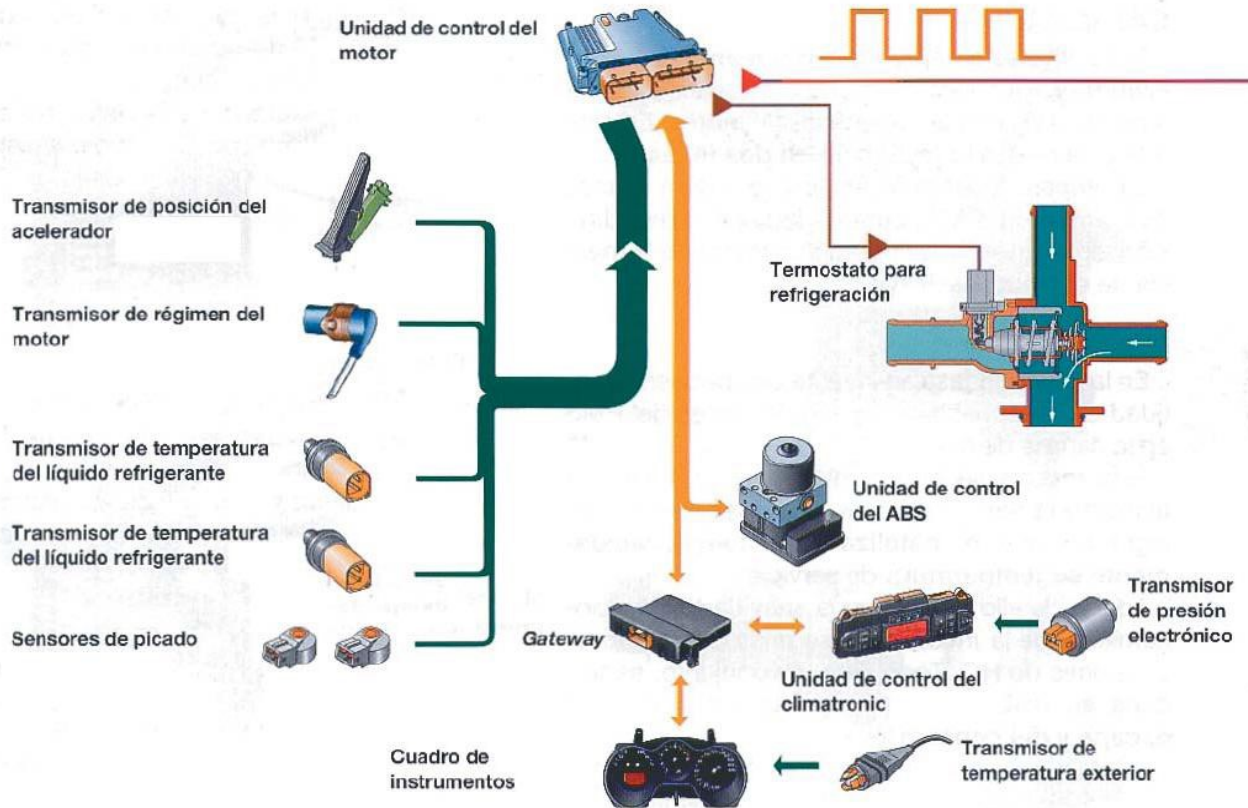
El captador se compone de un sensor HALL situado alrededor del bombín de embrague. Este sensor reconoce el desplazamiento del émbolo del bombín de embrague gracias a un imán que tiene integrado el mismo.



Cuando accionamos el pedal de embrague, el desplazamiento del émbolo junto al imán produce una aproximación de líneas magnéticas sobre el sensor HALL, ofreciendo una tensión variable a la posición. En este caso, solo reconoce las dos posiciones de pedal suelto (12 voltios) y pedal presionado (0 voltios)..

CONTROL DE LA REFRIGERACION

La unidad de control de motor, controla tanto el mando de los electroventiladores como el mando del termostato.



MANDO DEL TERMOSTATO

La unidad controla al termostato con una señal variable en ciclo de trabajo para controlar la temperatura del motor, de forma que la mantenga acorde a los diferentes rangos de trabajo del motor.

Para aprovechar el rendimiento del motor:

Con el motor funcionando en carga parcial, la temperatura la mantiene ligeramente alta.

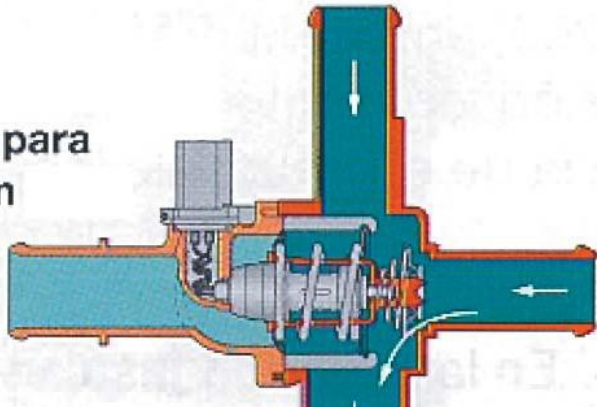
Con el motor funcionando a plena carga la temperatura la mantiene mas baja.

LA unidad corrige la señal de mando en función de: Velocidad solicitada al ventilador de climatización. Temperatura del aceite.

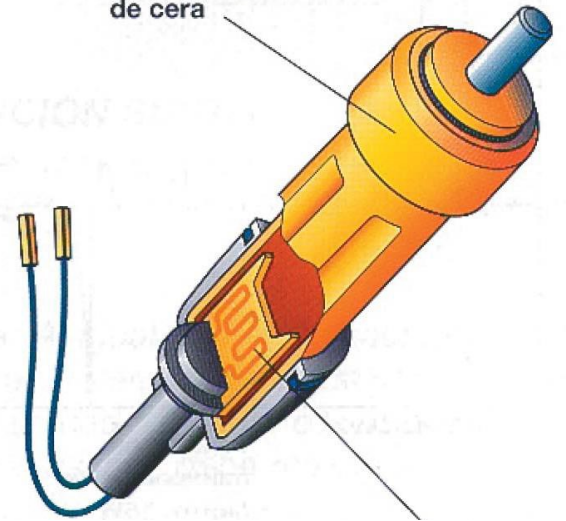
Velocidad del vehículo

Picado.

Termostato para refrigeración



Termostato de cera



MANDO DE VENTILADORES

La unidad de motor controla el mando de los ventiladores a través de una unidad integrada en uno de los ventiladores. A la unidad de ventiladores se le aplica una señal variable en ciclo de trabajo, de esta forma se consigue una variación de flujo de aire de refrigeración.

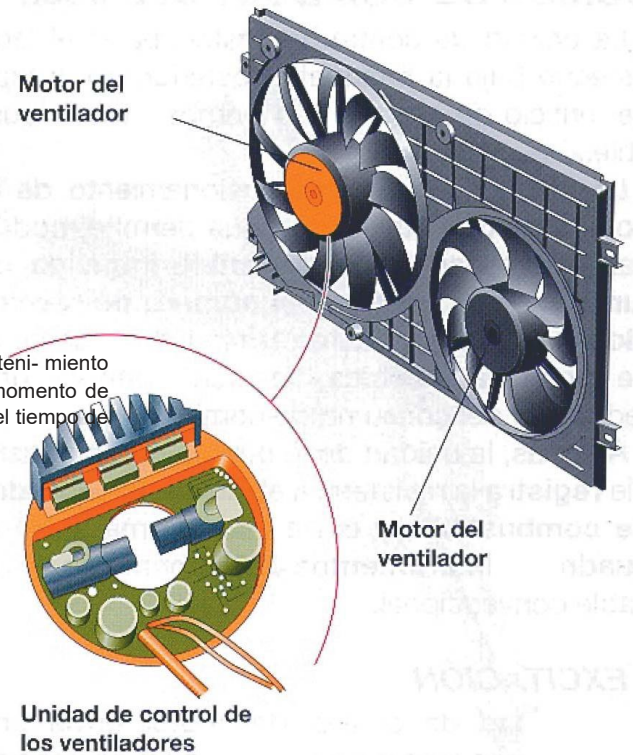
Para un correcto mando de la velocidad de los ventiladores, la unidad de motor recibe la información de la temperatura del motor y la de salida del radiador, haciendo un cálculo de temperatura objetiva, en base a la diferencia de los dos sensores de temperatura.

El mando de los ventiladores puede verse corregido en función de:

- Velocidad del vehículo
- Temperatura del aire
- Combustible inyectado
- Presión del refrigerante

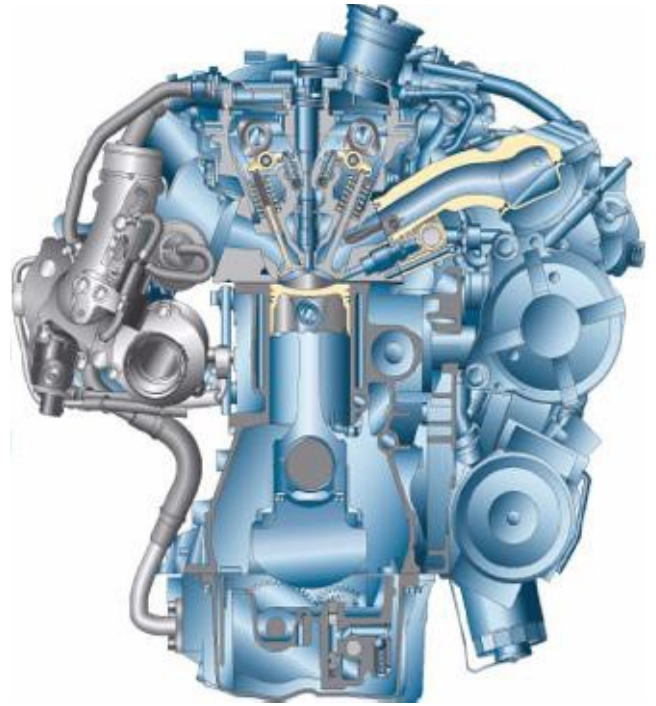
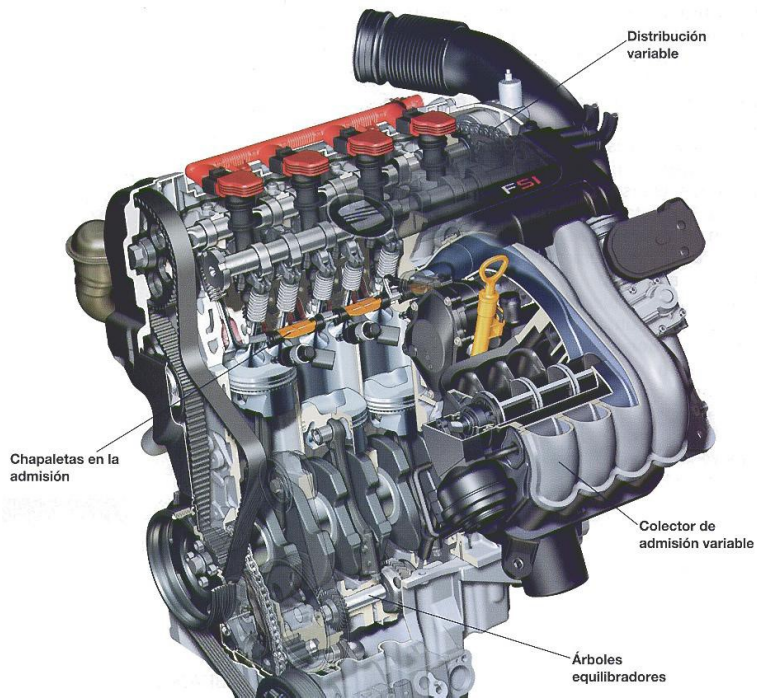
Una fase de post-funcionamiento se activa una vez parado el motor, que permite el mantenimiento en marcha del ventilador cuando la temperatura del motor es superior a 102 °C en el momento de parar el vehículo. Dependiendo del tipo de conducción realizado, mas o menos deportiva, el tiempo de post-funcionamiento puede alargarse hasta unos 8 minutos.

SENSOR DE TEMPARATURA SALIDA RADIADOR



SISTEMA BOSCH MED 7.1-FSI VAG

FUNCIONAMIENTO



El grupo VOLKSWAGEN apuesta por el sistema de inyección directa de gasolina, con el objetivo principal de protección del medio ambiente, reducción de consumos de gasolina y suavidad de marcha.

La denominación comercial del sistema **FSI**, es debida a **FUEL STRATIONFIED INJECTION**

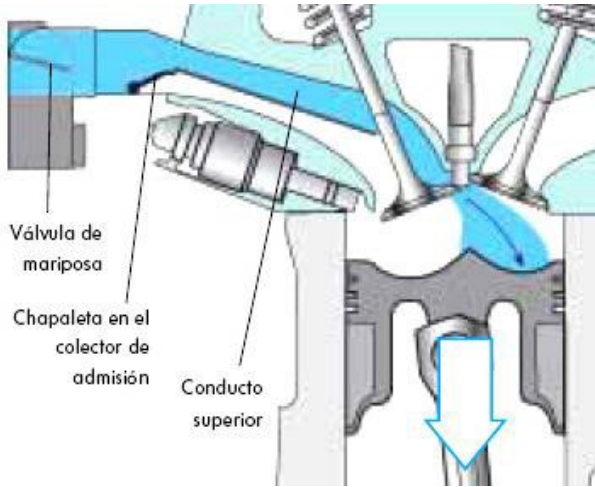
FSI de VAG - ESTRATEGIA PARA FORMAR LA MEZCLA.

Condiciones para el Modo Estratificado

Para poder trabajar en **Modo Estratificado** de la carga, es preciso que la inyección, la geometría de la cámara de combustión y los flujos interiores en el cilindro estén adaptados de forma óptima y que cumplan adicionalmente con determinadas premisas iniciales, las cuales son:

- El motor debe encontrarse en el régimen de carga y revoluciones que corresponde, según las premisas diseñadas
- El sistema debe estar en perfecto estado de funcionamiento y no debe existir ningún fallo relevante, es decir que no afecte a las emisiones
- La temperatura del motor debe ser superior a 50 °C
- El sensor de NOx debe registrar condiciones idóneas para el funcionamiento
- La temperatura del catalizador - acumulador de NOx debe estar entre los 250 °C y 500 °C
- La chapaleta en el colector de admisión debe estar cerrada

Solo si se cumplen todas ellas, resulta posible poner en funcionamiento el modo estratificado.

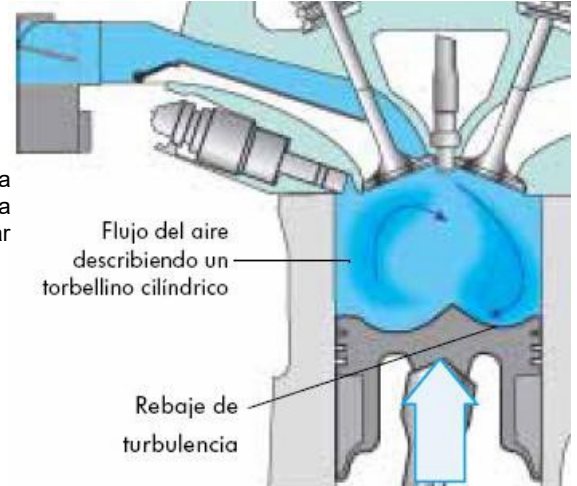


Admisión

En el modo operativo de carga estratificada la chapaleta en el colector de admisión cierra por completo el conducto de admisión inferior, con objeto de que la masa de aire aspirada experimente una aceleración a través del conducto de admisión superior y tenga que entrar en el cilindro con una turbulencia cilíndrica llamada **Tumble**.

Debido a la cavidad aerodinámica en la cabeza del pistón se intensifica el efecto **Tumble**.

Al mismo tiempo se abre ampliamente la válvula de mariposa para mantener lo más reducidas posible las pérdidas de estrangulamiento.



Flujo del aire

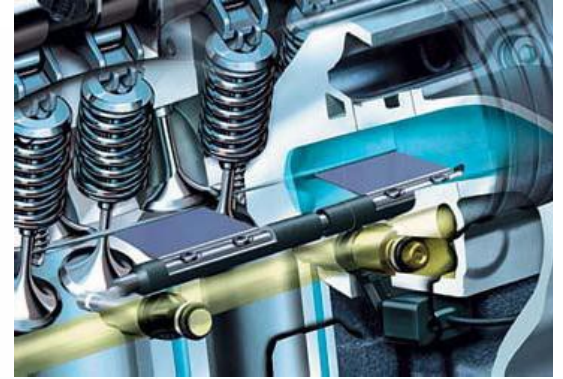
El flujo del aire describiendo un torbellino cilíndrico experimenta una intensificación en virtud de la geometría específica que tiene la cabeza del pistón.

No es posible abrir al máximo la válvula de mariposa, porque debe existir siempre una cierta depresión en consideración del sistema de carbón activo y de la recirculación de gases de escape.



Colector de admisión

El colector bi-escalonado de admisión variable propicia las características deseadas en lo que respecta a la entrega de potencia y par. El mando neumático del cilindro distribuidor giratorio de la posición para la entrega de par a la posición destinada a la entrega de potencia se realiza controlado por familia de características. La carga, el régimen y la temperatura son los parámetros relevantes a este respecto. El depósito de vacío va integrado en el módulo del colector de admisión.



