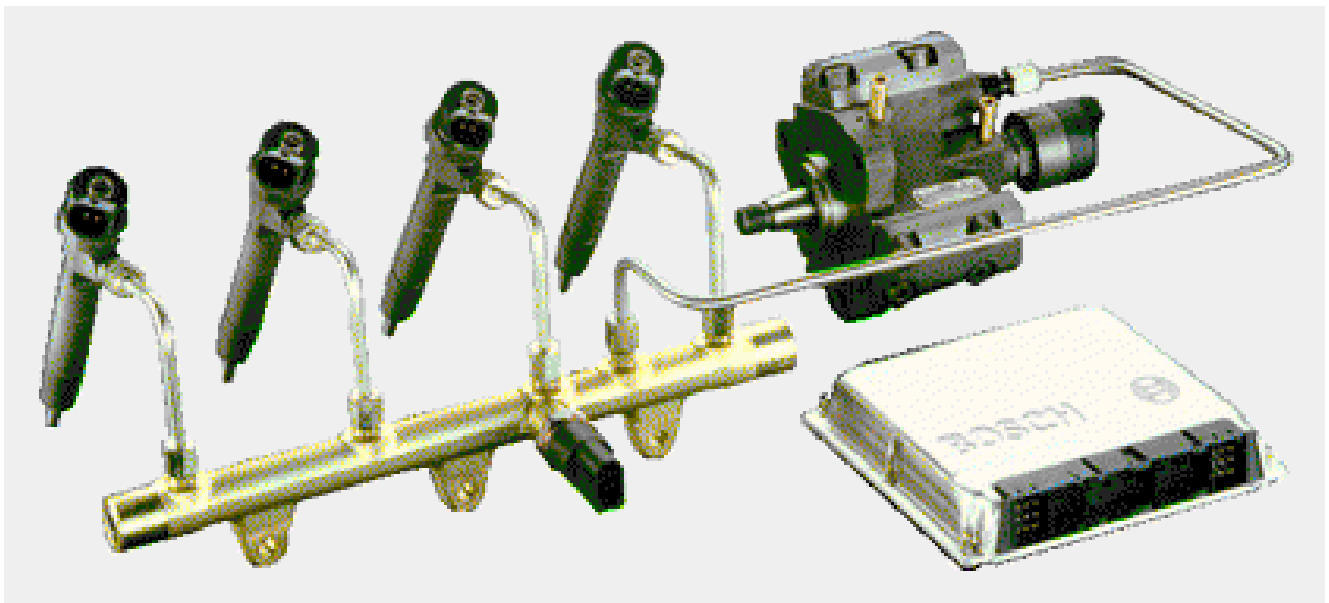


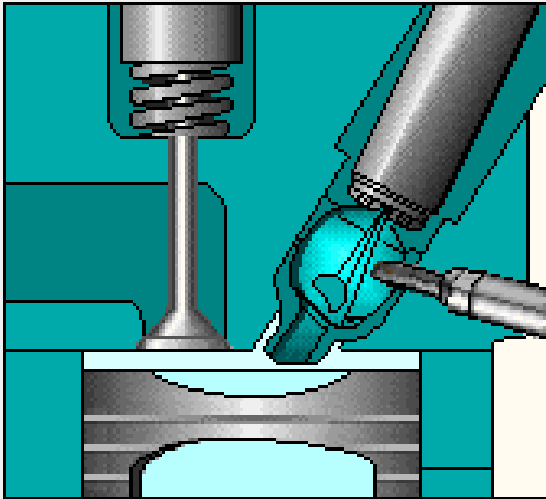
SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DIESEL COMMON RAIL



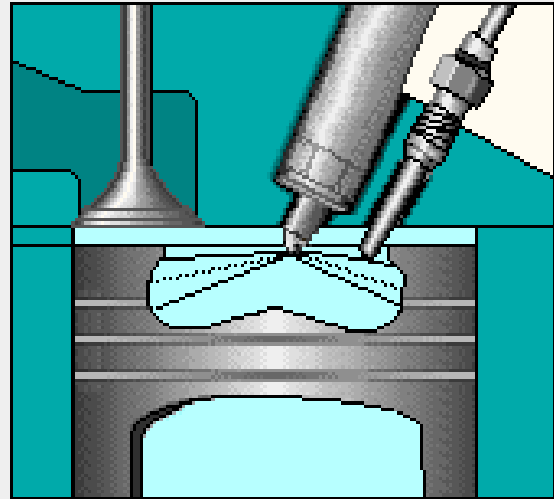
APUNTES DE: Antonio Jesús García Rosa
ELECTROMECAÁNICA DE VEHÍCULOS

Los diferentes tipos de motor diésel de 4 tiempos para vehículos motorizados

A medida de su evolución se fueron desarrollando diferentes tipos de motores. Una diferencia importante consiste en el diseño de la cámara de combustión. En vehículos motorizados se diferencia fundamentalmente entre motores IDI (motores de inyección indirecta) y motores DI (inyección directa)



INYECCIÓN INDIRECTA



INYECCIÓN DIRECTA

Para ambos tipos de motor es especialmente importante que la cantidad de combustible inyectada sea la correcta, en el momento preciso, y con una presión concreta. Tan sólo unas ligeras variaciones provocan una mayor emisión de contaminantes, aumentan el ruido del motor y el consumo de combustible. El proceso de inyección en motores para turismos dura tan sólo una milésima de segundo, inyectándose además una gota de combustible de tamaño diminuto.

INTRODUCCIÓN

El sistema de inyección directa a alta presión es un dispositivo de estructura similar a la de los sistemas de inyección electrónica de gasolina, donde el combustible se hace llegar a una presión elevada hasta una rampa de inyección (de ahí el nombre de COMMON RAIL que significa "rail común") a la que se le acoplan los electroinyectores, que se comandan por la unidad de control para producir la inyección de combustible en el cilindro. Este sistema recoge las exigencias de las normativas actuales en materia de contaminación y propicia una conducción más suave y económica.

Las cada día más estrictas normas anticontaminación determinan que los sistemas de inyección a alta presión estén complementados, con dispositivos de reciclaje de los gases de escape y catalizadores de oxidación, controlados por la misma unidad electrónica que gestiona el sistema de inyección.

La alta presión a la que se produce la inyección, que puede llegar a 1.350 bares en alto régimen, favorece enormemente la pulverización del combustible que se vierte sobre la cámara formada en la cabeza del pistón (inyección directa), lo que supone una notable mejora del proceso de combustión. Por otra parte, la inyección se produce en dos fases: una preinyección para reducir el ruido del motor y una inyección principal.

Historia del *common-rail*

El primer prototipo de este sistema de inyección fue creado por **Robert Huber** a finales de los años 70, profundizando en ello posteriormente Marco Raen, del Instituto Federal de Tecnología de Suiza y el Ganser-Hydromag AG hasta mediados de los años 90.

Así, el primer vehículo de producción con sistema *common-rail* fue el camión **Hino Rising Ranger**, producido por DENSO en Japón en 1995.



El Alfa Romeo 156, el primer turismo en incorporar *common-rail* en su motor diésel. Sin embargo, el desarrollo del *common-rail* con sistema de control electrónico fue desarrollado por Magneti Marelli, Elasis y FIAT, proyecto al que se unió en su fase final Bosch. Ello propició que en 1997 se lanzara al mercado el primer turismo con esta tecnología: el **Alfa Romeo 156 2.4 JTD**.

Este sistema inicial fue denominado Unijet, al que le siguieron posteriormente tecnologías *common-rail* más avanzadas denominadas **Multijet** y Multijet II, que permiten etapas de inyección optimizadas y hasta cinco y ocho preinyecciones respectivamente.

Actualmente, todos los fabricantes de **motores diésel** hacen uso de esta tecnología mediante denominaciones personalizadas, todas ellas basadas en el concepto *common-rail* original de FIAT.

Motores con sistema Common Rail:

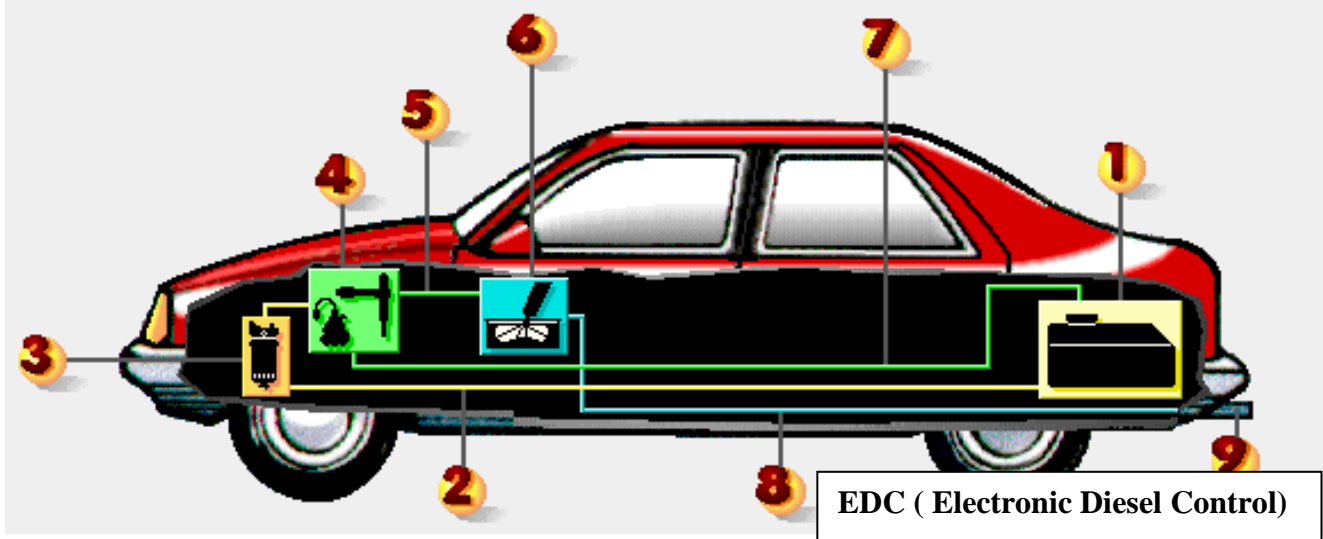
- XDi (SsangYong)
- VCDi (Chevrolet)
- TiD, TTiD (Saab)
- TDI (Volkswagen, Audi, Skoda, Seat)
- TDCi (Ford)
- TD4, TDV6, TDV8 (Land Rover)
- JTD (Fiat, Alfa Romeo, Lancia)
- i-CTDi (Honda)
- HDi, e-HDi, BlueHDi (Citroën, Peugeot)

Motores con sistema Common Rail (continuación):

- DI-D (Mitsubishi)
- DDiS (Suzuki)
- dCi (Nissan, Renault)
- D3, D4 and D5 (Volvo)
- D-4D (Toyota)
- CRDi (Hyundai, KIA)
- CRD (Chrysler, Jeep)
- CiTD (Mazda)
- CDTi (Opel, Vauxhall)
- CDI (Mercedes-Benz)

El recorrido del combustible en un vehículo diesel

Para poder inyectar el **combustible** en la **cámara de combustión** debe llevarse primeramente desde el depósito hacia el **motor** y lo que sucede una vez quemado el combustible y expulsados los gases por las válvulas de escape puede verlo a continuación. Aquí pueden ver una representación esquematizada por dónde circula el combustible en un vehículo con **motor diesel**.