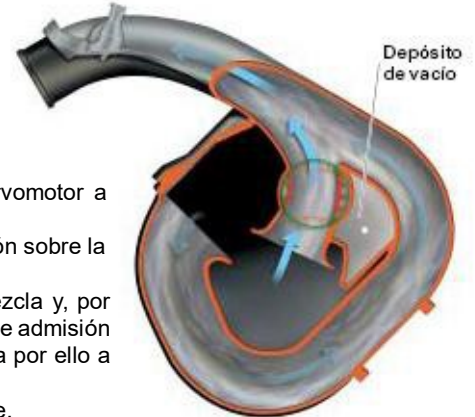
Elemento inferior del colector de admisión

El elemento inferior del colector de admisión aloja cuatro chapaletas impulsadas por un servomotor a través de un eje compartido.

El potenciómetro que va integrado en el servomotor, se utiliza para las señales de realimentación sobre la posición de las chapaletas para la unidad de control del motor.

La posición de las chapaletas en el colector de admisión influye sobre la formación de la mezcla y, por tanto, sobre la composición de los gases de escape. La gestión de las chapaletas en el colector de admisión pertenece a los sistemas de relevancia para la composición de los gases de escape y se vigila por ello a través del sistema EOBD.

El elemento inferior del colector de admisión va atornillado al conducto colectivo de combustible.



Conducción del aire

En el sistema FSI se puede dar dos formas distintas para la conducción del aire.

Modo 1

La masa de aire se conduce hacia la cámara de combustión por encima de la pletina **Tumble** a base de cerrar la chapaleta en el colector de admisión.

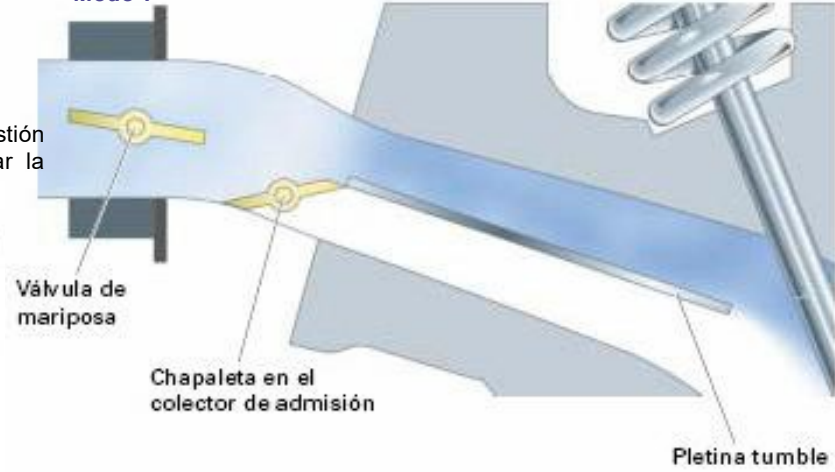


Modo 2

La masa de aire aspirada se conduce hacia la cámara de combustión por encima y por debajo de la pletina **Tumble** a base de abrir la chapaleta en el colector de admisión. Esta conducción del aire permite el modo operativo homogéneo. Esta conducción de aire se utiliza para el modo operativo con carga estratificada.

Hablamos de un procedimiento de combustión conducido por el aire, con movimiento de la carga gestionado por familia de características.

Modo 1



Modo 2



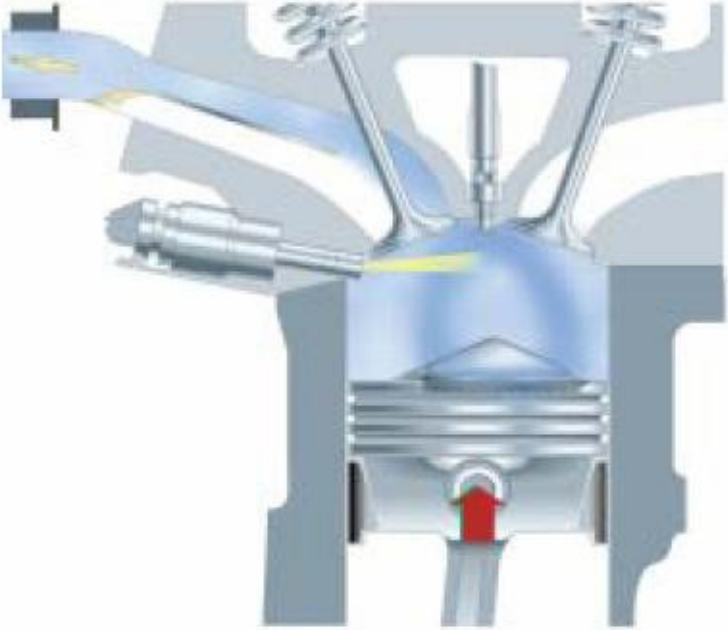
Forma de la Inyección

Poco antes del momento de encendido, en el ciclo de compresión se inyecta combustible a alta presión (50 a 100 bar) en la zona cercana a la bujía.

La inyección se realiza en el último tercio del ciclo de compresión. Comienza unos 60° y finaliza unos 45° antes del PMS de encendido.

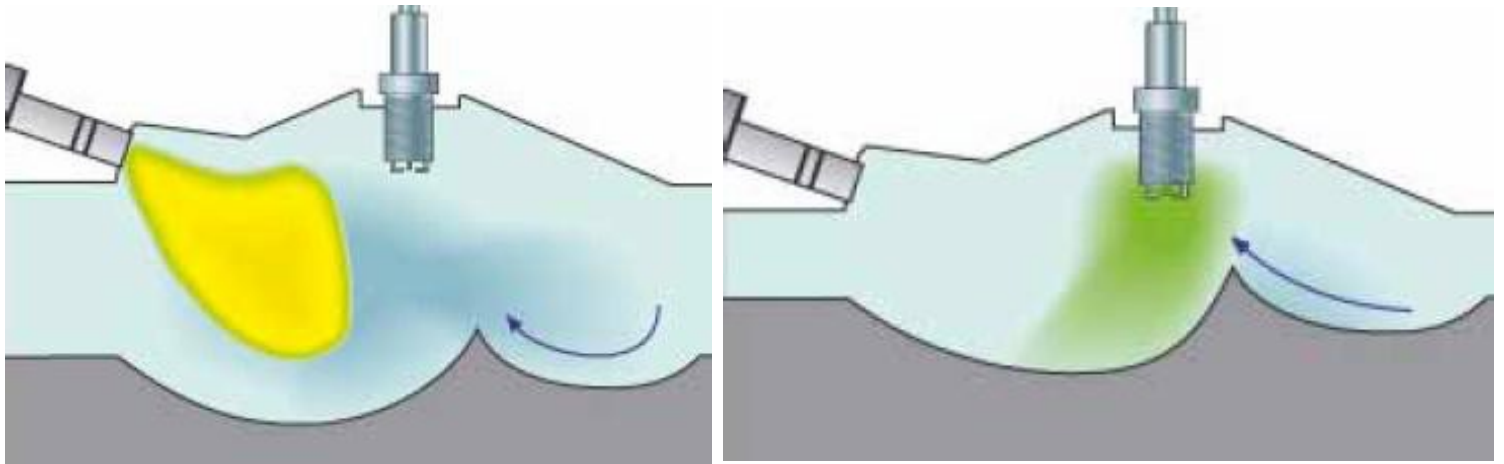
Puesto de que se trata de un ángulo de inyección bastante plano y diseñado según la forma de la cámara de combustión, la nube de combustible prácticamente no entra en contacto con la cabeza del pistón, por lo que se trata de un procedimiento "guiado por aire".

El momento de la inyección ejerce una influencia importante sobre la posición que adopta la nube de la mezcla en la zona de la bujía.



El combustible se inyecta en dirección hacia el rebaje para combustible.

La propagación deseada de la nube de mezcla se consigue gracias a la geometría del inyector.



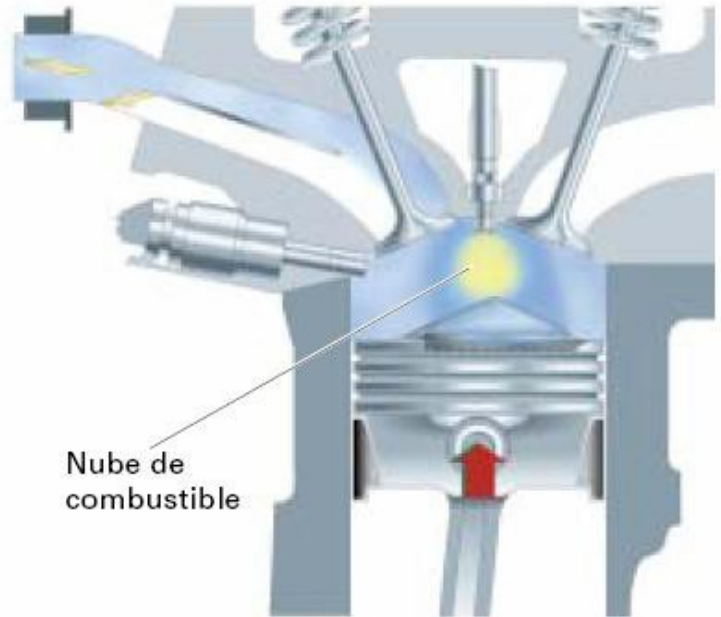
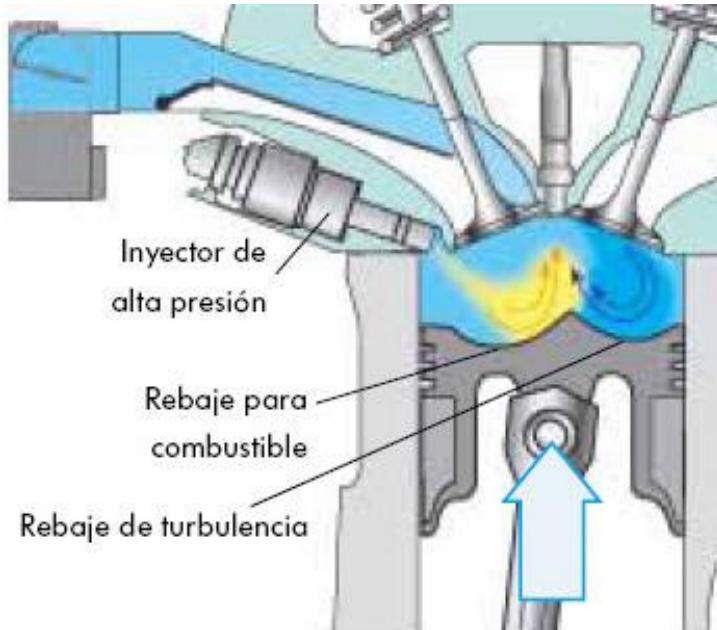
Por el efecto del rebaje para combustible y el movimiento descendente del pistón se conduce el combustible en dirección hacia la bujía.

Esta operación se intensifica por el caudal de aire con turbulencia cilíndrica, que conduce asimismo el combustible hacia la bujía.

En el trayecto hacia la bujía se mezcla el combustible con el aire aspirado.

En la zona cercana a la bujía se produce una nube de la mezcla con una buena capacidad de ignición, que se inflama en la fase de compresión. Después de la combustión hay adicionalmente una capa de aire aislante entre la mezcla inflamada y la pared del cilindro, capa exterior que, en el caso ideal, se compone de aire fresco y gases de escape recirculados.

Esto hace que se reduzcan las pérdidas de calor en las paredes y aumente el rendimiento térmico del motor.



Momento de Encendido e Inyección

Solamente se dispone de un ángulo de cigüeñal de 40° a 50° para la formación de la mezcla.

Esto es decisivo para la capacidad de ignición de esta.

Si el tiempo es más corto entre la inyección y el encendido, la mezcla no está preparada todavía lo suficiente para inflamarse de forma adecuada. Un tiempo más largo conduciría a una mayor homogeneización en toda la cámara de combustión. La relación de aire y combustible en toda la cámara de combustión está comprendida entre 1,6 y 3.

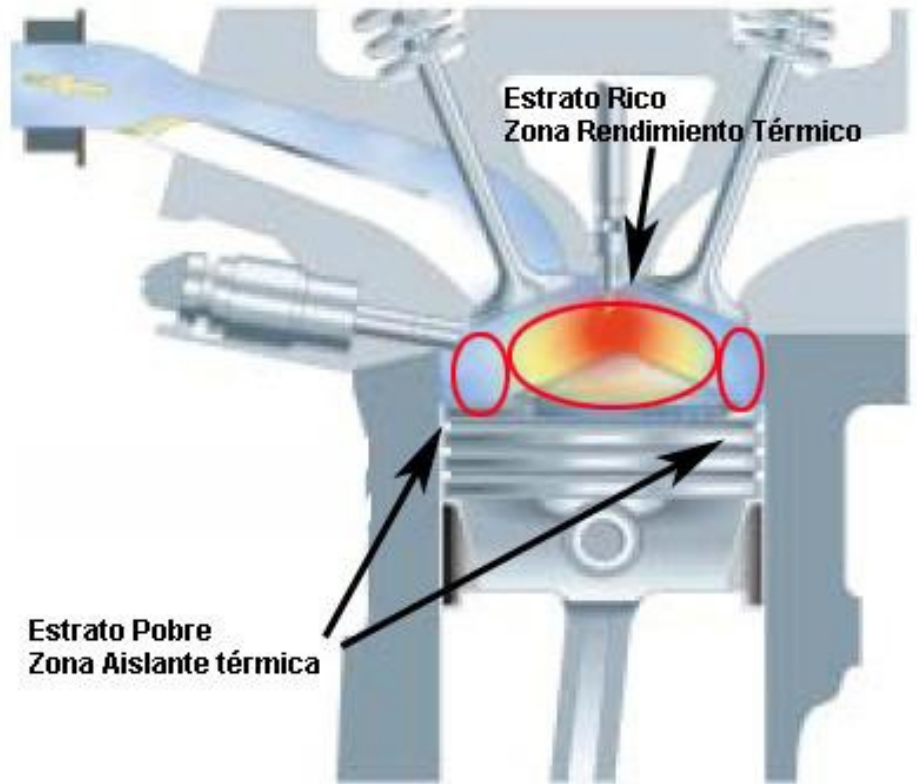
Solo cuando el posicionamiento de la mezcla de combustible y aire en la zona de la bujía es exacto, se produce el encendido.

Durante esa operación sólo se inflama la nube de mezcla, es decir, el **estrato rico**, mientras que los gases restantes actúan como un **estrato aislante**.

El momento de encendido se encuentra dentro de una estrecha ventana angular del cigüeñal, debido al final tardío de la inyección y al tiempo que transcurre para la formación de la mezcla al final del ciclo de compresión.

El par generado por el motor viene determinado en este modo operativo únicamente a través de la cantidad de combustible inyectada.

La masa de aire aspirada y el ángulo de encendido tienen aquí poca importancia.



Condiciones en modo HOMOGÉNEO – POBRE

La forma **Homogéneo - pobre** se desarrolla, dentro de la gama de curvas características, entre el modo estratificado y el modo homogéneo. En toda la cámara de combustión existe una mezcla homogénea pobre.

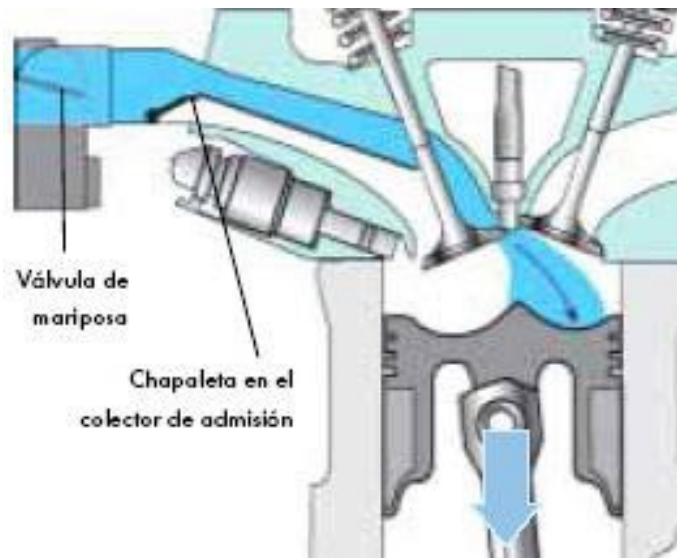
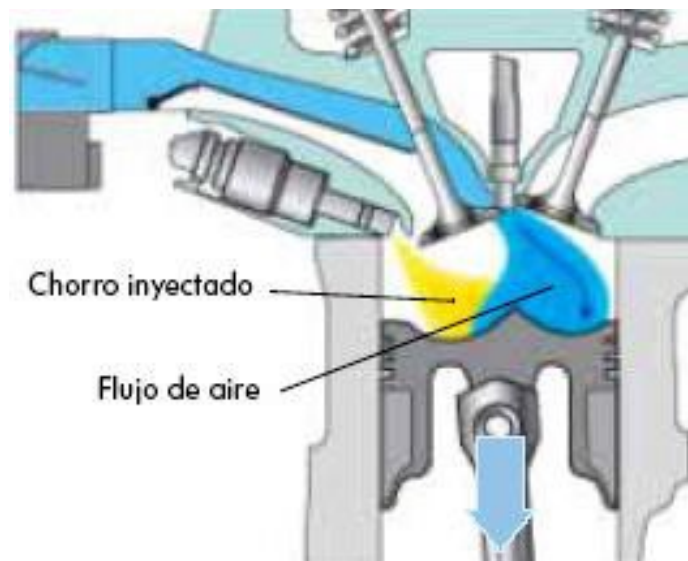
La relación de combustible y aire es de aproximadamente **Lambda = 1,55**.

Las premisas que se dan en este estado son las mismas que rigen el modo estratificado.

Admisión

Igual que en el modo estratificado, la válvula de mariposa se encuentra lo más abierta posible y la chapaleta del colector de admisión está cerrada.

Debido a esto se reducen por una parte las pérdidas por estrangulamiento y por otra se consigue un flujo intenso del aire en el cilindro.



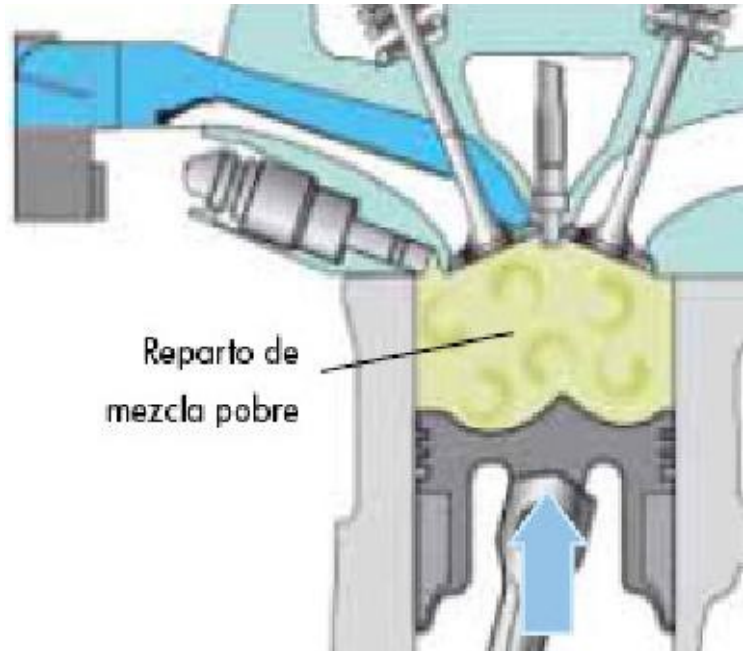
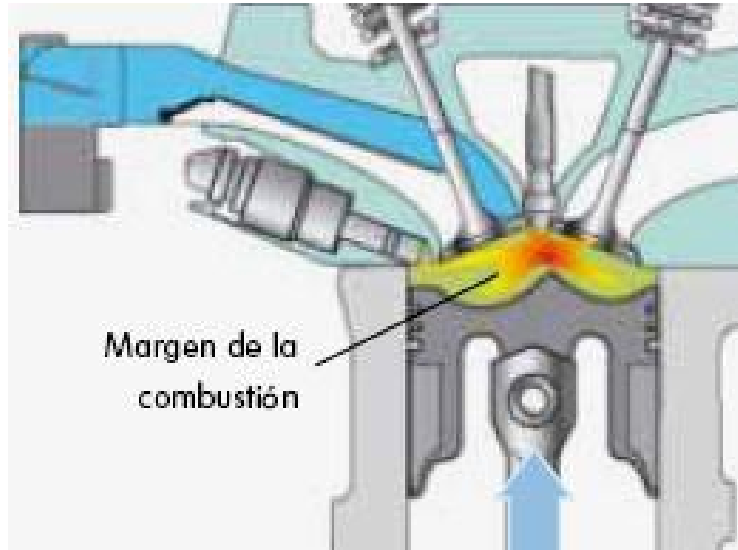
Inyección

El combustible se inyecta directamente en el cilindro a unos 300° APMS de encendido durante el ciclo de admisión.

La unidad de control del motor se encarga de regular la cantidad inyectada de modo que la relación de combustible y aire sea de aproximadamente **Lambda = 1,55**

Formación de la mezcla

El momento de inyección tan temprano permite disponer de más tiempo para la formación de la mezcla hasta el momento del encendido. De esa forma se produce un reparto homogéneo (uniforme) en la cámara de combustión.



Combustión

Igual que en el modo homogéneo, es posible elegir libremente el momento de encendido, porque se tiene un reparto homogéneo de la mezcla.

La combustión se realiza en toda la cámara.

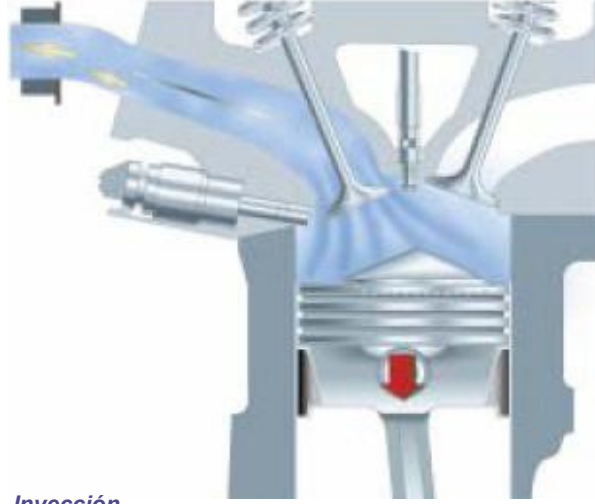
Condiciones para el funcionamiento Modo Homogéneo

El modo **Homogéneo** es comparable con el de funcionamiento de un motor con inyección en el colector de admisión.

La diferencia esencial radica en que el combustible es inyectado directamente en el cilindro al tratarse de la versión de inyección directa de gasolina.

El par del motor viene determinado por el momento de encendido y por la masa de aire aspirada.

Para esta masa de aire se elige la cantidad necesaria a inyectar trabajando en proporciones de **Lambda = 1**



Admisión

La válvula de mariposa abre en función de la posición del acelerador.

La chapaleta en el colector de admisión se mantiene abierta o cerrada según el punto operativo momentáneo, así, en la gama media de cargas y regímenes está cerrada, haciendo que el aire aspirado fluya describiendo un torbellino cilíndrico hacia el cilindro, lo cual actúa de forma positiva en la formación de la mezcla.

Luego, y a medida que sigue aumentando la carga y el régimen, la masa de aire que sólo se puede aspirar a través del canal superior ya no es suficiente para el proceso.

En ese caso la chapaleta en el colector de admisión abre también el paso del conducto inferior.



Inyección

La inyección del combustible no se realiza ahora en la fase de compresión como en el modo estratificado, sino que el combustible se inyecta aproximadamente a unos 300° antes PMS directamente en el cilindro, durante el ciclo de admisión.

La energía necesaria para la evaporación del combustible se extrae del aire encerrado en la cámara de combustión, con lo cual el aire se enfría.

Debido a ello es posible aumentar la relación de compresión en comparación con un motor con la inyección en el colector de admisión.

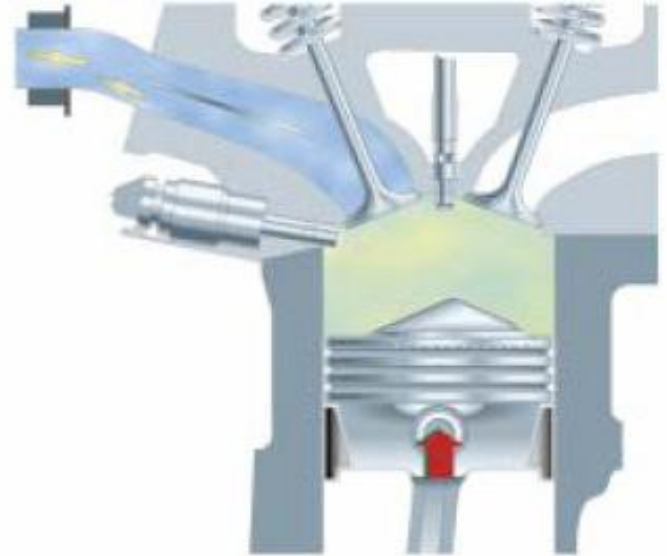
Esto conduce a un llenado homogéneo del cilindro de **14,7 : 1**

Formación de la mezcla

Debido a que la inyección del combustible se realiza durante el ciclo de admisión, hay bastante tiempo disponible para la formación de la mezcla.

Esto hace que en el cilindro se reparta la mezcla de una forma más óptima y uniforme, es decir, homogénea.

Esta está compuesta por el combustible inyectado y el aire aspirado, en una relación en la cámara de combustión de **$\lambda = 1$** .



Combustión

En el modo homogéneo se influye esencialmente con el momento de encendido sobre el par del motor, el consumo combustible y el comportamiento de las emisiones de escape.

La combustión se realiza en la cámara completa y sin las masas aislantes de aire y gases de escape recirculados.

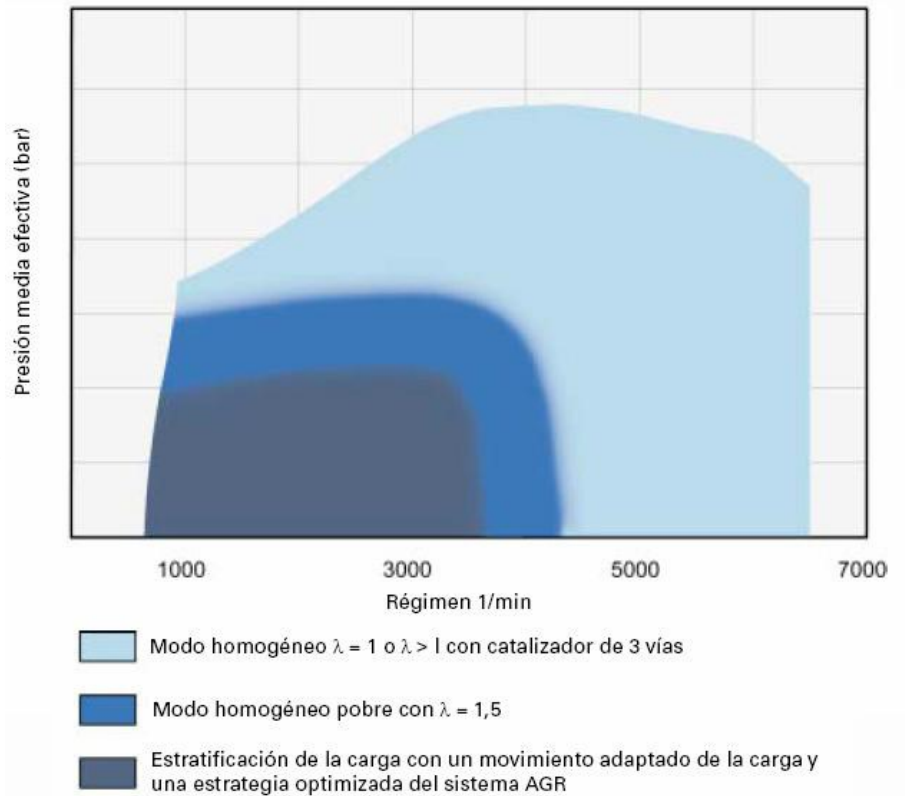
Ventajas e inconvenientes

Las ventajas en el modo homogéneo surgen a raíz de la inyección directa en el ciclo de admisión, con motivo de lo cual la masa de aire aspirada cede una parte del calor al proceso de evaporación del combustible.

Debido a este efecto de refrigeración interior se reduce la tendencia al picado, con lo cual aumenta la compresión del motor y mejora su rendimiento.

Conclusiones

- El **Modo Estratificado** no es aplicable al baremo completo de los modos operativos de funcionamiento del motor.
- Este baremo está limitado, porque a medida que aumenta la carga se va necesitando una mezcla más rica, con lo cual disminuye cada vez más la ventaja, aumentando el consumo
- Aparte de ello, la estabilidad de la combustión tiende a ser peor cuando los valores lambda caen por debajo de 1,4.
- Además, debido que a medida que aumentan los regímenes deja de ser suficiente el tiempo para la preparación de la mezcla y crecen las turbulencias del aire, también disminuye la estabilidad de la combustión.
 - El mayor potencial para la reducción del consumo de combustible se tiene en el modo estratificado.



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

ESTRUCTURA DE LA GESTIÓN DE MOTOR - MED 7.1.1 - VW FSI

La gestión del motor que estudiaremos primero y de forma general como base, será la **Motronic MED 7.1.1**.

La designación **MED 7.1.1** significa:

- M = Motronic
- E = Acelerador electrónico
- D = Inyección directa**
- 7. = Versión
- 1.1 = Nivel de desarrollo

El sistema Bosch Motronic MED 7.1.1 abarca la inyección directa de gasolina.

En este sistema se inyecta, por tanto, el combustible directamente en el cilindro y no en el conducto de admisión.

Modos operativos

Mientras que los motores convencionales de gasolina necesitan imprescindiblemente una mezcla homogénea de aire y combustible, los motores con inyección directa de gasolina que trabajan según el concepto de la mezcla empobrecida pueden funcionar a régimen de carga parcial con un alto excedente de aire, gracias a la estratificación específica de la carga.

El procedimiento FSI realiza dos modos operativos esenciales. El modo de carga estratificada a régimen de carga parcial y el modo homogéneo a régimen de plena carga.

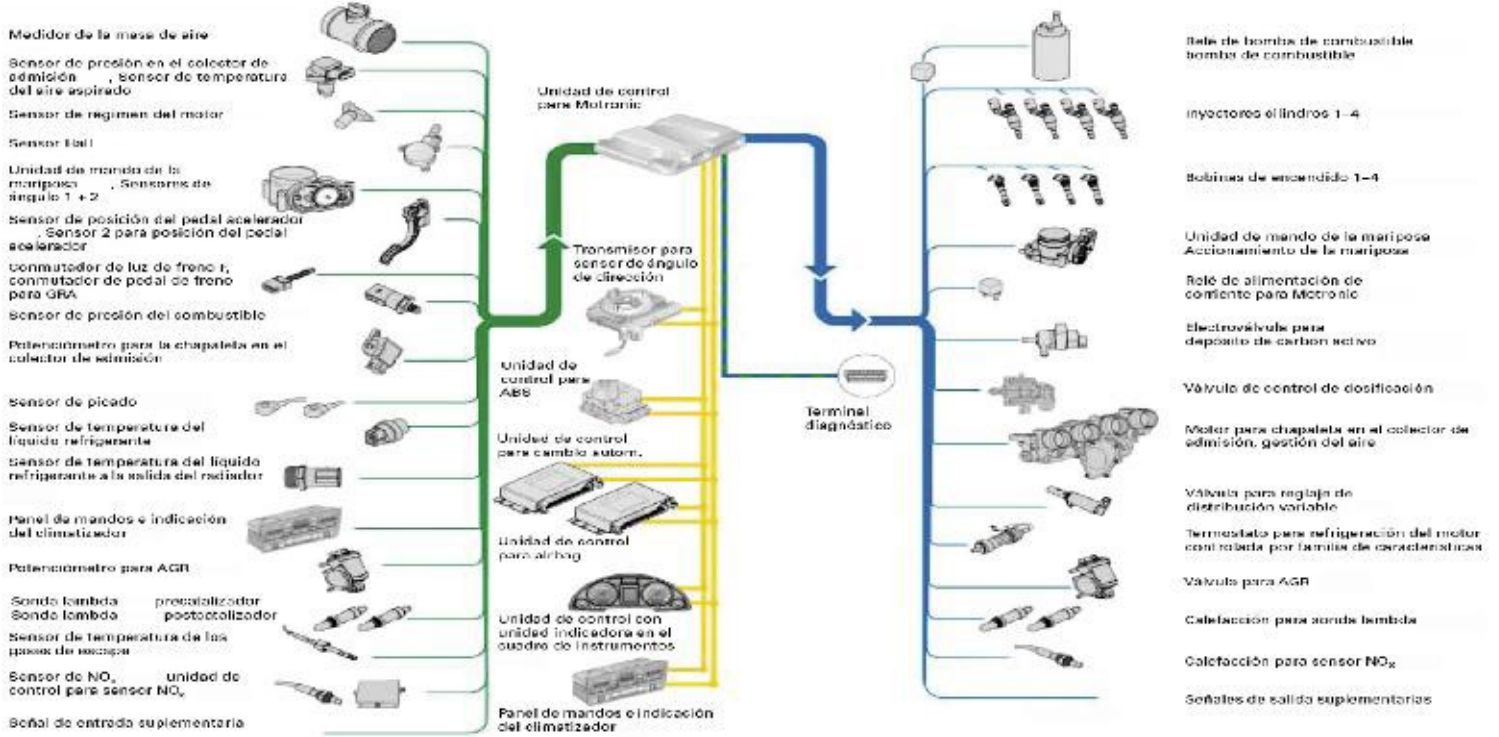
Unidad de control del motor

Están disponibles cuatro modos operativos más, que vienen a complementar el concepto FSI.