1.- Depósito. En algunas versiones lleva incorporado una *bomba de combustible* de baja presión.

2.- Tuberías (baja presión). Las tuberías entre el depósito, filtro de combustible y el sistema de inyección conectan entre sí los componentes de baja presión.

3.- Filtro de combustible. El filtro de combustible sirve para depurar el gasoil y así evitar el deterioro del sistema de inyección con las impurezas que pudiera contener.

4.- Sistema de inyección. El sistema de inyección genera la alta presión necesaria para la inyección y además distribuye el combustible hacia los cilindros del motor. Está compuesto por la *bomba de alta presión* y el *rail común*.

5.- Tuberías (alta presión). El combustible del sistema de inyección se encuentra bajo alta presión. Por ello, las tuberías en la parte de alta presión situadas entre el sistema de inyección y el motor deben ser especialmente resistentes.

6.- Inyector. El inyector forma parte del sistema de alta presión y llega a penetrar hasta la cámara de combustión. Su función consiste en pulverizar el combustible muy finamente para llegar a quemarlo bien con el aire caliente.

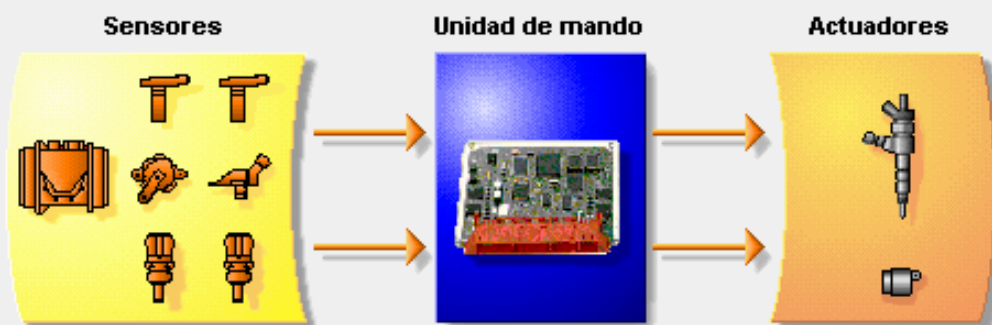
7.- Tuberías (retorno). El combustible sobrante es devuelto por el sistema de inyección hacia el depósito.

8.- Conducto de escape. Los gases salen del cilindro por las válvulas de escape hacia el colector y el conducto de escape. En algunos motores (motores con turbo) se emplean los gases de escape para sobrealimentarlos, o sea, para accionar el *turbocompresor* que comprime el aire que entra por las válvulas de admisión.

9.- Tubo de escape. Es la salida directa de los gases quemados hacia el exterior.

Sinopsis de la regulación diesel

Incluso con sofisticados dispositivos de adaptación, la regulación diesel mecánica no logró satisfacer las exigencias actuales. La solución a ello se consiguió empleando moderna electrónica que permite la medición de magnitudes físicas, la memorización y el procesamiento de datos. En el gráfico se muestra la representación esquematizada de la regulación diesel electrónica.



Diseño y principio de funcionamiento del sistema Common Rail.

Los componentes básicos del sistema de conducto común son los siguientes:

- Rail común
- bomba de inyección de combustible
- inyectores (accionados piezométricamente o electromagnéticamente)

Diseño y principio de funcionamiento del sistema Common Rail (continuación).

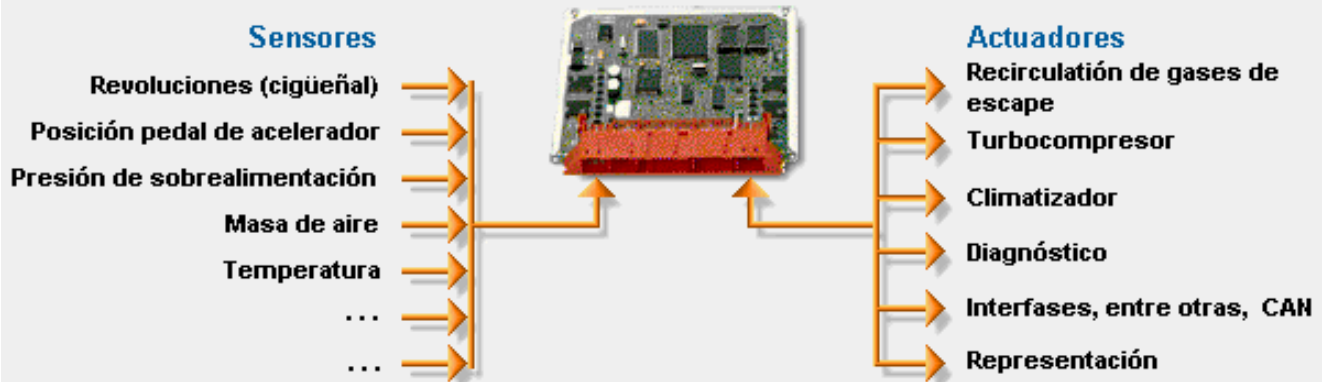
El gasoil se envía del depósito a la bomba de inyección de combustible gracias a la bomba de suministro previo (bomba de baja presión), en la bomba de inyección de combustible es comprimido hasta alcanzar los valores especificados por la unidad de control. El gasoil comprimido se entrega al rail común que actúa a modo de acumulador de alta presión y controla la entrega de combustible a cada inyector. Estos últimos inyectan directamente el combustible en la cámara de combustión. Las tuberías de combustible especiales conectan las salidas de los inyectores de combustible y los inyectores. El diseño de conducto común también incluye válvulas, reguladores y sensores que permiten a la UCE reunir toda la información necesaria para ejecutar las órdenes necesarias mediante la medición de diversos parámetros.

Ventajas de los motores con sistema de conducto común

- bajo nivel de ruido
- consumo de combustible reducido
- bajo nivel de emisión de gases contaminantes

Unidad de mando del motor, sensores y actuadores

El corazón de la EDC es la **unidad de mando del motor (MSG)**. Ésta interviene en diferentes procesos del motor, entre otros en la inyección y el sistema de precalentamiento. Para ello, es necesario medir con sensores muchas magnitudes físicas. Éstos transforman una magnitud física en una señal eléctrica como, p. ej., la temperatura del motor en una tensión eléctrica. La MSG recibe estas señales, las evalúa y computa las órdenes para los actuadores. Para realizar este cómputo se encuentran almacenados muchos datos en la MSG. Los actuadores ejecutan estas órdenes, como, p. ej., la variación de la cantidad de inyección, o la conexión de los calentadores.



Procesado de las magnitudes medidas y cálculo de las magnitudes de ajuste: unidad de mando

La unidad de mando recibe y evalúa las señales eléctricas de los sensores. En base a ellas calcula la cantidad y el punto de inyección de combustible para los diferentes regímenes del **motor**. Los campos característicos están guardados en una memoria electrónica. Los cálculos los realiza un microprocesador. La unidad de mando tiene que procesar simultáneamente diferentes procesos de regulación y de control.

Unidad de mando



- Regulación de la cantidad al arranque
- Régimen de marcha
- Regulación del ralentí
- Regulación de uniformidad de giro
- Regulación de la cantidad límite
- Amortiguación activa contra sacudidas
- Detención
- Funcionamiento de emergencia
- Supervisión

Transmisión de las órdenes al vehículo: actuadores

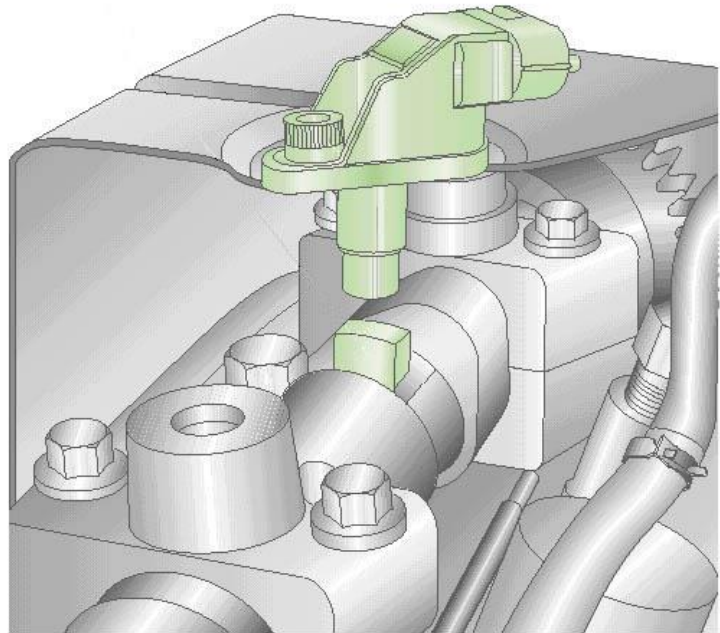
Los actuadores son los elementos encargados de conseguir la cantidad y el punto de inyección calculados por la unidad de mando. En Common Rail los actuadores corresponden a la válvula reguladora de **presión** y a los inyectores. Con la válvula reguladora de presión se fija la presión necesaria en el Rail y con los inyectores la cantidad de **combustible** correcta.



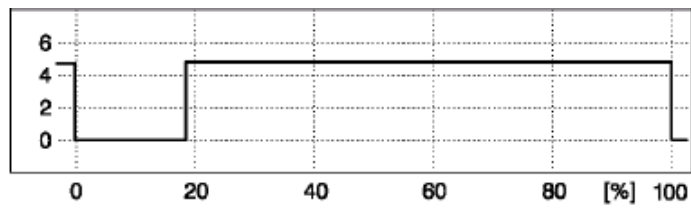
SENSORES

Sensor de posición de árbol de levas

El sensor de posición de árbol de levas transmite a la unidad de mando la señal que detecta en el árbol de levas cada vez que el cilindro 1 se encuentra en la fase de compresión. Regularmente se aplican sensores Hall.