Los estados operativos pueden ser consultados por medio de bloques de valores de medición.

INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Estructura de Funcionamiento



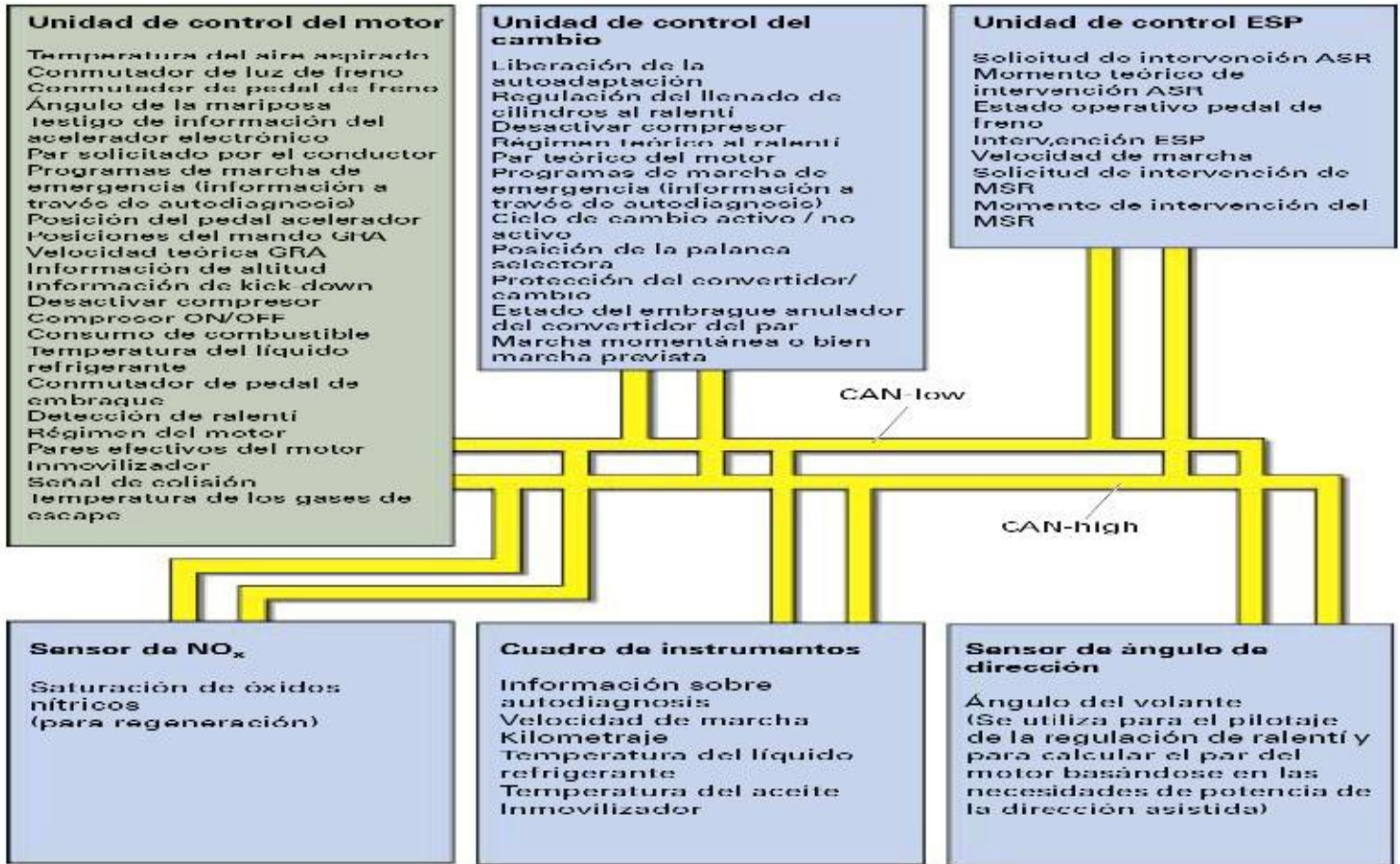
ZONA DE SENSORES

INTERCOMUNICACION

ZONA ACTUADORES

INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Intercomunicación entre sistemas mediante Bus-Can



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

El sistema **MED 7** es un sistema de gestión de motores basado en el par.

Esto significa, que se recogen, analizan y coordinan todas las solicitudes de demanda de par, dándose respuesta a ellas de la forma más eficaz

Las vías por las que pueden ser generadas las demandas de par motor, pueden ser las siguientes:

- Intención del conductor
- Cambio automático o momento de transmisión
- Sistemas de frenos (ABS, ASR, ESP, Etc)
- Regulador de velocidad

Estas son demandas a largo plazo de tiempo

- Arranque del motor
- Calefacción del catalizador
- Regulación del ralentí
- Limitación de potencia y régimen
- Regulación lambda

Estas son demandas a corto plazo de tiempo

Una vez analizados los parámetros y calculado del par teórico del motor, se lleva a la práctica la regulación y consecución del mismo de dos formas fundamentales:



- En la primera lógica se influye sobre el llenado de los cilindros. Sirve para las solicitudes de entrega de par de mayor plazo de tiempo.
- En la segunda lógica se influye a corto plazo sobre el par de giro, independientemente del llenado de los cilindros.
- En el modo estratificado sólo se determina el par a través de la cantidad de combustible, mientras que en los modos homogéneo-pobre y homogéneo sólo se determina a través del momento de encendido.

INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

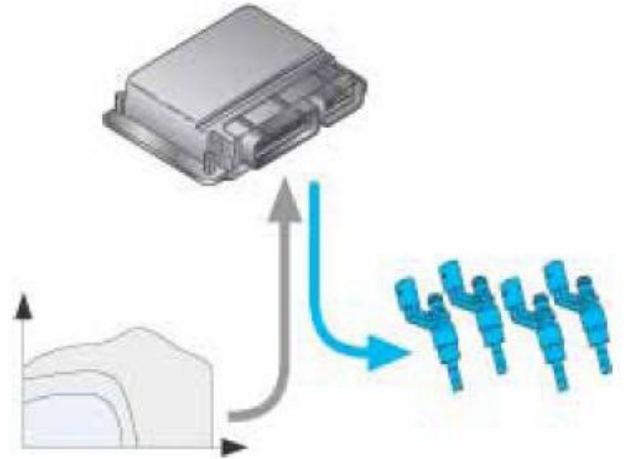
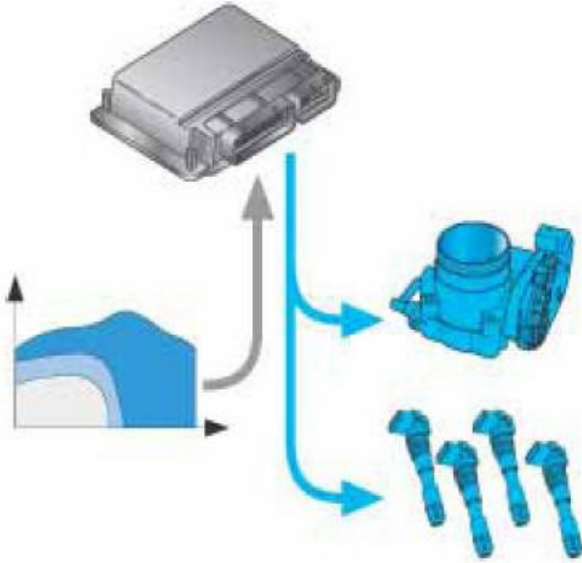
En la puesta en práctica de la regulación del par motor teniendo en cuenta las formas de trabajo de la inyección directa de gasolina, vemos detalladamente como se realiza

Implementación en el modo estratificado

En el modo estratificado se implementa el par teórico a través de la cantidad inyectada.

La masa de aire desempeña un papel de segunda importancia, porque la válvula de mariposa se encuentra abierta a una gran magnitud, para reducir las pérdidas por estrangulamiento.

Al momento de encendido le corresponde también una reducida importancia, debido a que la inyección se efectúa en un momento tardío.



Implementación en el modo homogéneo – pobre y en el modo homogéneo

En estos dos modos operativos se implementan las solicitudes de entrega de par a corto plazo a través del momento de encendido y a largo plazo a través de la masa de aire.

En virtud de que la mezcla de combustible y aire corresponde a un factor lambda fijo de 1,55 o bien 1 en ambos modos operativos, la cantidad a inyectar viene dada por la masa del aire aspirado.

Por ese motivo no se procede a regular aquí el par de giro.

INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

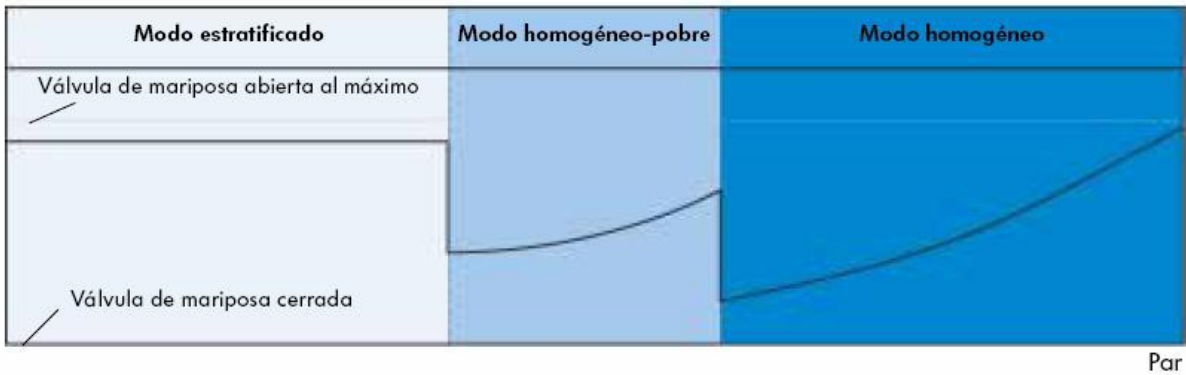
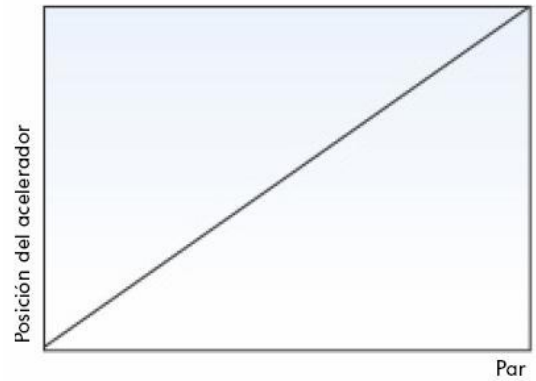
Gestión sobre el Acelerador electrónico y sobre la admisión

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.

Para el control de la apertura de la chapaleta de admisión se actúa según el modo de funcionamiento.

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.

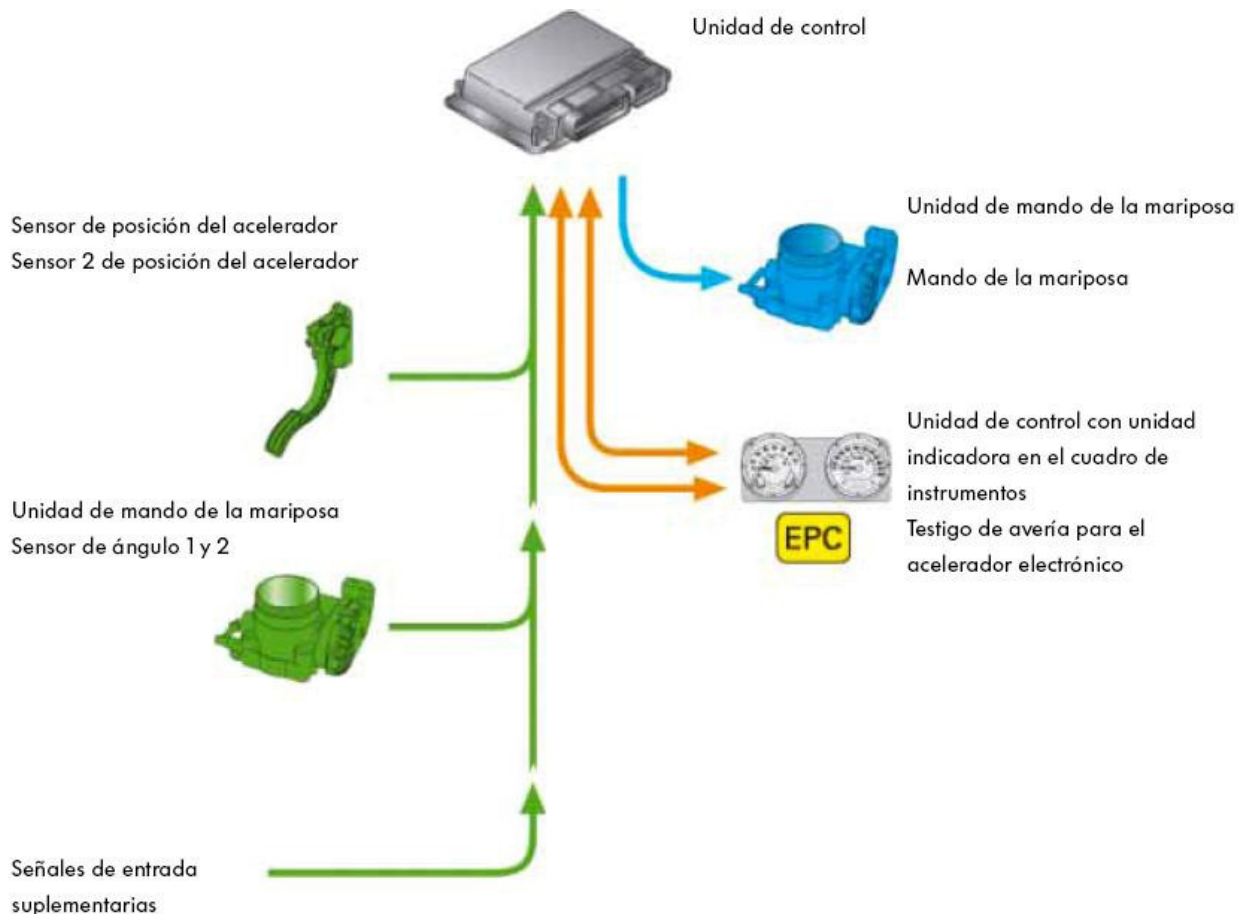


En los modos homogéneo-pobre y homogéneo el par del motor se determina a través del ángulo de encendido y la masa de aire aspirada. La válvula de mariposa abre de acuerdo con el par motor necesario.

INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Para la regulación de la mariposa pilotada, la regulación funciona de forma que los deseos expresados por el conductor a través del acelerador y detectados por el sensor de posición del acelerador se transmiten a la unidad de control del motor.

Con ayuda de esta señal y otras señales suplementarias la UCE calcula el par necesario y lo implementa a través de los actuadores correspondientes.



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

COMPONENTES DEL SISTEMA

Sistema de Combustible

El funcionamiento del sistema de combustible se basa en un circuito de baja y uno de alta presión. Nos encontramos en el mismo grupo, sistemas con bomba de alta presión tipo **RADIAL** y tipo **MONOEMBOLO**

En el sistema de **baja** presión el combustible es presurizado por una bomba eléctrica, a **6 Bares** aproximadamente, haciéndolo pasar por el filtro, para llegar a la bomba de alta presión.

La presión del combustible en funcionamiento normal es de **3 bares** y durante el arranque en caliente es de **5,8 bares** como máximo.

El retorno de la bomba de alta presión va directamente al depósito.

SISTEMA POR BOMBA MONOEMBOLO

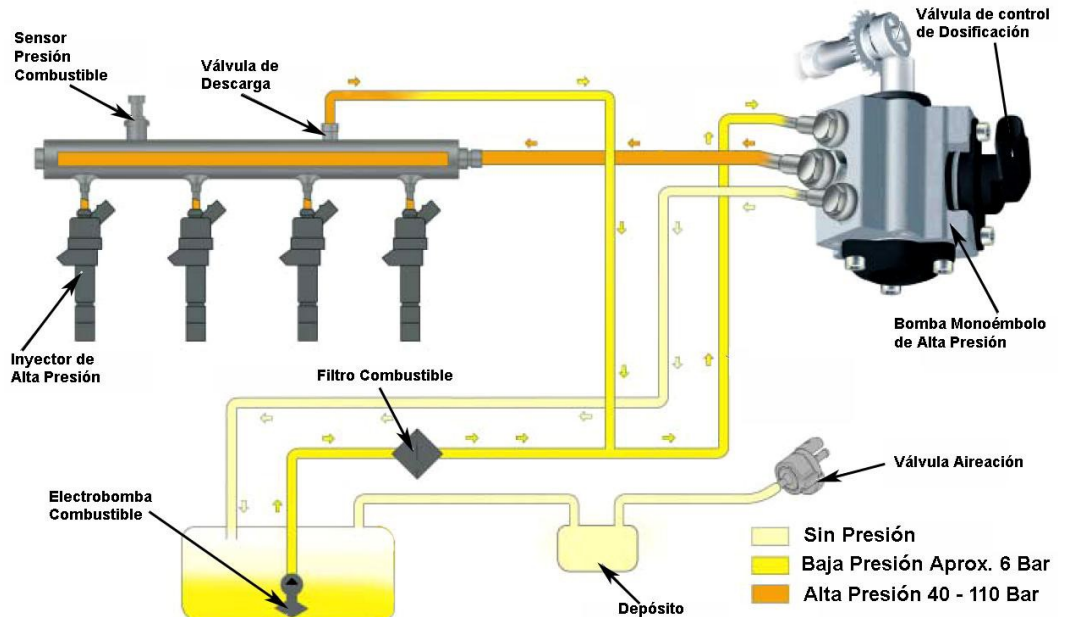
En el sistema de **alta** presión, una bomba de alta presión envía el combustible con un valor que puede variar entre **40** y **110** bares según el estado de carga y el régimen.