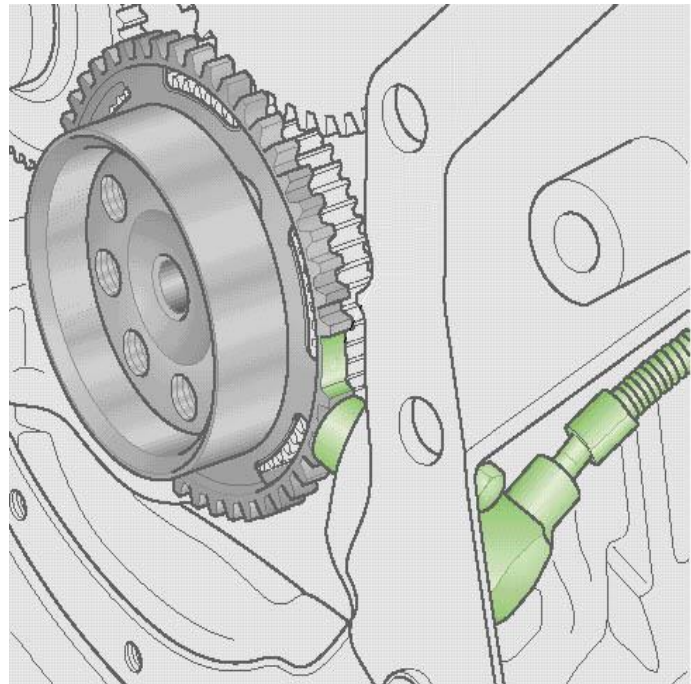


Señal del sensor



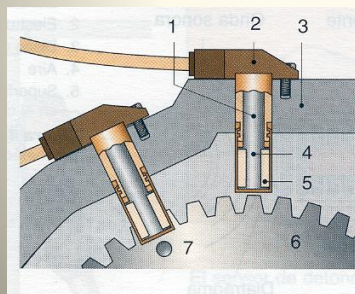
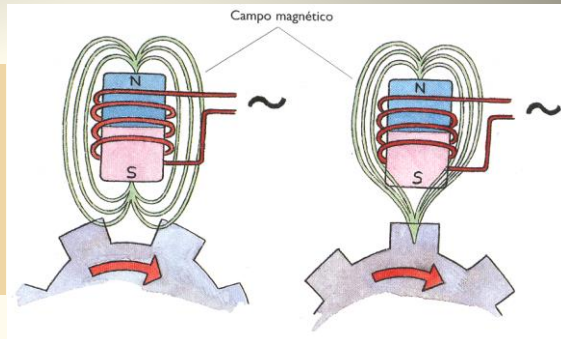
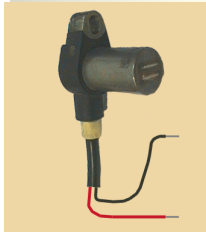
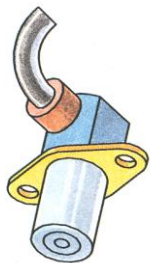
Sensor de revoluciones

El sensor de revoluciones transmite las señales detectadas en el cigüeñal a la unidad de mando para calcular el número revoluciones del motor. Generalmente se aplican sensores inductivos.



GENERADOR DE IMPULSOS INDUCTIVO

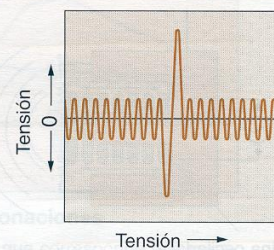
TRANSMISOR DE RÉGIMEN



Transmisores de régimen (derecha) y de referencia angular (izquierda)

1. Imán permanente
2. Cuerpo
3. Bloque del motor
4. Núcleo de hierro dulce
5. Devanado
6. Corona dentada del volante de inercia
7. Marca de referencia

Curva de la tensión de inducción



Video explicativo Sensor Revoluciones Inductivo:

https://www.youtube.com/watch?v=2iPgH_x3OD8

Sensor de flujo de aire (CAUDALÍMETRO)

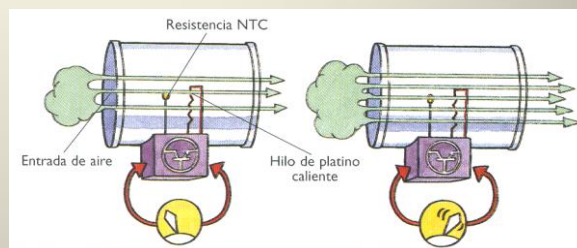
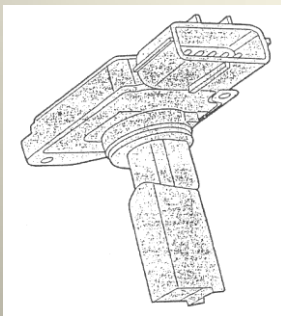
Sonda de la masa de aire

La sonda de la masa de aire va montada entre el filtro de aire y el turbocompresor para medir la masa de aire succionada por el motor. Se utilizan sondas de hilo incandescente o por película caliente.

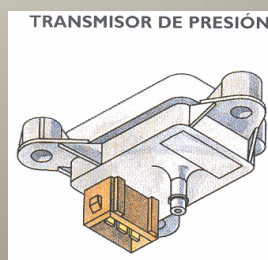
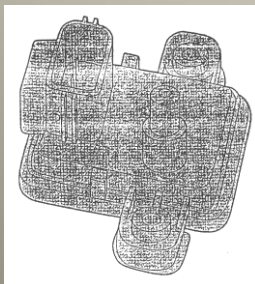
Los **primeros caudalímetros**, aproximadamente hasta los años 80 o 90, podríamos definirlos como de tipo mecánico, ya que tenían una especie de **mariposa que era empujada por el aire que entraba, estando su eje conectado a un potenciómetro** que variaba su resistencia eléctrica en función de la cantidad de aire que entraba. El problema de estos caudalímetros es que, además de ser un tanto voluminosos, no solían arrojar valores muy fiables, además de ser propensos a fallar con más frecuencia debido a sus partes móviles.

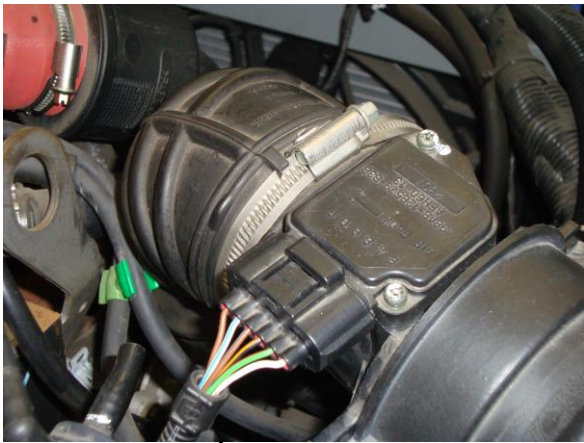
Actualmente nos encontramos el llamado **caudalímetro por hilo caliente**, el cual también integra un termómetro para conocer la temperatura del aire de admisión, pero su secreto radica en un **filamento conductor que varía su resistencia eléctrica en función de la temperatura a la que se encuentre**, magnitud que depende directamente del flujo másico de aire (si entra más aire del exterior se enfriará dicho filamento, y viceversa). Sin embargo, esas variaciones de resistencia eléctrica son extremadamente pequeñas, por lo que se recurre a un puente de Wheatstone, que no es más que una construcción formada por cuatro resistencias eléctricas y que permite detectar esas pequeñísimas variaciones.

SENSOR DE FLUJO DE AIRE(MAF)



SENSOR DE PRESIÓN ABSOLUTA EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN(MAP)





CAUDALÍMETRO



Sensor de la presión de sobrealimentación

El sensor de la presión de sobrealimentación detecta la presión absoluta en el colector de admisión. Para la medición de la presión se utilizan sensores piezoeléctricos.

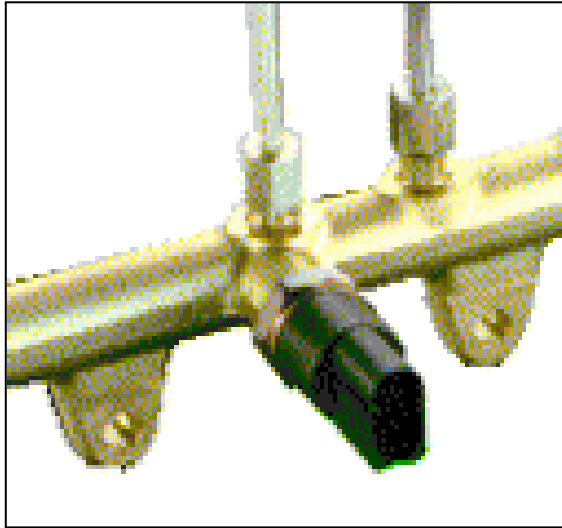


SENSOR DE PRESIÓN ABSOLUTA EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN(MAP)

Sensor de Presión Absoluta en el colector de admisión (Sensor Presión Sobrealimentación)

Sensor de presión en el Rail (RDS)

El sensor de presión mide la **presión** en el Rail y transmite este valor al EDC. El sensor suministra el valor de medición necesario para la regulación de presión en el sistema Common Rail. Para garantizar una presión constante en el acumulador de alta presión se utiliza un sensor de alta precisión que va montado directamente en el acumulador de alta presión.



Sensor



El sensor de presión Rail trabaja según el siguiente principio:
La resistencia eléctrica de las capas aplicadas sobre la membrana, varía si cambia su forma. Este cambio de forma (aprox. 1mm a 1500 bar) que se establece por la

presión del sistema, origina una variación de la resistencia eléctrica y genera un cambio de tensión en el puente de resistencia abastecido con 5 V. Esta tensión es del orden de 0... 70 mV (conforme a la presión existente) y es amplificada por el circuito evaluador hasta un margen de 0,5..... 4,5 V. La medición exacta de la presión en el Rail es imprescindible para el funcionamiento del sistema. Por este motivo son también muy pequeñas las tolerancias admisibles para el sensor de presión en la medición de presión. La precisión de la medición en el margen de servicio principal es de aprox. $\pm 2\%$ del valor final. En caso de fallar el sensor de presión del Rail, se activa la válvula reguladora de presión con una función de emergencia "a ciegas" mediante valores preestablecidos.

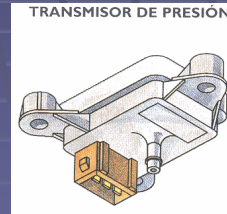
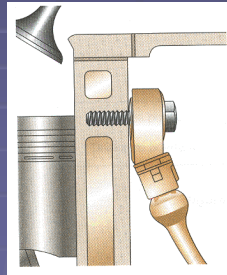
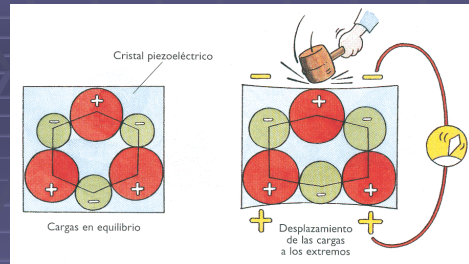


Sensor de picado



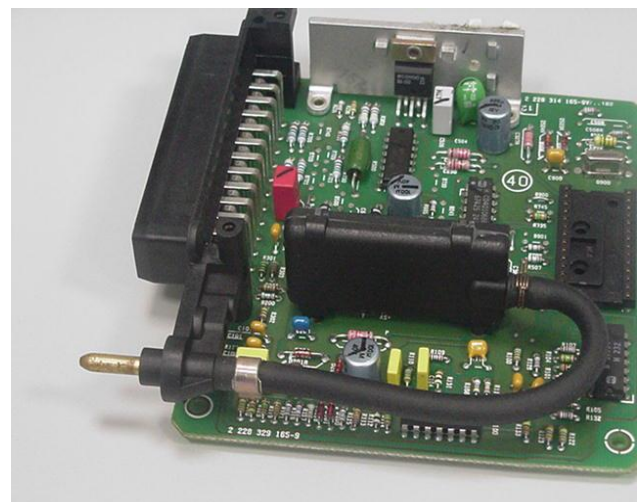
Va montado en el lateral del bloque motor y controla que la autoregulación que la unidad de control realiza sobre el avance de inyección no provoque picado de biela. Si se produce, al ser un sensor piezoeléctrico, emite una señal que avisa a la UCE para que ajuste nuevamente el avance de inyección y no provoque el picado.

SENSOR PIEZOELECTRICO



Sensor de Altitud

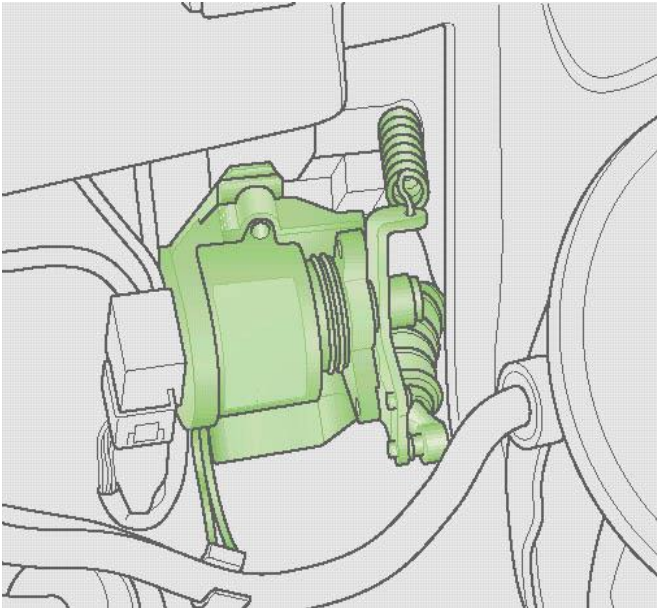
Este sensor es localizado dentro del módulo de mando electrónico de inyección o en alguna parte del compartimento del motor, e indica la altitud para la unidad de control electrónico. Permite ajustar la mezcla en relación a la altitud, debido a que a mayor altitud menor cantidad de oxígeno existe en la atmósfera. Realmente este sensor no mide la altitud sino presión atmosférica, a través de un sensor piezoeléctrico, teniendo en cuenta que a mayor altitud la presión atmosférica es menor.



Sensor posición de acelerador

El sensor de posición de acelerador está localizado en el pedal de acelerador. A través de la señal del sensor, la unidad de control electrónico reconoce la posición de acelerador.

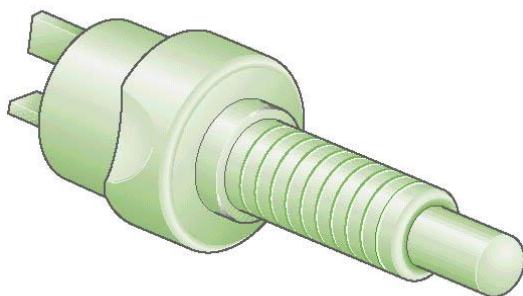
Está formado por un potenciómetro o resistencia variable con tres pistas, para dar mayor fiabilidad de funcionamiento.



Sensor o pulsador de pedal de frenos

El pulsador está dispuesto detrás del pedal e informa a la UCE del uso de los frenos. También sirve para el accionamiento de las luces traseras de frenos.

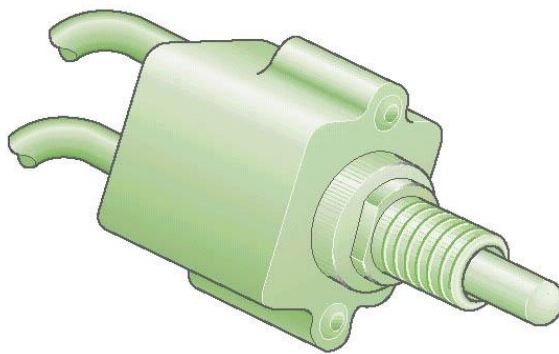
En los vehículos con sistemas de control de tracción, se usa este pulsador para desactivar el sistema y dar prioridad al funcionamiento del ABS.



Sensor o pulsador de pedal de embrague

El pulsador pedal del embrague está localizado en el pedal de accionamiento e informa a la UCE cuando el pedal de embrague es accionado. Cuando se acciona frenos o embrague, la unidad de control rebaja la inyección, ya que en estos momentos no se está pidiendo potencia. De esta forma, se economiza combustible.

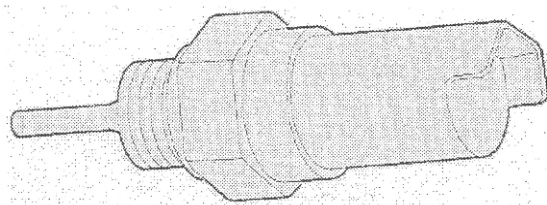
El pulsador del pedal de embrague y el pulsador del pedal de frenos pueden estar montados en una única pieza soporte.



Sensor de temperatura del aire

Este sensor detecta la temperatura del aire succionado por el motor. Para la medición de temperatura se utilizan casi exclusivamente resistencias eléctricas de valor variable con la temperatura.

Suele utilizarse una resistencia NTC que se instala normalmente a la salida del Intercooler, en el tramo de aspiración antes del motor.



Sensor de temperatura del refrigerante

Con este sensor se detecta la temperatura del refrigerante, o sea la temperatura del motor. Para la medición de temperatura se utilizan casi exclusivamente resistencias eléctricas de valor variable con la temperatura.

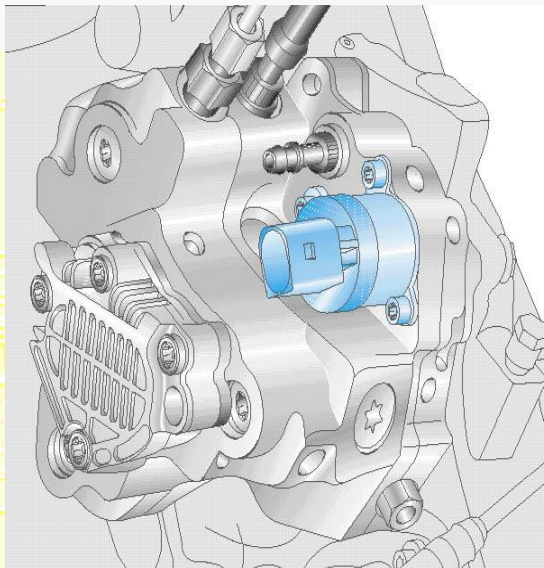
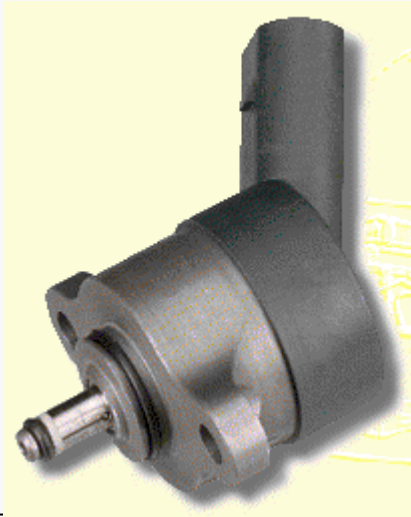
ACTUADORES

Válvula reguladora de presión (DRV)

La válvula reguladora de presión es activada por el EDC con el fin de conseguir la **presión** requerida en el acumulador de alta presión. Es por lo tanto el componente que actúa como regulador de presión del sistema Common Rail. Existen dos variantes bases para montajes diferentes: La válvula reguladora de presión directamente montada en la bomba de alta presión, aunque puede acoplarse también al acumulador de alta presión.

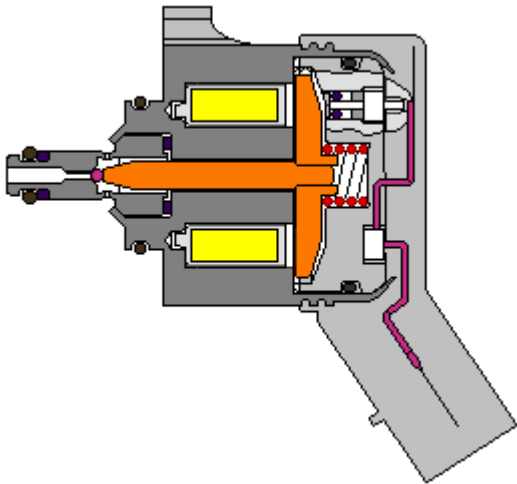
Función.

La misión de la válvula reguladora de presión (DRV) es mantener constante la presión en el acumulador de alta presión (Rail) de acuerdo al régimen del motor. Si la presión en el Rail es demasiado elevada se abre la DRV y se retorna combustible hacia el depósito. Si la presión en el Rail es demasiado baja se cierra la DRV y la bomba de alta presión puede generar la presión en el Rail.



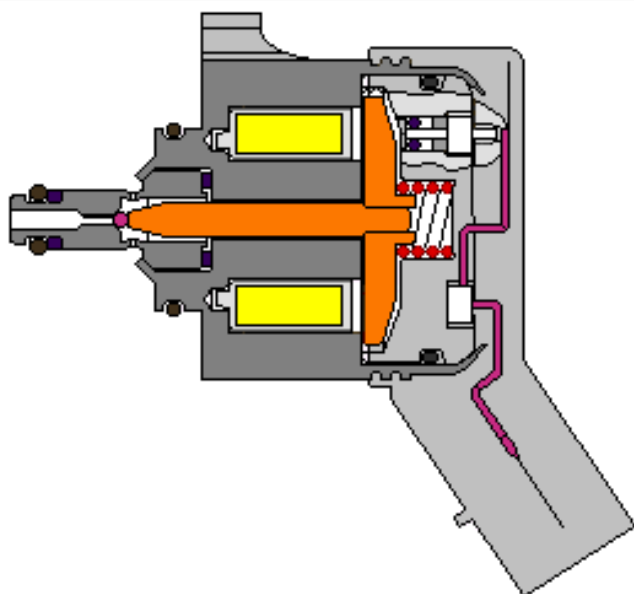
Construcción.

La válvula reguladora de presión (DRV) se compone de un núcleo, un electroimán y una válvula. Un resorte empuja la bola de la válvula contra su asiento en la entrada de alta presión. El electroimán puede ejercer además una fuerza adicional contra la bola a través de su núcleo. Un anillo de apoyo con una junta toroidal obtura la válvula reguladora de presión en el punto de conexión a la bomba de alta presión.



Funcionamiento.

La presión reinante en el acumulador ejerce una fuerza sobre la bola de la válvula. Esta fuerza es opuesta a la suma de las fuerzas que el resorte y el electroimán ejercen. La fuerza de aplicación del electroimán depende de la intensidad de excitación. Ello permite ajustar la presión en el acumulador de alta presión variando la intensidad. La intensidad se varía con pulsos (modulación de la anchura de pulso). La variación de la intensidad de excitación del electroimán permite ajustar una presión específica en el acumulador. El resorte está dimensionado de manera que la fuerza máxima ejercida corresponda a una presión de 100 bares. Gracias a la fuerza del resorte se anulan las variaciones de presión de alta frecuencia.