Este combustible, es enviado hacia el tubo distribuidor, repartiéndose desde aquí hacia los cuatro inyectores de alta presión.

La válvula de descarga tiene la función de proteger a los componentes del circuito de alta presión y abre a partir de una presión superior a los **120** bares.

El combustible que sale de la válvula de descarga, pasa al conducto de alimentación de la bomba de alta presión.

Adicionalmente se conduce combustible a través del sistema de depósito de carbón activo para su combustión en el motor, por un sistema de aireación controlado electrónicamente mediante una electroválvula.

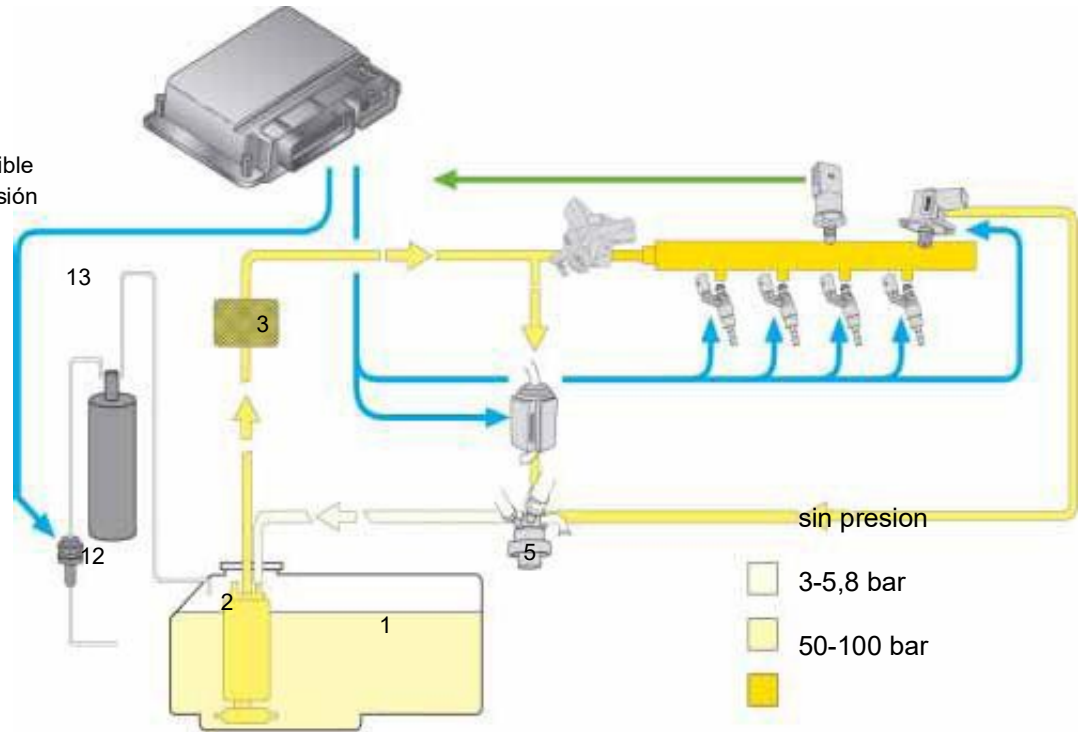


INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

SISTEMA DE BOMBA RADIAL

En este sistema dispone de un regulador y un dosificador separado físicamente de la bomba de alta presión. Esta bomba se compone de 3 émbolos en forma radial, como se detalla mas adelante.

- 1 Depósito de combustible
- 2 La bomba eléctrica de combustible
- 3 El filtro de combustible
- 4 La válvula de dosificación de combustible
- 5 El regulador de presión del combustible
- 6 La bomba de combustible de alta presión
- 7 Un tubo de combustible de alta presión
- 8 El tubo distribuidor de combustible
- 9 El sensor de presión del combustible
- 10 La válvula reguladora para presión del combustible
- 11 Los inyectores de alta presión
- 12 Electroválvula para depósito de carbón activo
- 13 Depósito de carbón activo



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

BOMBA DE COMBUSTIBLE DE ALTA PRESIÓN

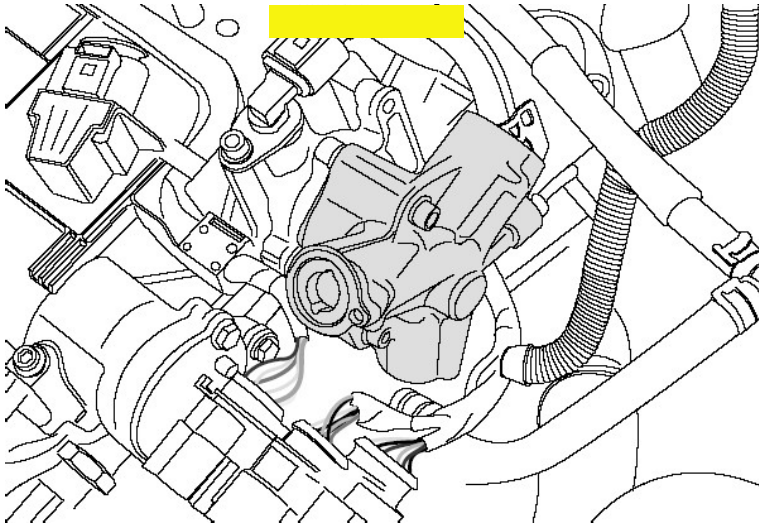
Existen dos tipos posibles de bomba de alta presión, **Monoémbolo** o **Radial** de tres pistones.

Independientemente de su funcionamiento interno, la bomba de alta presión se impulsa mecánicamente a través del árbol de levas.

La bomba de alta presión recibe una presión previa de la bomba del depósito y a partir de ahí genera la presión que se necesita en el conducto común. Dependiendo el tipo de bomba, podemos observar que dispone de una válvula de control de dosificación o caudal (MONO-EMBOLO) o bien un regulador de presión (RADIAL)



BOMBA RADIAL



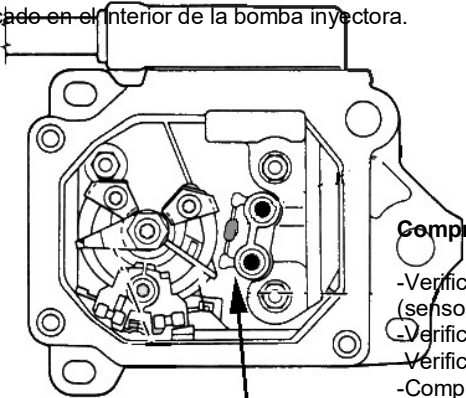
Sensor de temperatura de carburante

La señal de este componente es utilizada para:

- Gestión de la corredera del caudal.

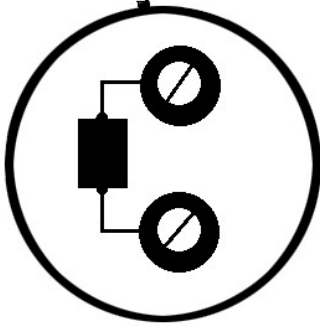
Es una resistencia variable con la temperatura del tipo NTC.

Está colocado en el interior de la bomba inyectora.



Comprobaciones

- Verificar tensión de referencia (sensor desconectado, lado conector)
- Verificar resistencia del sensor (sensor desconectado, lado sensor)
- Verificar aislamiento a masa de la instalación.
- Comprobar la variación de la tensión en bornes al cambiar la temperatura del gasoil.

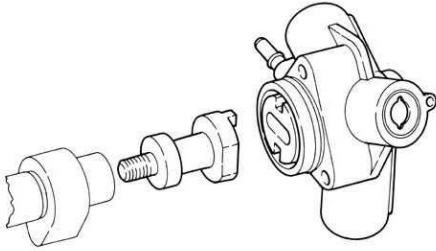
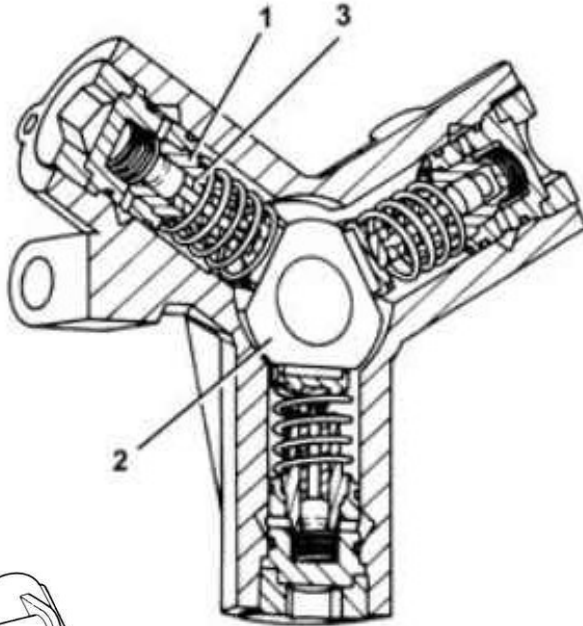


INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

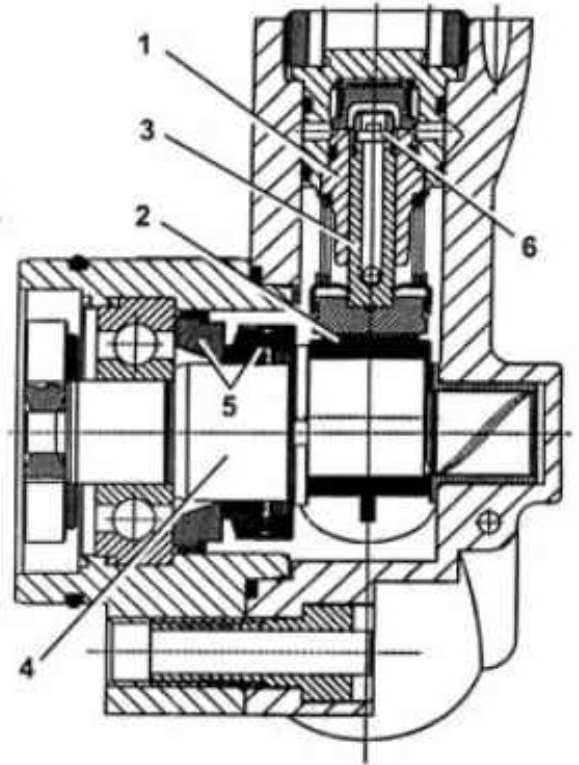
BOMBA DE ALTA PRESIÓN RADIAL

La bomba, arrastrada directamente por el árbol de levas, consta de 3 pistones distribuidos cada 120°.

La bomba a de estar cargada con la presión de entrada de 4 bar aproximadamente, siendo necesaria para el llenado completo. La bomba se refrigerará con la misma cantidad de combustible que le entra.



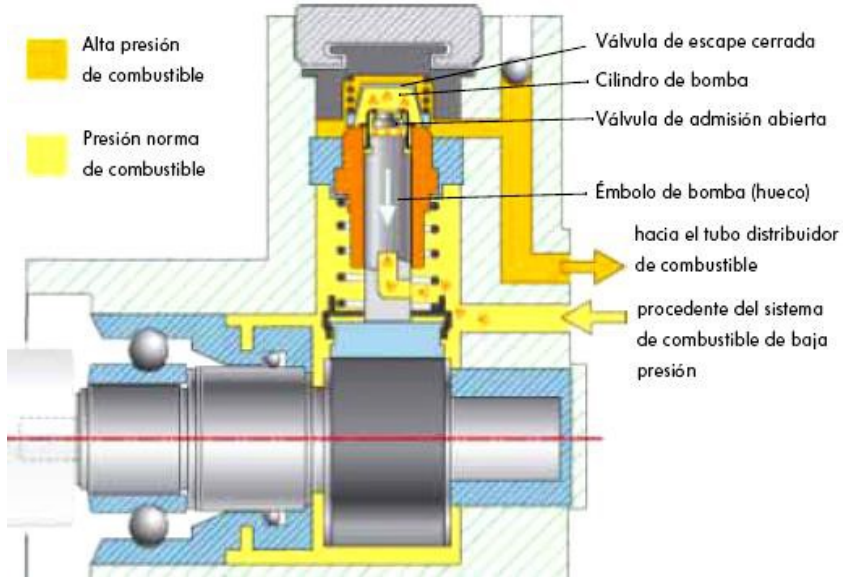
1. Cilindro.
2. Excéntrica.
3. Pistón.
4. Eje de la bomba.
5. Cierre dinámico.
6. Válvula de retención.



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Funcionamiento bomba de alta presión RADIAL

La fase de trabajo son similares al sistema mono-embolo, diferenciando que el trabajo lo hace repartido a tres pistones, por tanto el volumen individual es mas pequeño y mas constante, es decir, mas suave ya que hay menos variaciones de presión. Cada uno de los émbolos son huecos, para poder circular el combustible a través de ellos.

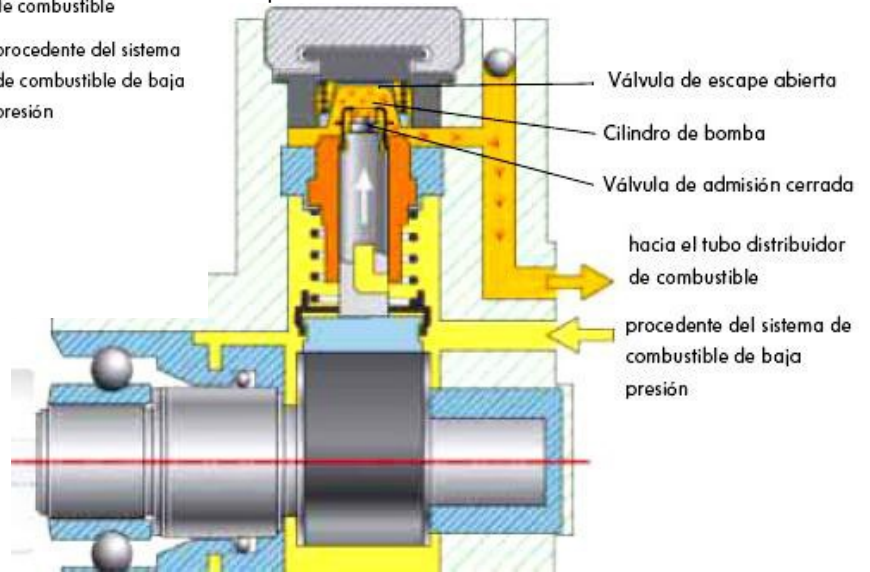


Carrera aspirante

Durante el movimiento descendente del émbolo de la bomba aumenta el volumen en su cilindro y la presión desciende. En cuanto la presión en el émbolo hueco es superior a la del cilindro de la bomba, la válvula de admisión abre y permite que el combustible refluya.

Carrera impelente

Durante el movimiento descendente del émbolo de la bomba aumenta el volumen en su cilindro y la presión desciende. En cuanto la presión en el émbolo hueco es superior a la del tubo distribuidor, la válvula de admisión abre y permite que el combustible refluya. Con el comienzo del movimiento ascendente que efectúa el émbolo de la bomba aumenta la presión en su cilindro y la válvula de admisión cierra. Si la presión en el cilindro de la bomba es superior a la del tubo distribuidor, la válvula de escape abre y el combustible es impelido hacia el tubo distribuidor.



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Válvula reguladora de la presión del combustible

En el caso de tener un sistema con bomba **Radial**, la válvula reguladora de la presión del combustible se encuentra en el elemento inferior del colector de admisión y va atornillada entre el tubo distribuidor de combustible y el tubo de retorno hacia el depósito.

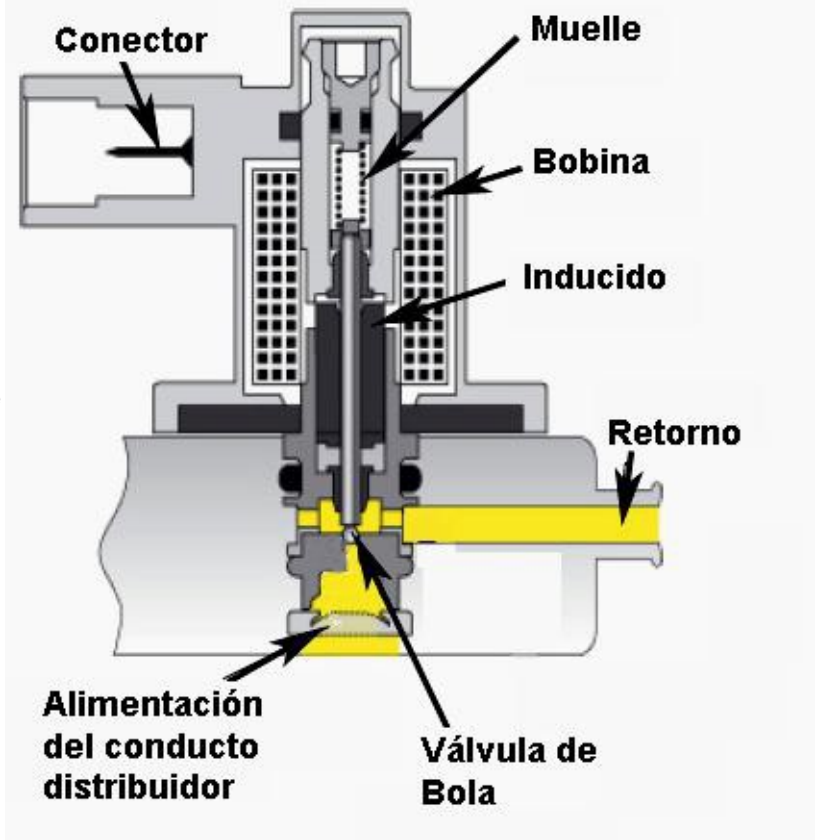
Como en el caso anterior tiene la función de establecer la presión en el tubo distribuidor de combustible, independientemente de la cantidad inyectada y de la cantidad impelida por la bomba.

En caso de avería la válvula reguladora se encuentra cerrada al no tener la corriente aplicada.

De ese modo se tiene establecido de que siempre esté disponible una presión suficiente del combustible.

Para proteger los componentes contra presiones excesivas se incorpora en la válvula reguladora de presión del combustible un limitador mecánico de la presión a través de un sistema de muelle.

Este muelle abre cuando el combustible alcanza una presión de 120 bares.



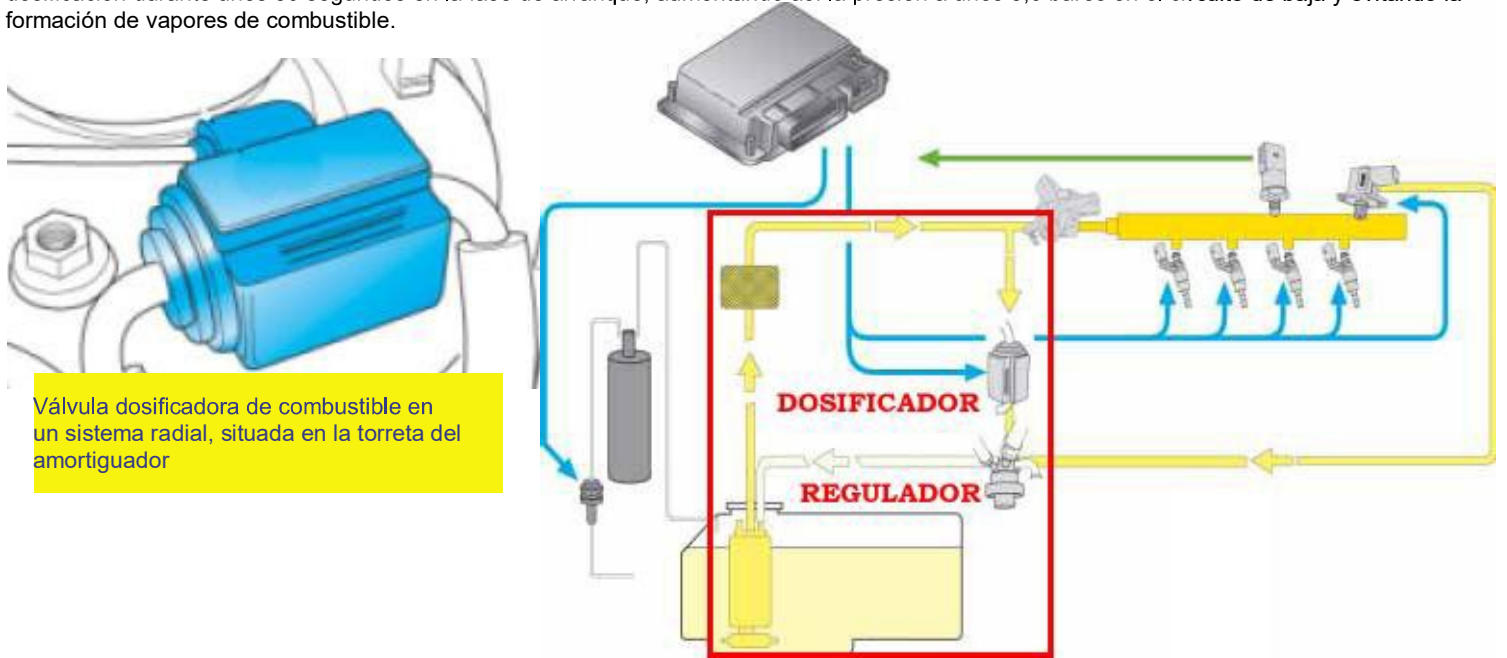
INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Válvula dosificadora de combustible

La válvula dosificadora de combustible se encuentra situada en el circuito entre el circuito de regulación de baja, siendo su función la de poder aumentar la presión de baja en situaciones críticas.

Su estado de funcionamiento normal es abierta, así el combustible que envía la bomba eléctrica pasa directamente al regulador, y por tanto éste es el que mantiene la presión de baja. Cuando la unidad determina que hay una necesidad de aumentar la presión de baja, le aplica una señal, de ciclo de trabajo variable, al dosificador haciendo que estrangule el paso hacia el regulador, de esta forma se consigue aumentar la presión del circuito de baja y mejorar la carga de la bomba de alta presión.

Cuando se realiza un arranque en caliente, donde la temperatura del motor es superior a 110°C, la unidad mantiene excitada la electroválvula de dosificación durante unos 50 segundos en la fase de arranque, aumentando así la presión a unos 5,8 bares en el circuito de baja y evitando la formación de vapores de combustible.



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Sensor de Presión de combustible

El sensor de presión de combustible tiene la función de medir la presión del combustible en el conducto distribuidor. Se encuentra en la parte inferior del colector de admisión y va atornillado en el conducto distribuidor de combustible.

El valor de la presión que se establece, es ofrecida en forma de una señal de tensión y se envía hacia la unidad de control del motor.

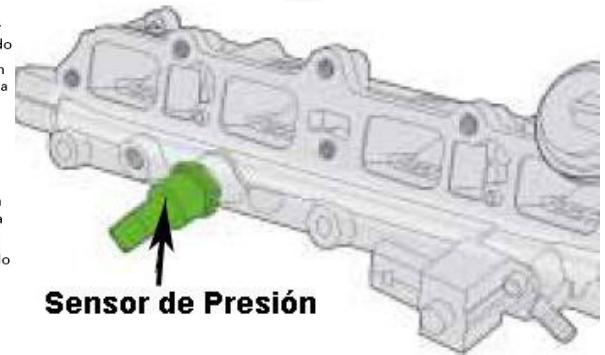
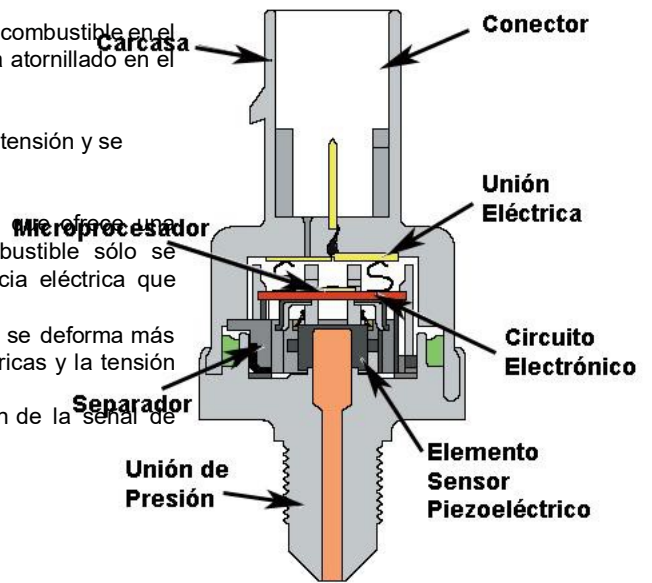
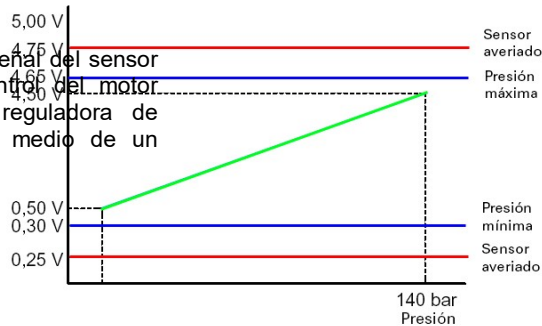
Este sensor se basa en el efecto piezoeléctrico y lleva un circuito integrado **microprocesador** que ofrece una salida variable de 0 a 5 v. Funciona de forma que a baja presión del combustible sólo se deforma levemente la membrana de cuarzo. De esa forma es alta la resistencia eléctrica que oponen las resistencias extensométricas y la tensión de la señal es baja.

Si la presión del combustible es de alta magnitud, la membrana de cuarzo se deforma más intensamente. Ahora es baja la resistencia eléctrica en las resistencias extensométricas y la tensión de la señal es proporcionalmente alta.

En la curva característica representada para el sensor se puede observar la tensión de la salida en Voltios y su correspondencia lineal con el valor de la presión en Mpa.

La regulación de la presión del combustible se lleva a cabo con ayuda de la válvula reguladora de presión, basándose en unas **cartografías** de funcionamiento preestablecidas.

En el caso de ausentarse la señal del sensor de presión en la unidad de control del motor, procede a excitar la válvula reguladora de la presión del combustible por medio de un valor fijo.



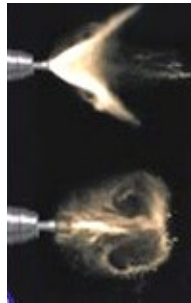
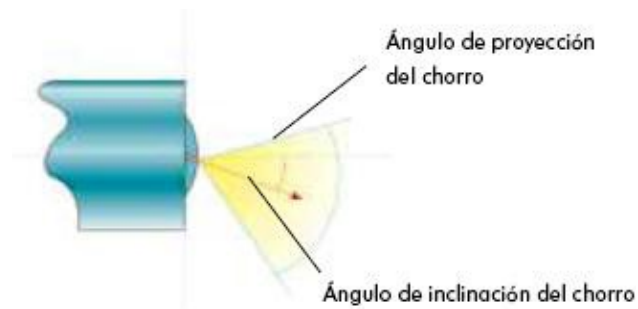
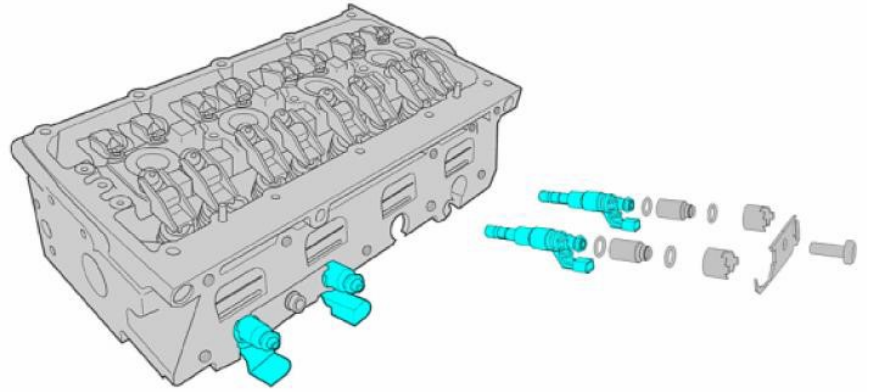
INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Inyectores Electromagnéticos

Van fijados a la culata y su misión es inyectar el combustible a alta presión directamente al interior del cilindro. Deben hacerlo en un tiempo mínimo, adecuadamente pulverizado y de forma específica según el modo operativo en el que esté trabajando en este momento.

Como ya hemos visto, en el modo estratificado se envía el combustible de forma concentrada en la zona de la bujía, mientras que en los modos homogéneo-pobre y homogéneo se pulveriza de un modo uniforme en toda la cámara de combustión.

El inyector se monta con un ángulo de proyección del chorro de 70° y un ángulo de inclinación del chorro de 20° , para conseguir dar un posicionamiento exacto al combustible, sobre todo en el modo estratificado.



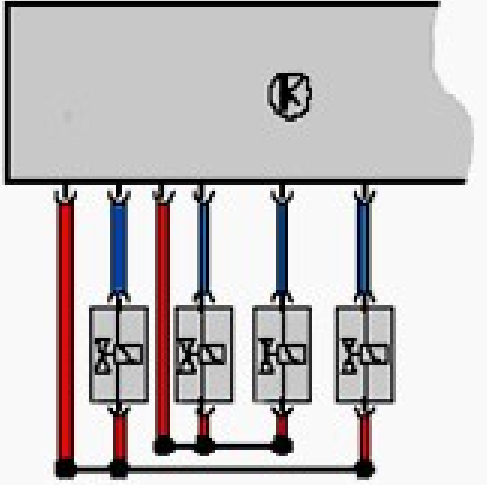
INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

El funcionamiento del inyector es electromagnético y los tiempos de excitación son muy cortos y precisos, llegando a ser de microsegundos.

Los inyectores de alta presión se excitan por medio de un circuito electrónico en la unidad de control del motor.

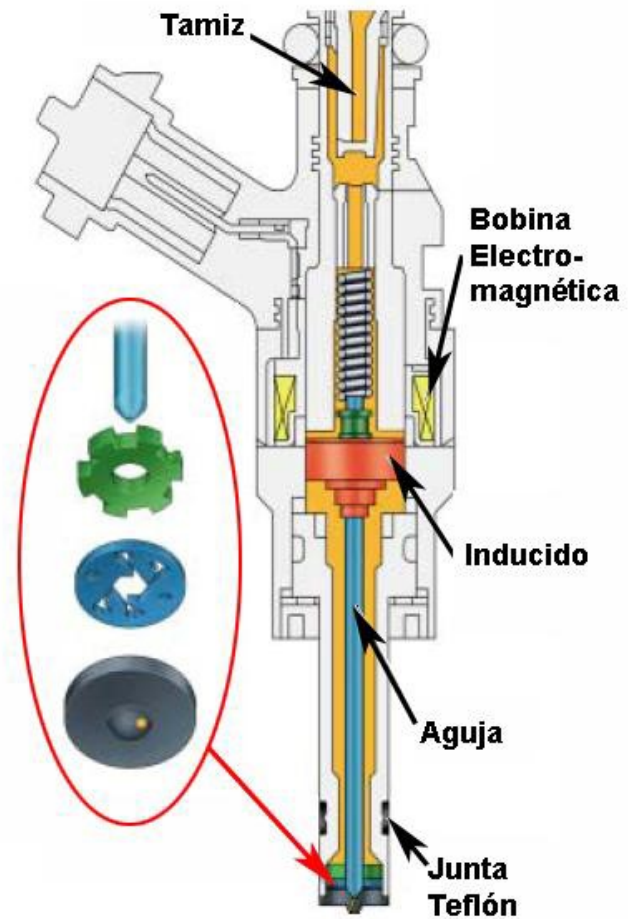
Se hace mediante dos condensadores Booster integrados en la UCE, que generan la tensión de excitación de 30 a 90 voltios.

Esto es necesario para conseguir los tiempos de inyección bastante más breves, en comparación con el de una inyección hacia el conducto de admisión, tal y como se ha descrito anteriormente.