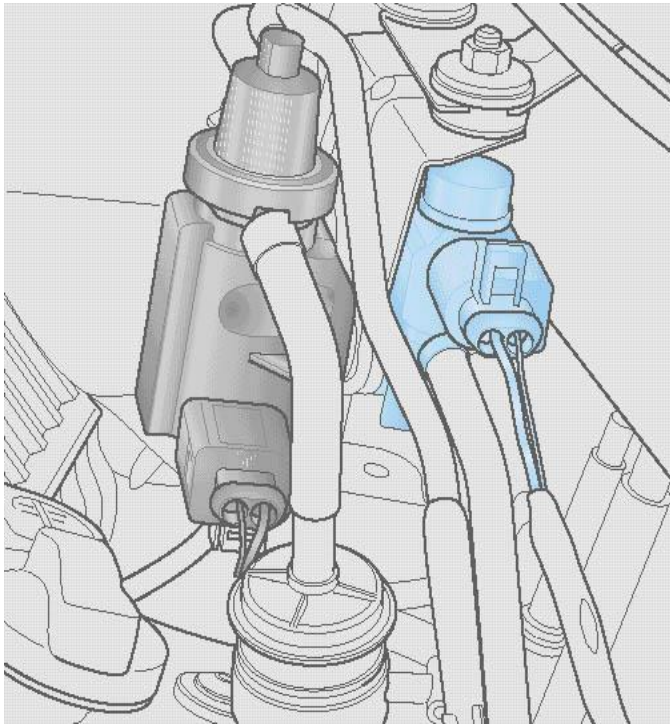
Válvula electromagnética de control de presión de carga (Vehículos con Turbo de Geometría Variable)

La válvula electromagnética de control de presión de carga es montada en conjunto con una válvula electro-neumática y con la válvula de la mariposa del tubo de admisión del motor.

Esta válvula es controlada a través del módulo de inyección.

Su función es abrir o cerrar el control de vacío que hace actuar al mecanismo del turbo de geometría variable.

La presión de carga es controlada través del módulo de inyección.



Válvula de accionamiento de la mariposa del tubo de admisión

La válvula de accionamiento de la mariposa del tubo de admisión ajusta el vacío en el actuador de la mariposa.

La mariposa evita que el motor continúe tomando aire por la admisión en el instante de ser parado.

La mariposa se cierra durante 2/3 segundos e interrumpe la admisión de aire cuando el motor se está parando. Con ello se consigue una parada menos brusca reduciendo vibraciones.

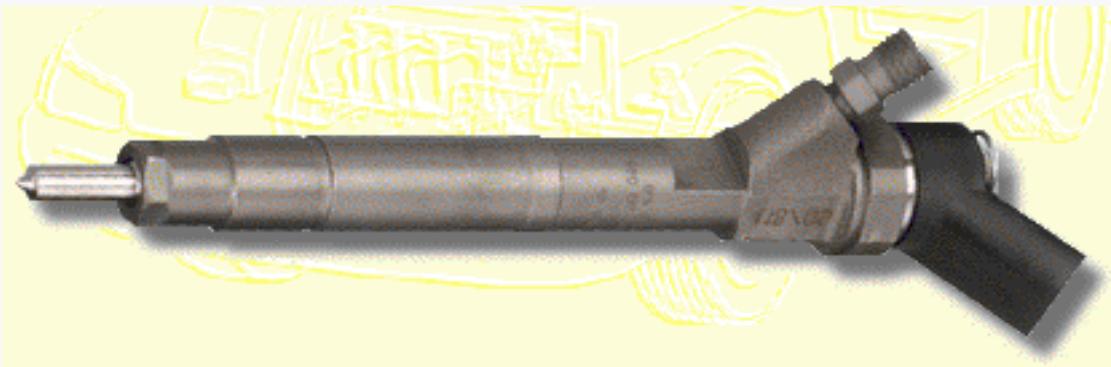


Inyector

El inyector pulveriza el **combustible** en la **cámara de combustión**. El EDC determina la dosificación y el punto de inyección, y activa el electroimán del inyector. Al abrirse la válvula por el electroimán se inyecta combustible en la cámara de combustión con la **presión** reinante en el acumulador de alta presión.

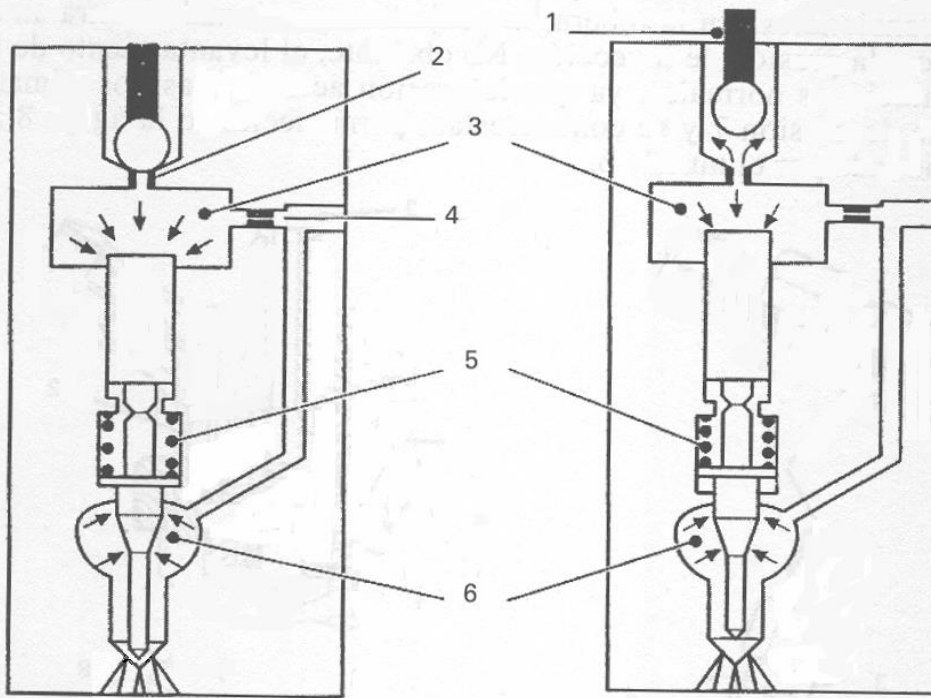
Función.

La función del inyector es pulverizar el combustible en la cantidad exacta y en el momento adecuado en la cámara de combustión. El EDC se encarga de activar al inyector.



INYECTOR. Funcionamiento.

Las presiones de combustible puestas en juego en los sistemas de inyección Common Rail no permiten el mando eléctrico directo de los inyectores, ya que ni la potencia de la electroválvula ni su velocidad de conmutación son suficientes. La apertura de estos se realiza, por tanto, por un efecto de presión diferencial, que se logra en los momentos adecuados por fuga del combustible de la cámara de mando. En la siguiente figura se muestra esquemáticamente y en detalle la constitución del inyector, en el que se forman la *cámara de mando* 3 y la *cámara de presión* 6, ambas comunicadas por el *conducto calibrado* 4 con la rampa de inyección, la cual está sometida a la presión de inyección, variable en función de las condiciones de funcionamiento del motor.



Con la *electroválvula de mando* 1 cerrada (detalle de la izquierda), la presión en la *cámara de mando* 3 es del mismo valor que la actuante en la *cámara de presión* 6, ejerciendo esfuerzos iguales y opuestos sobre la aguja del inyector, que permanece aplicada sobre su asiento por la fuerza del *muelle* 5. Cuando la unidad electrónica de control activa la *electroválvula* 1, se produce el desplazamiento hacia arriba de su vástago, con lo cual, la alta presión reinante en la cámara empuja la bola de la válvula 1, abriendo el *conducto calibrado* 2, que permite una fuga del combustible de la cámara de mando hacia el retorno. Con ello, la presión cae en esta cámara, dado que es mayor el diámetro del orificio de fuga 2 que el de alimentación 4, mientras que en la cámara de presión 6 se mantiene el valor de presión. La diferencia de presiones que actúan sobre la aguja del inyector en estas nuevas condiciones provoca el levantamiento de la misma con el que se obtiene la inyección del combustible en el cilindro.

La inyección de combustible dura tanto tiempo como la electroválvula de mando esté accionada. Al finalizar el impulso eléctrico, el muelle de la electroválvula empuja al vástago, que se aplica contra la bola y ésta cierra el conducto de fuga 2. En estas condiciones, la presión sube de nuevo en la cámara de mando y se iguala a la de la cámara de presión del inyector con lo cual, se produce el cierre de la tobera y finaliza la inyección.

La alimentación eléctrica de la electroválvula se produce en dos fases: En la primera se le aplica una tensión aproximada de 80 V (fase de activación), estableciéndose una corriente de 20 A durante 0,3 milisegundos aproximadamente, con lo cual se provoca una subida rápida de la aguja. En la segunda fase se aplica una tensión de 50 V (fase de mantenimiento), con la que se logra una corriente de 12 A, suficiente para mantener activada la electroválvula, limitando así la potencia eléctrica absorbida.



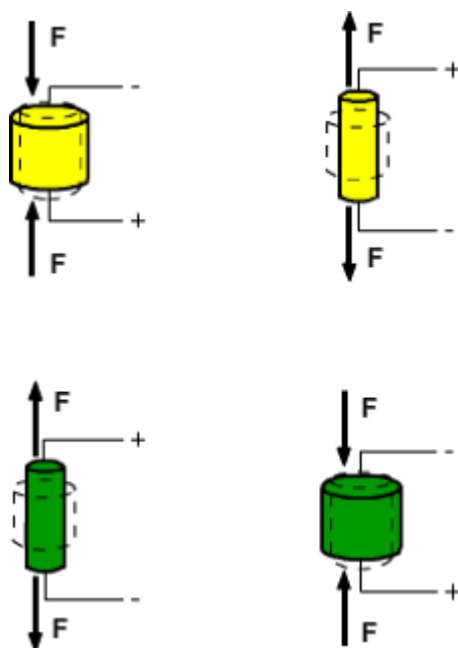
FUNCIONAMIENTO Y CONTROL INYECTOR PIEZOELECTRICO

¿Cómo es el principio de funcionamiento piezoeléctrico?

El principio de funcionamiento del inyector está basado en el efecto **piezoeléctrico inverso**. Dicho efecto consiste en aplicar tensión eléctrica a un conjunto de placas cristalinas, elemento piezoeléctrico -cuarzo o turmalina-, provocando de esta manera una dilatación del mismo. Al dilatarse se inicia el proceso hidráulico dentro del inyector.



Se pueden encontrar dos tipos de principios:



Principio piezoeléctrico

Si se comprime el cristal -cuarzo o turmalina-, se observa o genera una tensión en sus límites.

Si el material se estira se tendrá una tensión de sentido inverso.

Este tipo de principio se puede encontrar, por ejemplo, en los sensores de presión.

Principio piezoeléctrico inverso

Si se aplica una tensión polarizada al cristal -cuarzo o turmalina-, se produce un estiramiento del mismo.

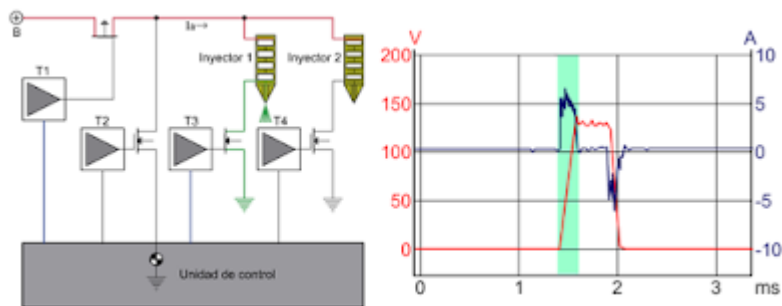
Si la tensión aplicada sobre el material es de sentido inverso, se produce una compresión del cristal.