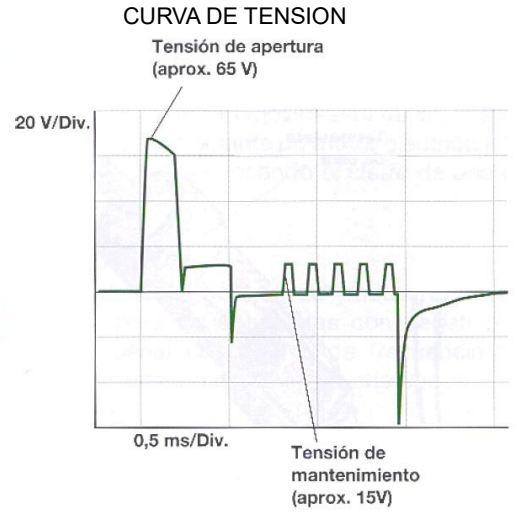
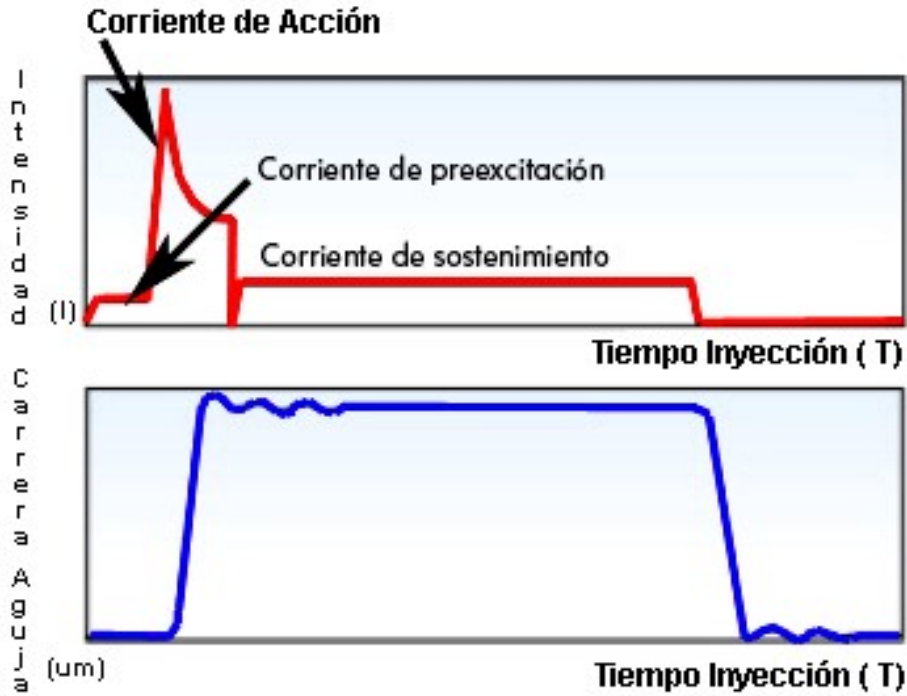
Para que el inyector abra lo más rápidamente posible se da una breve acción de apertura, aplicándose una tensión de aproximadamente **90 V**. La intensidad de corriente que resulta es de hasta **10 A**.

Al estar el inyector abierto al máximo resulta suficiente una tensión de **30 V** y una intensidad de **3 A** para mantenerlo abierto.



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

En el gráfico siguiente se puede ver la forma de la señal según la intensidad consumida y la apertura del inyector en micrómetros.



Después de la sustitución de un inyector se deben borrar los valores de autoadaptación y efectuar una nueva adaptación en la unidad de control del motor.

En caso de avería de un inyector averiado, el fallo es reconocido por la UCE y deja de ser excitado.

INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

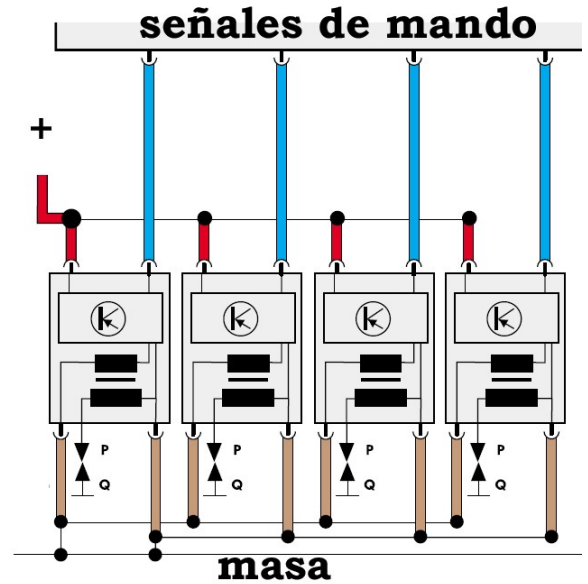
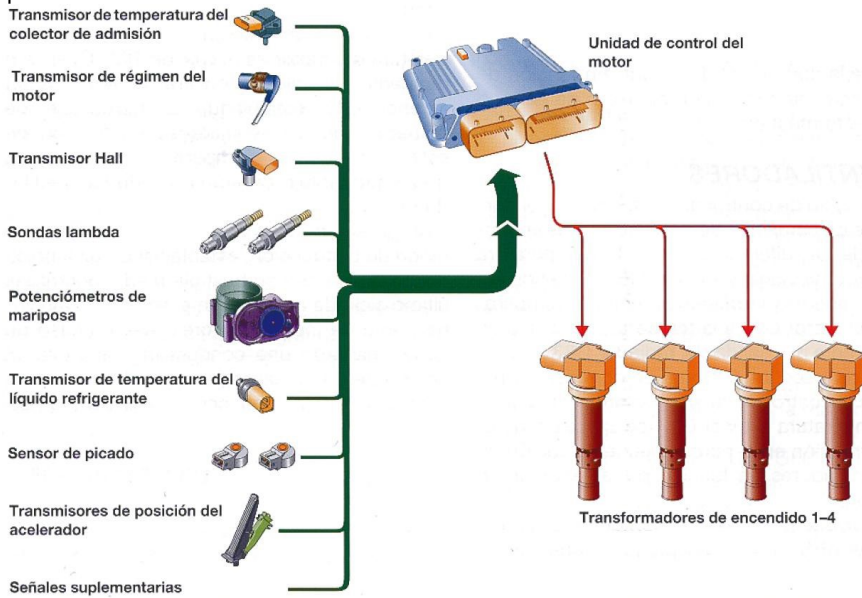
SISTEMA DE ENCENDIDO

El sistema consta de 4 bobinas individuales, que la unidad controla en función de las condiciones de trabajo del motor.

Debido a que la estructura de funcionamiento del motor hace que la mezcla esté en menos condiciones de picado, por una parte al ser inyectado directamente en la cámara de combustión, absorbiendo parte del calor del aire de admisión, y por otra parte por el poco tiempo que permanece la mezcla en la cámara de combustión.

Estas situaciones hacen que el motor pueda ser aumentado en relación de compresión y poder aportar un avance de encendido mayor. El avance de encendido es calculado en función de tres factores, régimen de motor, posición de la mariposa y el par calculado, para ser corregido en función del picado, temperatura de motor y aire y el valor de la regulación lambda.

Dependiendo de las versiones, nos podemos encontrar que se produzca varios saltos de chispa en la fase de trabajo estratificada, fase en la que se el sistema de encendido está más en el límite.



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

SISTEMA GDI DE MITSUBISHI

El concepto de este motor es prácticamente idéntico al de los anteriormente citados, por lo que solo se hará un breve repaso.

Principales aspectos técnicos del motor GDI

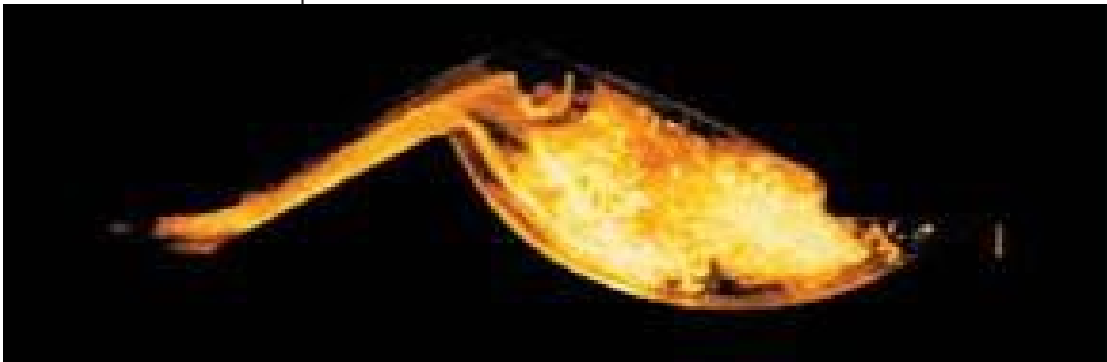
En el motor **GDI**, los Colectores de admisión son verticales, así permiten un control óptimo de la entrada de aire en el cilindro, al crear un fuerte flujo de aire, giratorio en el **sentido de las agujas del reloj**, que hace que el motor tenga un rendimiento alto, el efecto **Tumble**.

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.

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 logra concentrar el combustible alrededor de la bujía, el **Modo Estratificado**.

La Bomba de combustible inyecta carburante a una presión de 50 Bares y utiliza un sensor de presión de combustible para el control preciso de la alimentación, debido a que el interior del cilindro se mantiene a alta presión.

Los inyectores de alta presión se adaptan 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.



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

El flujo de aire giratorio, **Tumble**, 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 provocan 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.

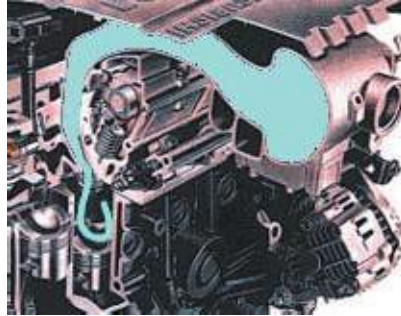
El control preciso del flujo de aire y de la alimentación de combustible es crucial para este motor.

El sensor de flujo de aire de tipo Karman y dos solenoides lineales permiten que el motor 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.

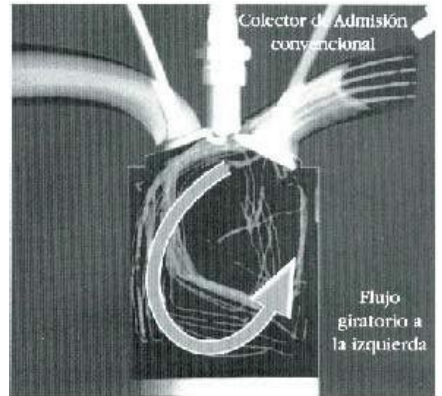
Funcionamiento del sistema

En este sistema se puede funcionar en dos modos de combustión, **ultra-pobre y alta potencia**.

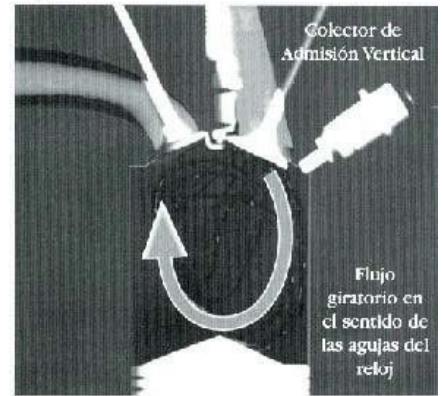
El perfecto funcionamiento del sistema en general, y el que realiza la electrónica que controla la inyección en particular, hacen que el conductor no note en ningún momento cuál es el modo en el que está funcionando el motor.



Convencional MPI



Inyección Directa



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Modo de combustión ultra-pobre o Estratificada

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, este motor 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 admisión entra un gran volumen de aire procedente de los colectores de admisión verticales, recorre la superficie curvada del pistón y refluye hacia arriba creando un potente flujo.

En la compresión el pistón hace que la forma giratoria se descomponga en numerosos y pequeños torbellinos. En la última fase de la 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, es decir **Estratificada**. De este modo se aprovecha la rapidez de la explosión en esta zona y la poca pérdida de calor hacia las paredes, repercutiendo en un gran aprovechamiento de la combustión.

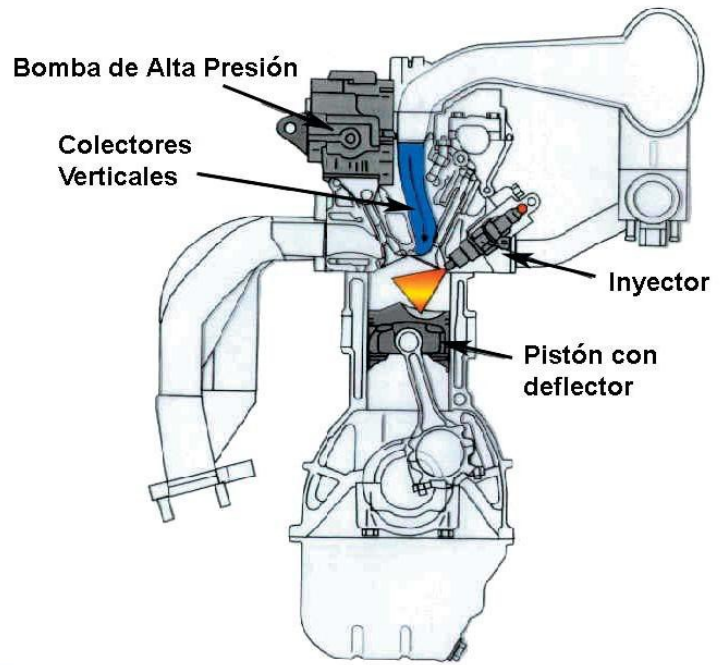
Los resultados son una mejora del 20% de ahorro de combustible frente a un motor de igual cilindrada.

Modo de alta potencia u Homogénea

Cuando se circula velocidades por encima de los 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, en forma **Homogénea**. El efecto de refrigeración evita la detonación, que puede producirse con una relación de compresión alta (12.5:1). Esta elevada relación de compresión contribuye a que el motor desarrolle una potencia y un par más elevado que un motor convencional de igual cilindrada.



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Sistema HPI de Peugeot



El sistema **HPI** (High Pressure Injection) que emplea el grupo PSA es el SIEMENS SIRIUS 81.

Este sistema gestiona la apertura de la mariposa de gases y por tanto el llenado de los cilindros.

Activa en el momento oportuno (secuencial) los inyectores.

Activa de un modo directo y secuencial las bobinas de encendido.

El motor HPI utiliza varios modos de funcionamiento:

Funcionamiento con mezcla aire/gasolina muy pobre o estratificada.

Funcionamiento con mezcla aire/gasolina homogénea (idéntica a la de los motores actuales).

Principio de funcionamiento de la inyección Directa HPI

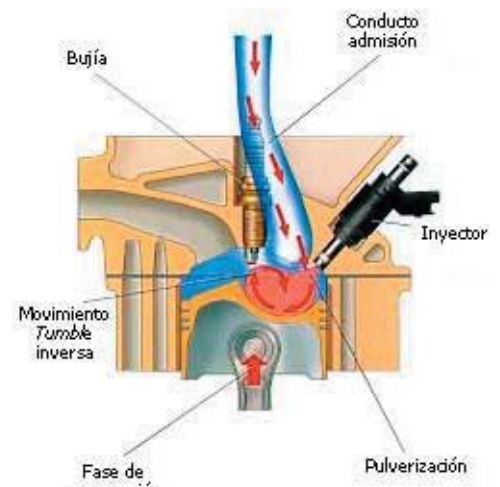
La inyección se realiza a alta presión gracias a un conducto común con inyectores electrohidráulicos.

La presión puede alcanzar los siguientes valores:

100 bares a alto régimen.

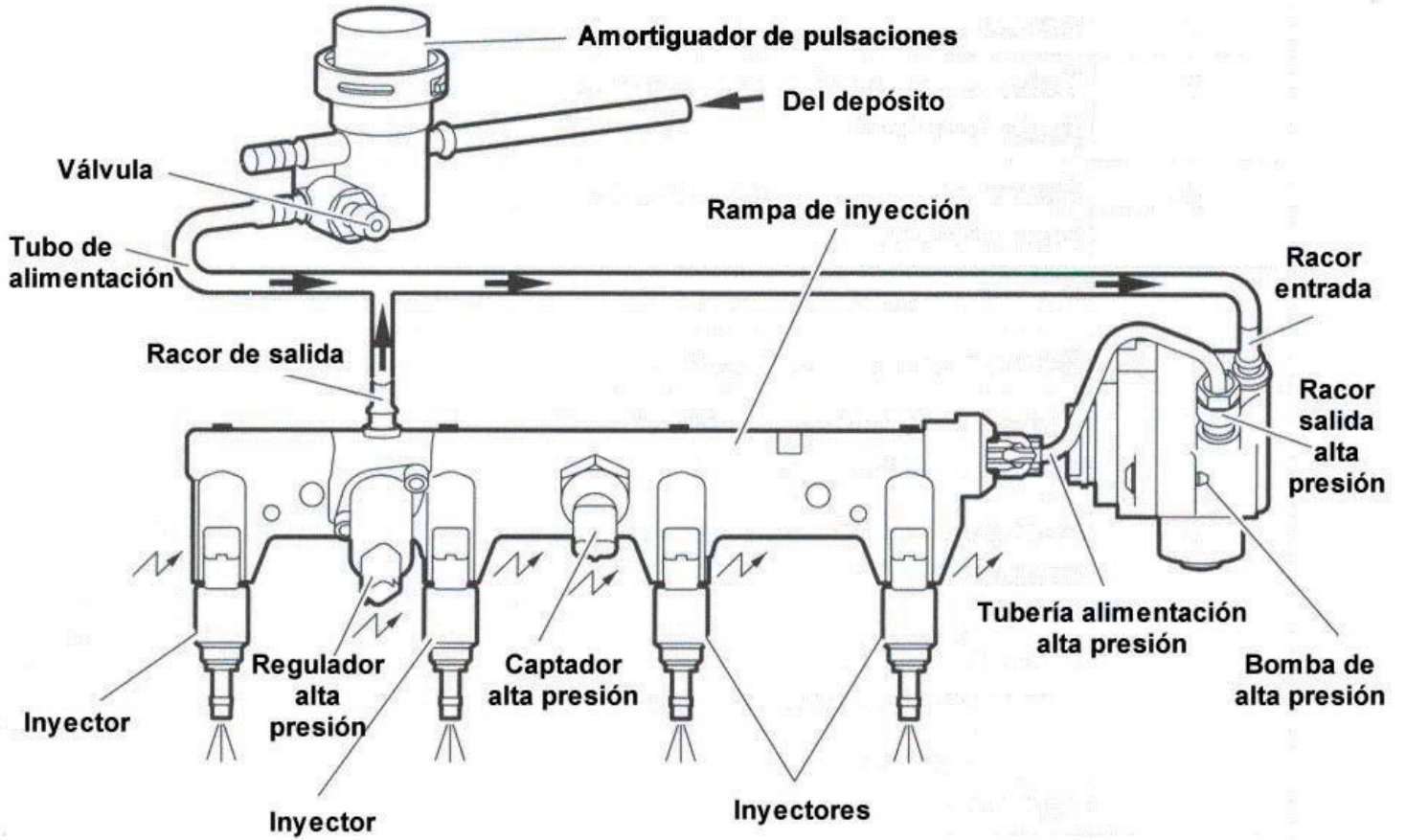
70 bares al ralentí.

30 bares en régimen transitorio.



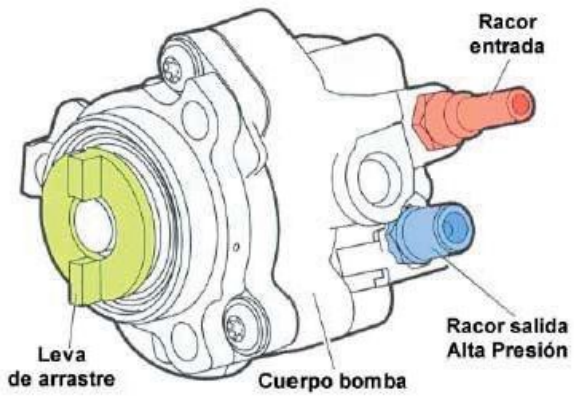
INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Los componentes de combustible son los siguientes

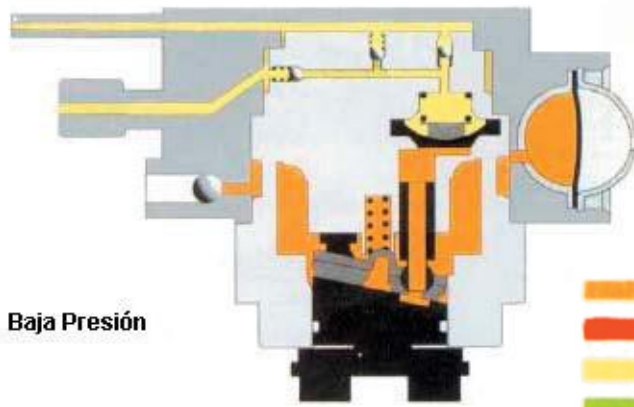


INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Funcionamiento de la bomba de alta

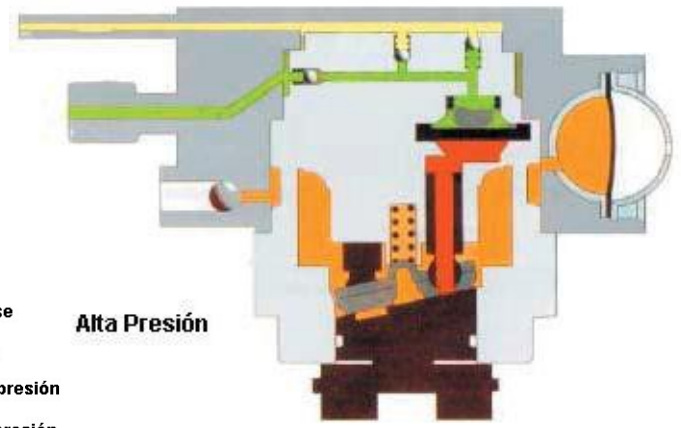


Se trata de una bomba monoembolo, accionada por el árbol de levas. Una de las principales diferencias es la cámara que genera la presión y como se desplaza esta, ya que lo realiza a través de aceite.



Baja Presión

- Aceite de engrase
- Aceite a presión
- Carburante baja presión
- Carburante alta presión



Alta Presión

INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Control de la presión de combustible

La cantidad de carburante a inyectar es calculada a partir de los parámetros siguientes:

- Posición pedal acelerador.
- Estado de funcionamiento motor (régimen, temperatura, presiones).

En función de la cantidad a inyectar la UCE determina los siguientes parámetros:

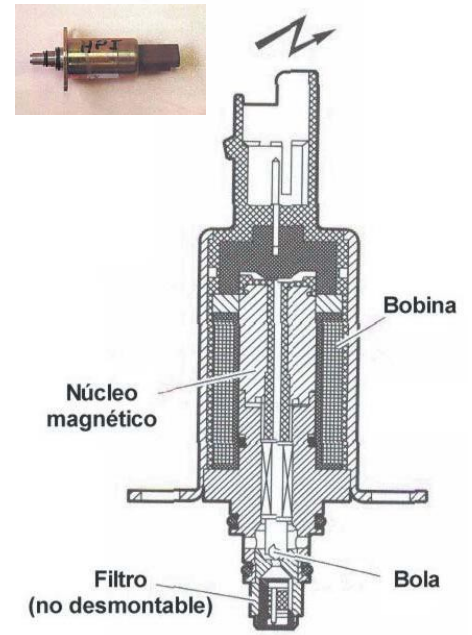
- Alta presión necesaria en la rampa.
- Inicio de inyección.
- Tiempo de inyección.

La presión es controlada por la unidad aplicando una señal de ciclo de trabajo variable sobre el regulador de presión.

La presión viene dada por la fase de funcionamiento así como la temperatura del motor y la intención del conductor.

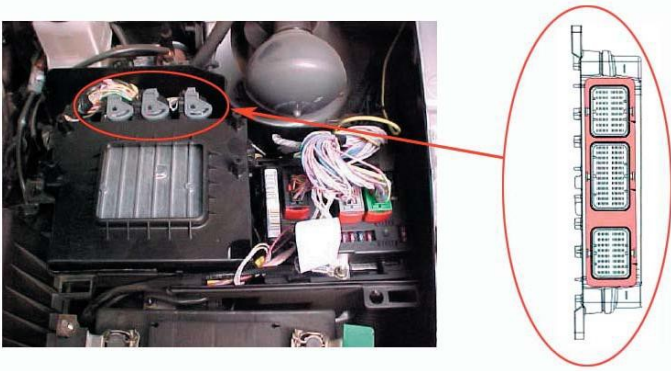
El cuadro nos muestra las distintas posibilidades.

Fases de funcionamiento	Presión de inyección	Modo de funcionamiento
Arranque del motor	5 bares y posteriormente 70	Mezcla homogénea
Motor al ralentí	70 bares	Mezcla pobre ($T^a > 60^{\circ}\text{C}$) Mezcla homogénea ($T^a < 60^{\circ}\text{C}$)
Motor carga parcial	100 bares	Mezcla homogénea
Motor carga total	100 bares	Mezcla pobre



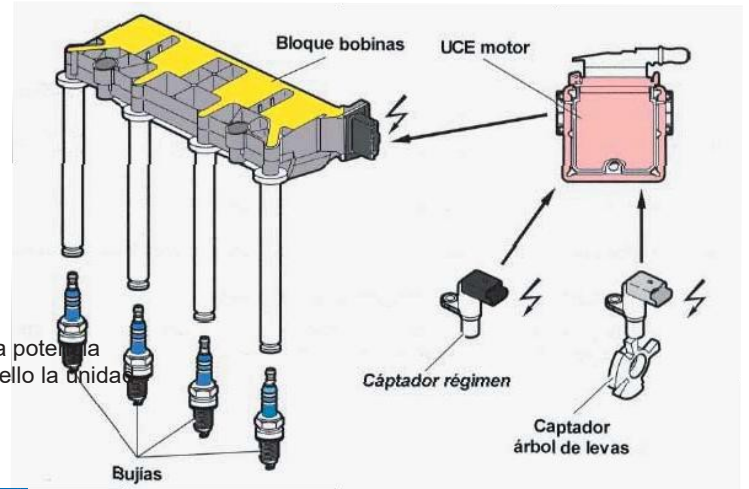
INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

La unidad de control de motor



El sistema de encendido

Si el sistema de encendido es controlado por la unidad de mando de motor, ofrece una potencia diferente en función del tipo de mezcla con el que está trabajando, para ello la unidad modifica el tiempo de carga y la intensidad de la misma.



Modo funcionamiento motor	Corriente primaria alimentación	Tensión de encendido	Tiempo de carga de las bobinas
Mezcla estratificada pobre	10,5A	Aprox. 80kV	3ms
Mezcla homogénea	6,5A	Aprox. 45kV	5ms

INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

SCC SAAB

El sistema **SCC**, Saab Combustion Control, está concebido, como el resto de sistemas de inyección directa, para reducir el consumo de combustible y las emisiones de escape, Mejorando 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 un 10 % y, al mismo tiempo, las emisiones alcanzan niveles inferiores a los dictados por las normas que entrarán en vigor en 2005.

En comparación con un motor actual 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 %.

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.

Las principales características de funcionamiento son:

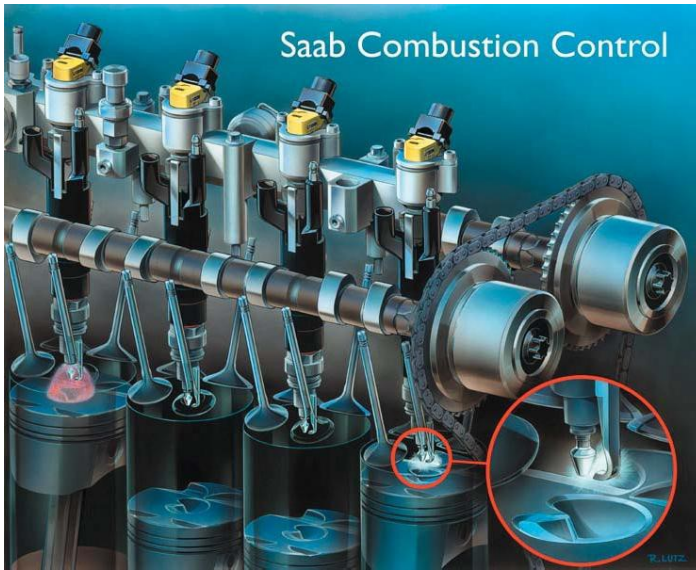
- ▯ Inyección directa de combustible asistido por aire con generador de turbulencia
- ▯ El equipo de inyección y la bujía van integrados en una unidad denominada spark plug injector, SPI.
- ▯ La gasolina se inyecta directamente en el cilindro empujada por aire comprimido.
- ▯ Inmediatamente antes de 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.



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

El sistema **SCC** monta árboles de levas variables para variar de forma progresiva la distribución de las válvulas de admisión y escape. Este procedimiento permite incorporar los gases de escape en el cilindro, con la ayuda de la EGR y aprovechar las ventajas de la inyección directa conservando, con todo, la proporción **lambda 1** en la mayoría de las condiciones de conducción.

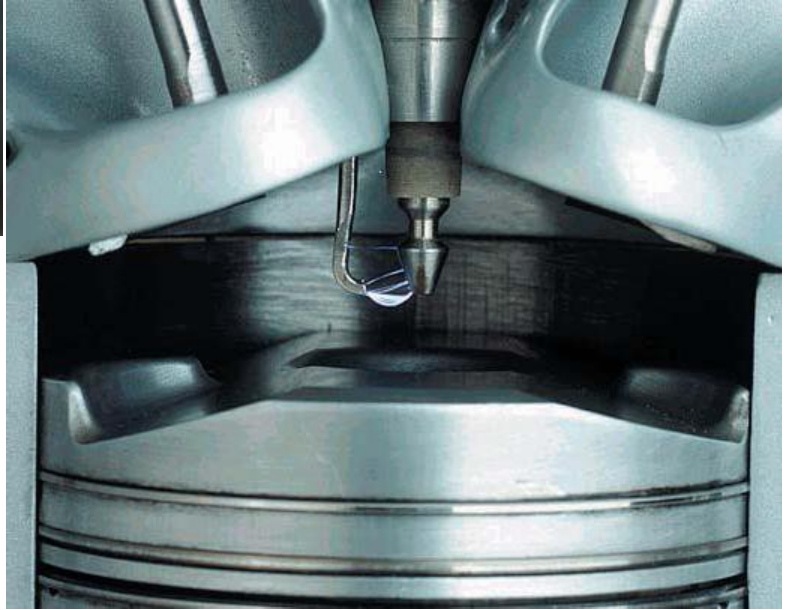
Los gases de escape pueden constituir hasta un 70 % del contenido del cilindro durante la combustión. La proporción exacta depende de las condiciones de conducción.



El Tramo de descarga de la chispa es variable, con una potencia de encendido muy alta.

Éste puede variar de 1 a 3,5 mm, según la circunstancia requerida. Un electrodo, montado en una posición central e integrado en la unidad del inyector y bujía, envía la chispa bien a un electrodo fijo situado a una distancia de 3,5 mm o a una espiga ubicada en el pistón.

Ese hecho constituye, junto a una gran potencia de encendido, una condición indispensable para poder inflamar una mezcla de aire y combustible considerablemente disminuida por la presencia de gases de escape.



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Sistema JTS Grupo FIAT

Este motor de 2 litros con inyección directa cuyo nombre comercial es **JTS**, es decir, Jet Thrust Stoichiometric, es una versión mucho más simplificada del sistema de Mitsubishi, que también aplica PSA, Toyota o Volkswagen.

Aunque puede trabajar con mezcla pobre, sólo es capaz de hacerlo hasta un régimen muy bajo, a unas 1.500 rpm.

En esas condiciones, inyecta el combustible de forma tangencial y un pequeño resalte en el pistón lo dirige hacia la bujía. De esa manera es posible que la mezcla sea rica en esa zona, aunque en conjunto la mezcla sea pobre, lo que se conoce por mezcla estratificada.

La mezcla no tiene una proporción variable en función del régimen y la carga, como ocurre en otros motores de este tipo. O es estequiométrica 14,7 a 1 o tiene una relación de 25 a 1.

Cuando funciona con mezcla estequiométrica, la inyección se produce durante la carrera de admisión, no al final de la compresión, por lo que el resalte del pistón no interviene en la formación de la mezcla, que es homogénea.

Mediante este sistema, se prescinde del inyector de doble funcionamiento que usa Mitsubishi.

Al trabajar con mezcla pobre sólo hasta 1.500 rpm, también puede prescindir de un sistema de depuración de óxidos de nitrógeno y, por tanto, admite el combustible con mucho azufre que es normal en la Unión Europea.

Lo que sí se hace en este sistema es aprovechar la refrigeración que produce evaporar el combustible dentro de la cámara. Eso es lo que hace posible que la relación de compresión sea más bien alta, de 11,3 a 1, ya que cuanto mayor es la relación de compresión, mayor es el rendimiento a cualquier régimen.



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

Sistema IDE de Renault

Este motor, el primero de este tipo diseñado en Europea, denominado **IDEAA** (Inyección directa de gasolina asistida por aire) funciona según el principio de inyección masiva en admisión de los gases de escape reciclados (EGR), con inyección directa y una estrategia única pero muy elaborada de **mezcla homogénea**.

Este sistema, ha sido desarrollada por Siemens bajo el nombre de **Sirius 3H**, y además de reducir el consumo, optimiza los niveles de contaminación y favorece la obtención de mayor par motor.

El sistema de EGR 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, 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 sin el.

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.

La UCE de inyección y 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 rápida.

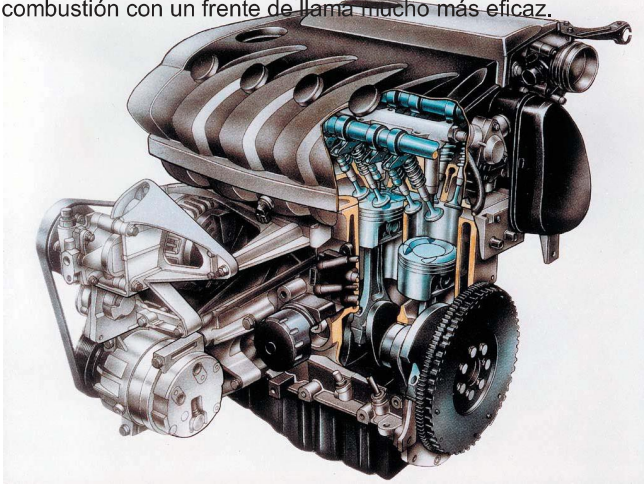
La cámara de combustión dispone de inyector vertical central, bujía lateral y cabeza de pistón en forma de cubeta. Esta disposición posibilita inyectar combustible sin producir condensación en las paredes del cilindro, obtener un volumen de combustión compacto apartado de las paredes del



INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

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, se 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 específica, 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, este motor 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.

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 tipo **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 la UCE 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.

La mayor 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 calientes. La diferencia consiste en que, utilizando una tecnología avanzada de inyección directa y mediante la utilización de una válvula EGR se cumplen a entera satisfacción las normas europeas en esta materia.