Al aplicar una tensión, las placas cristalinas realizan un recorrido de 0,03 mm. El actuador piezoeléctrico es excitado por la unidad de mando con una tensión continua de 70 a 140 Voltios en función del sistema y se inicia el proceso hidráulico dentro del inyector.

¿Cómo funciona un inyector piezoeléctrico?

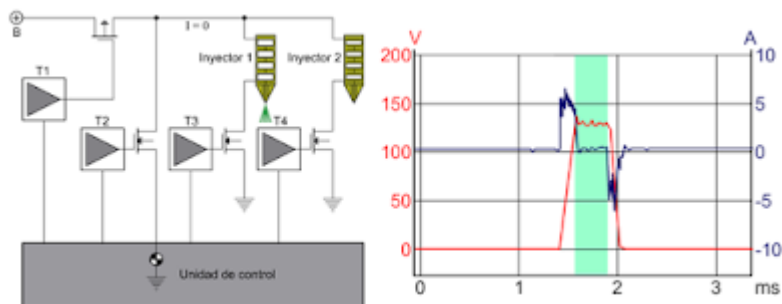
Inyector cerrado – Inicio de inyección

Al no recibir excitación, el actuador piezoeléctrico se encuentra en estado de reposo y el inyector cerrado. Para iniciar la inyección, la unidad alimenta el actuador con positivo y negativo. Al recibir tensión y por efecto piezoeléctrico inverso, el actuador se dilata y abre el inyector.



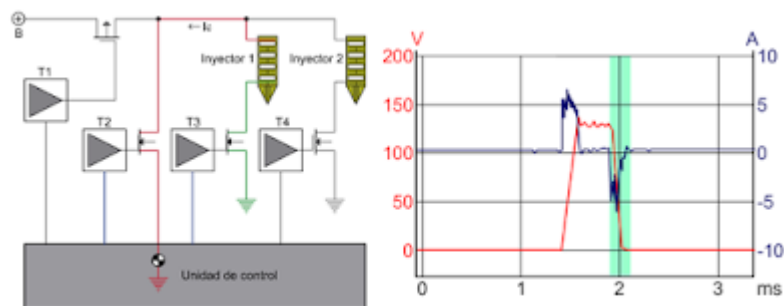
Inyector abierto - Inyección

Una vez abierto, deja de ser excitado. El actuador funciona como un condensador, reteniendo la carga eléctrica, permaneciendo dilatado y el inyector abierto. **Por este motivo no se debe desconectar un inyector piezoeléctrico con el motor en marcha, puesto que puede quedarse abierto produciendo graves daños en el motor.**



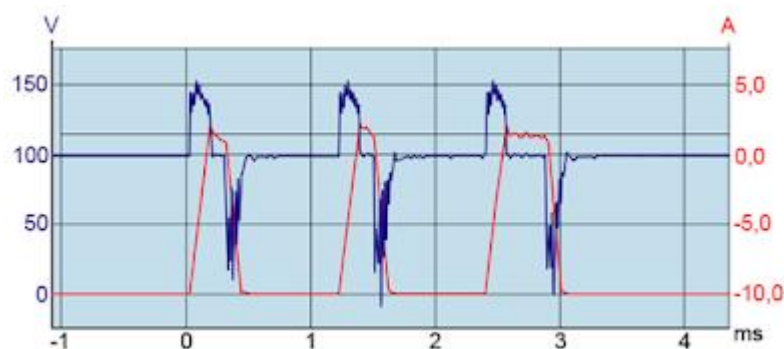
Inyector cerrado – Final de la inyección

Para cerrar el inyector la unidad actúa como un consumidor, descargando la tensión acumulada en el actuador.



**Al realizar la descarga la intensidad se invierte como se puede observar en la gráfica. Una vez descargado el actuador, el elemento piezoeléctrico recupera su posición de reposo, cerrando el inyector.*

Con los inyectores piezoeléctricos es posible controlar de una forma más flexible y exacta las fases y cantidades de inyección. De esta forma se adapta el desarrollo del ciclo de la inyección a las exigencias que plantean las diferentes condiciones operativas del motor y se alcanzan las exigentes normas antipolución.



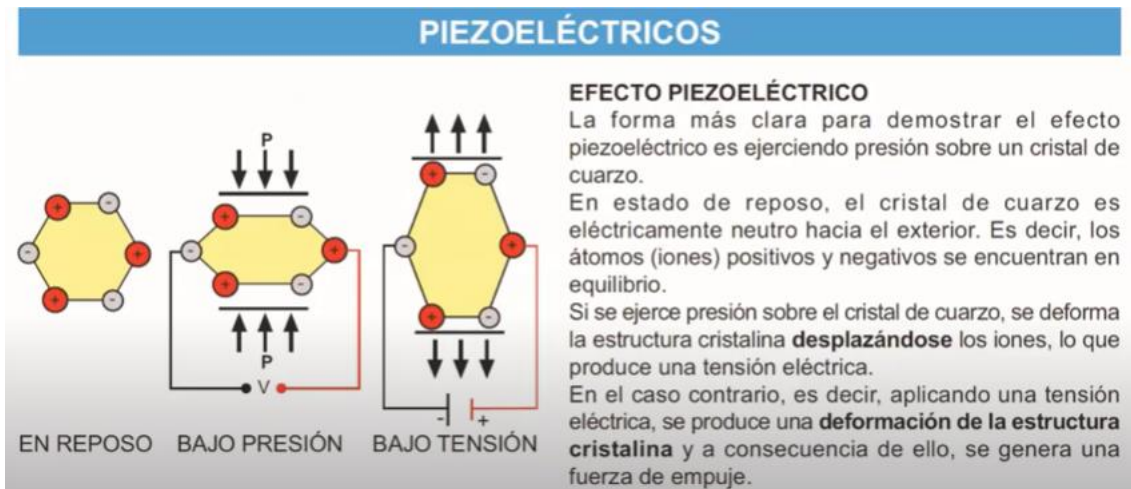
¿Qué ventajas tiene un inyector piezoeléctrico?

- Presión de inyección alta, de hasta 2000 bar.
- Los tiempos de conmutación muy cortos (sólo de 0,2 milisegundos como máximo).
- Son posibles varias inyecciones en cada ciclo de trabajo
- Cantidades de inyección exactamente dosificables.

¿Qué inconvenientes tiene un inyector piezoeléctrico?

- En caso de fallo del actuador piezoeléctrico, se puede quedar abierto el inyector provocando una avería grave de motor.
- Ruidos internos del inyector por elevada concentración de temperatura del actuador piezoeléctrico.
- Imposible su manipulación cuando está en funcionamiento.

En la actualidad, los fabricantes optan por equipar en sus sistemas de inyección inyector electromagnéticos (con bobina), debido a los problemas que están teniendo al ser más delicados y no rendir completamente al 100%.



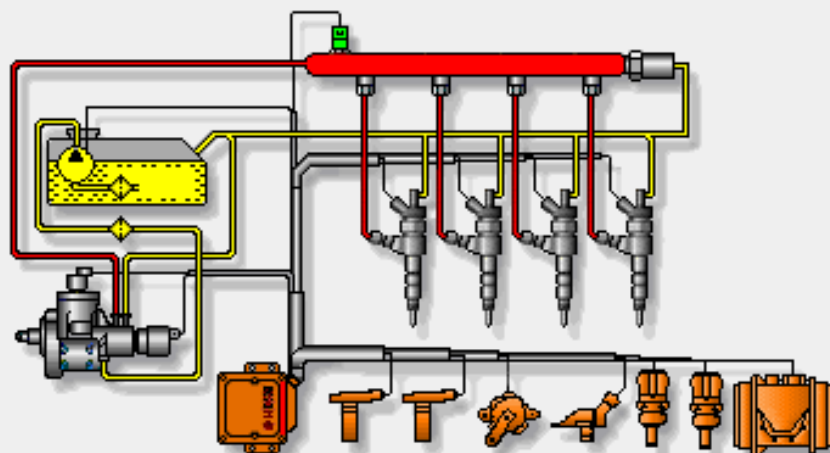
Video explicativo Inyector Piezoeléctrico:

<https://www.youtube.com/watch?v=VTfQo1KgNpI>

Los subsistemas de Common Rail

En Common Rail pueden diferenciarse tres subsistemas fundamentales:

- Circuito de baja presión
- Circuito de alta presión
- Unidad de mando con sensores



Circuito de baja presión.

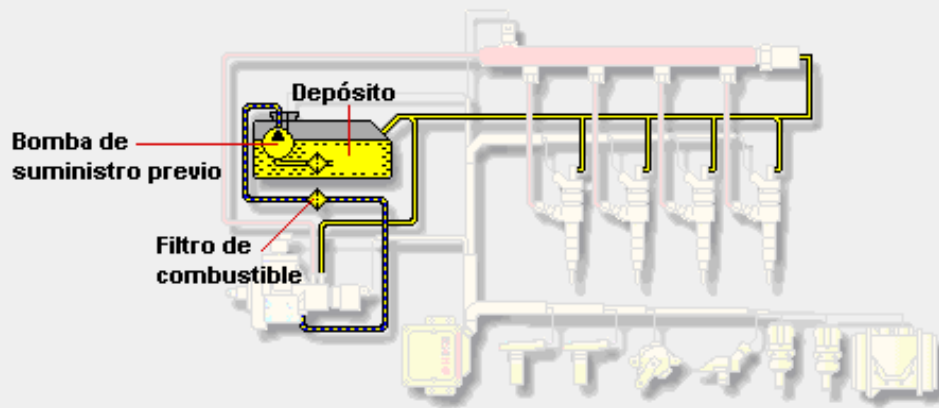
El circuito de baja presión se compone de:

- Depósito
- Bomba de suministro previo
- Filtro de combustible
- Tuberías de conexión

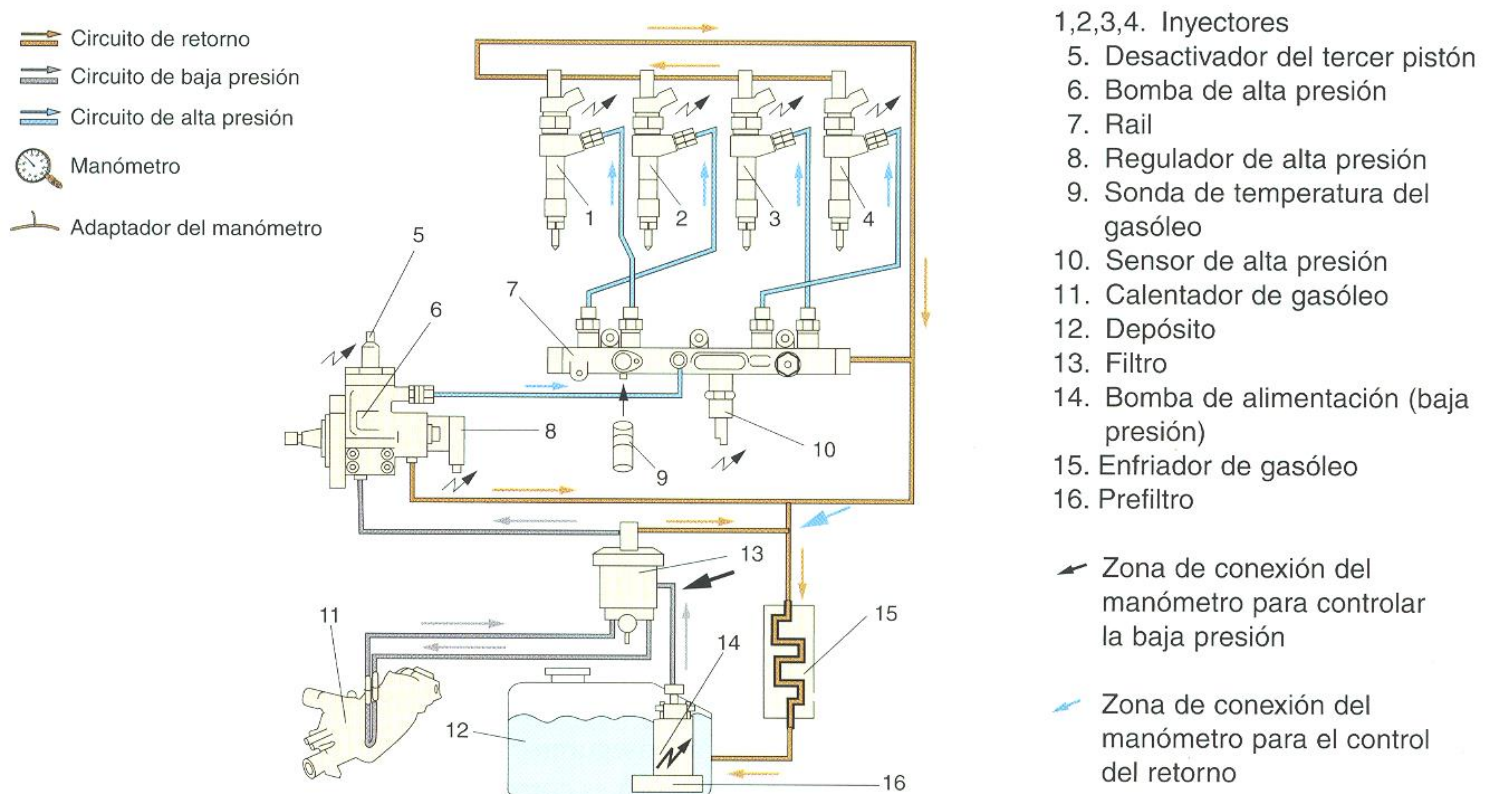
La misión del circuito de baja presión es transportar el combustible hacia el circuito de alta presión.

Circuito de baja presión: transporte de combustible del depósito

En el circuito de baja presión se transporta el **combustible** desde el depósito hacia el **motor**. Una bomba de suministro previo dotada de un filtro succiona el combustible del depósito y lo transporta por las tuberías hacia el circuito de alta presión. Un filtro depura el combustible para evitar el desgaste prematuro de los componentes de precisión.



Circuito de baja y alta presión con calentador de combustible y enfriador de sobrante.



Circuito de alta presión.

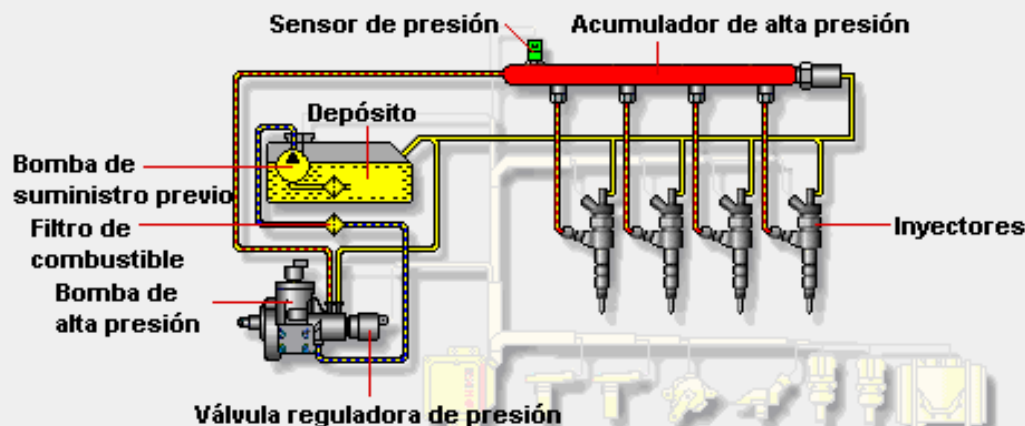
El circuito de alta presión se compone de:

- Bomba de alta presión con válvula reguladora de presión
- Acumulador de alta presión (“Rail”) con sensor de presión
- Inyectores
- Tuberías de alta presión

La misión del circuito de alta presión es generar una alta presión constante en el acumulador de alta presión, y la inyección del combustible en el cilindro.

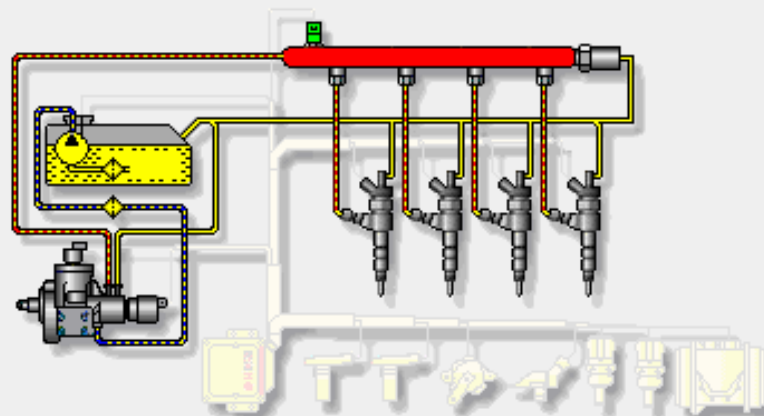
Circuito de alta presión (1): generación y acumulación de alta presión

El **combustible** pasa por el filtro de combustible a la bomba de alta presión. Ésta comprime el combustible a 1350 bar y lo envía al acumulador de alta presión ("Rail"). El combustible precisado para la inyección se va tomando del acumulador de alta presión, en el cual se mantiene a una **presión** constante debido al efecto de acumulación conseguido por la elasticidad del sistema. Adicionalmente se ocupa una válvula reguladora de mantener la presión en el Rail dentro del margen preestablecido.



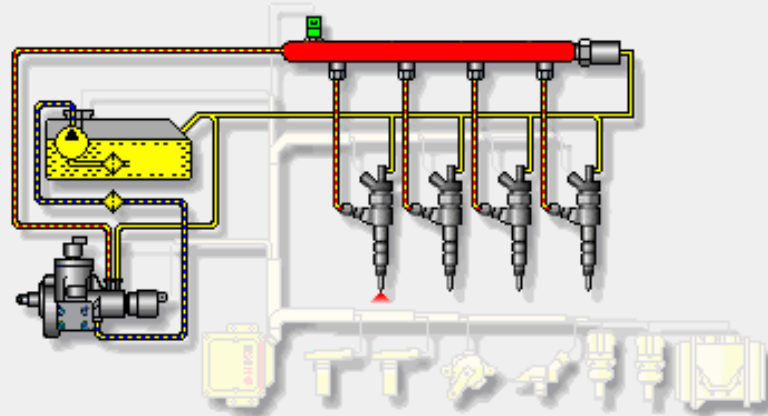
Circuito de alta presión (2): regulación de la presión en el Rail

La válvula reguladora de presión es activada por la unidad de mando. Al abrirse, el combustible regresa al depósito por las tuberías de retorno, y la **presión** en el Rail desciende. Para que la unidad de mando pueda activar la válvula reguladora de presión correctamente, se mide primero la presión en el Rail con un sensor de presión.



Circuito de alta presión (3): inyección de combustible

El proceso de inyección se realiza con el **combustible** que llega a alta **presión** del Rail a los inyectores. El combustible es inyectado directamente en cada cilindro con el inyector correspondiente. Éste incorpora una válvula magnética que puede activarse por la unidad de mando. Durante el tiempo en que la válvula permanece abierta viene inyectado sin interrupción el combustible en la **cámara de combustión** del **cilindro**.



Resumamos:

- **Common Rail** es denominado sistema de inyección con acumulador, por que el **combustible** a inyectar se toma del acumulador de alta presión ("Rail"). La **presión** máxima reinante es de 1350 bar.
- Los subsistemas básicos del Common Rail son: circuito de baja presión, circuito de alta presión, unidad de mando con sensores.
- El combustible es depurado por el filtro situado en el circuito de baja presión antes de ser transportado hacia el circuito de alta presión.
- En el circuito de alta presión es comprimido el combustible a una presión máxima de 1350 bar. Dicha presión es mantenida constantemente en el Rail hasta el momento de su inyección.
- La unidad de mando controla y supervisa todo el **sistema de inyección**. La unidad de mando calcula todos los parámetros necesarios para el proceso de inyección en base a las señales de los sensores, y controla los componentes del circuito de alta presión (válvula reguladora de presión, inyectores).

COMPONENTES DEL SISTEMA COMMON RAIL

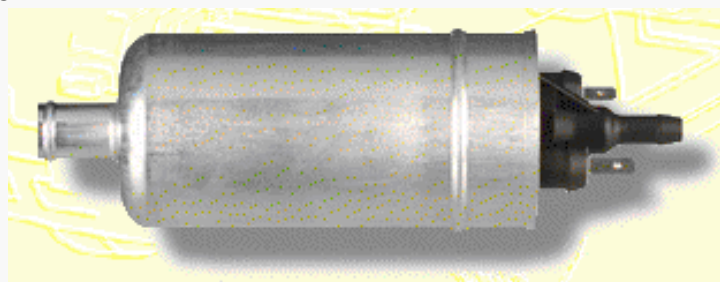
Aparte de los sensores y actuadores, el sistema consta de elementos muy importantes que se estudian a continuación:

Bomba de suministro previo

La bomba de suministro previo transporta el **combustible** desde el depósito hasta la bomba de alta presión del sistema Common Rail. Existen varios modelos y diferentes lugares de montaje.

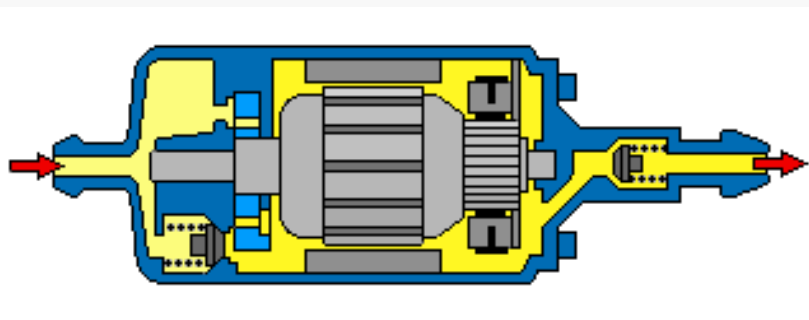
Función.

La bomba de suministro previo tiene la misión de transportar el combustible desde el depósito hasta la bomba de alta presión. En el sistema Common Rail se utiliza generalmente una electrobomba de combustible. Existen modelos para un montaje dentro del depósito y otras para intercalarlas entre las tuberías del depósito y el filtro de combustible. Al desconectar la bomba se interrumpe el suministro de combustible, por lo que el motor se detiene.



Construcción.

La electrobomba de combustible se compone de un electromotor y de una unidad de aspiración (bomba de rodillos). Se utiliza para aspirar el combustible del depósito. La electrobomba va refrigerada por el propio combustible. A través de una válvula de retroceso se impulsa el combustible hacia el lado de presión.



Funcionamiento.

La bomba de rodillos es accionada por un electromotor. El rotor, apoyado excéntricamente, lleva unas ranuras en las que se alojan unos rodillos guiados. El combustible penetra por una abertura en el lado de admisión y pasa hacia la cámara entre la placa base y el rodillo. Al ser los rodillos presionados contra la placa base por efecto de la rotación (fuerza centrífuga) y la presión del combustible, éste es impulsado hacia la boca de salida del lado de presión.



Bomba de alta presión

La bomba de alta presión comprime el combustible a la **presión** necesaria para la inyección. Está ubicada en el compartimento del motor, generalmente en el mismo lugar que ocupaba hasta entonces la bomba de inyección rotativa convencional. En esta fase el combustible pasa de la bomba de alta presión al acumulador de alta presión (Rail).

Función.

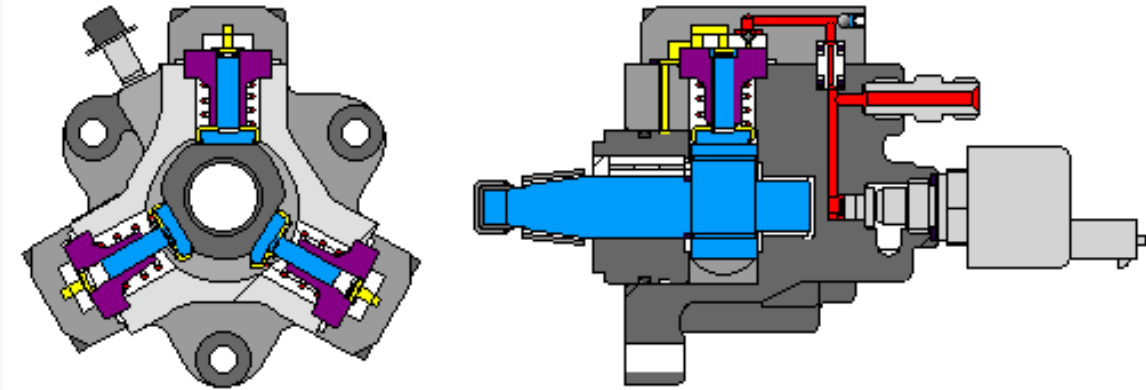
La bomba de alta presión tiene la misión de:

- Generar la alta presión necesaria para la inyección
- Suministrar un caudal de combustible suficiente para todos los regímenes del motor.



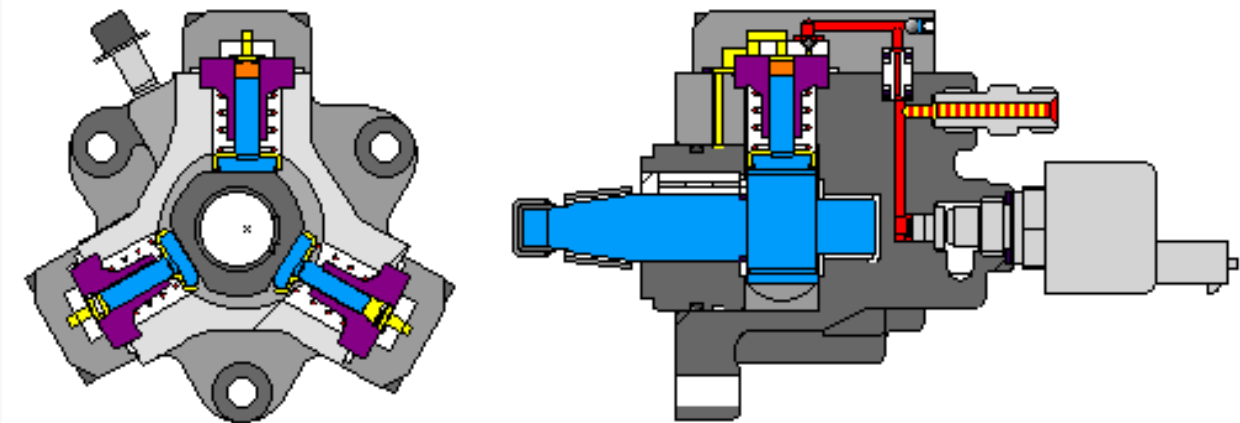
Construcción.

El eje de accionamiento de la bomba de alta presión es accionado por el motor a través de un acoplamiento, rueda dentada, cadena o correa dentada girando a la mitad de las revoluciones del motor. La bomba se lubrica y refrigera por el combustible. El combustible es impulsado por la bomba de suministro previo a través de una válvula de seguridad hacia el interior de la bomba de alta presión.

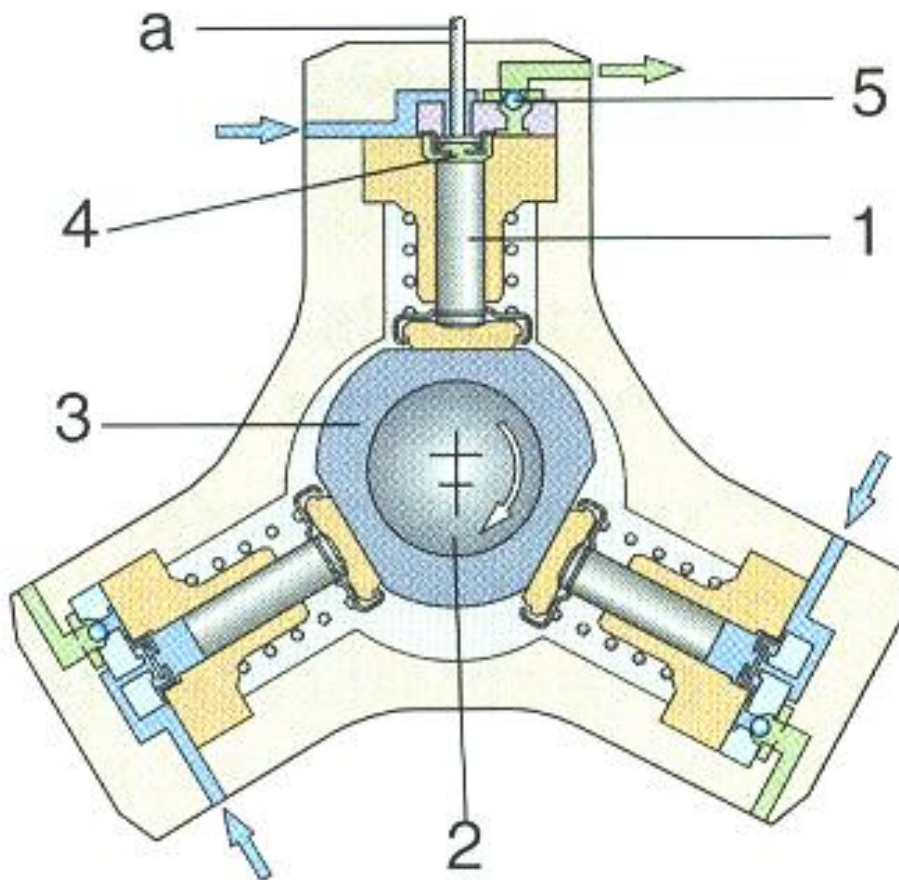


Funcionamiento.

Al igualarse la presión en la cámara del elemento con la presión del acumulador de alta presión se abre la válvula de salida y se impulsa el combustible hacia el Rail (carrera de impulsión). Tras alcanzar el punto muerto superior se cierra la válvula de salida a causa de la caída de presión y se vuelve a repetir el proceso.



Funcionamiento (continuación)



- Entrada de combustible
- Salida a alta presión

a. Desactivador del tercer pistón

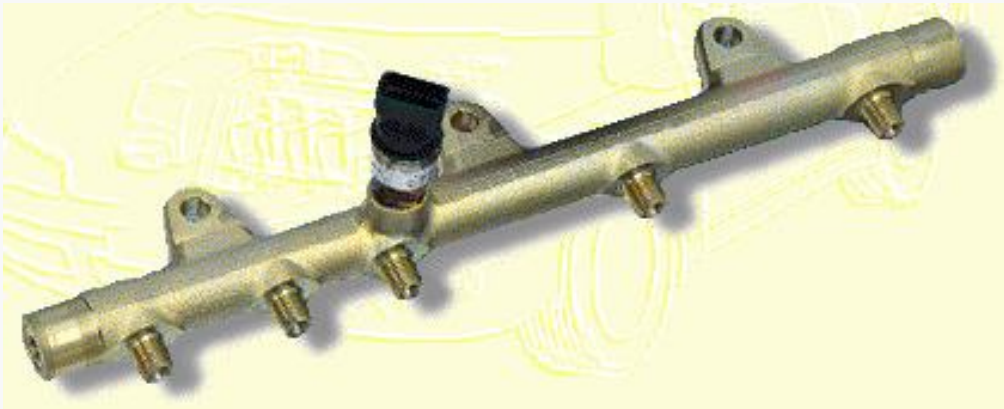
Acumulador de alta presión (Rail)

El nombre del sistema Common Rail proviene en parte del acumulador de alta presión (Rail). En el acumulador de alta presión está almacenado siempre el **combustible** necesario para la inyección a una **presión** de hasta 1350 bar, por lo cual se puede utilizar en cualquier momento. Algunos componentes de Common Rail van montados directamente en el acumulador de alta presión.

Función.

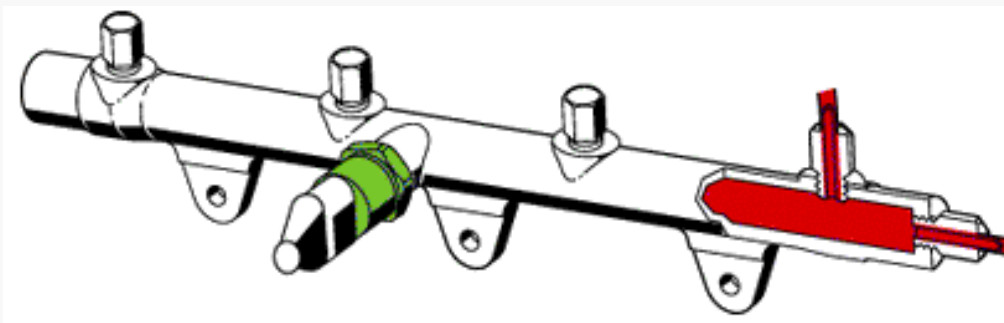
La misión del acumulador de alta presión (Rail) es:

- Almacenar combustible
- Evitar variaciones en la presión (por disponer de un volumen suficiente).



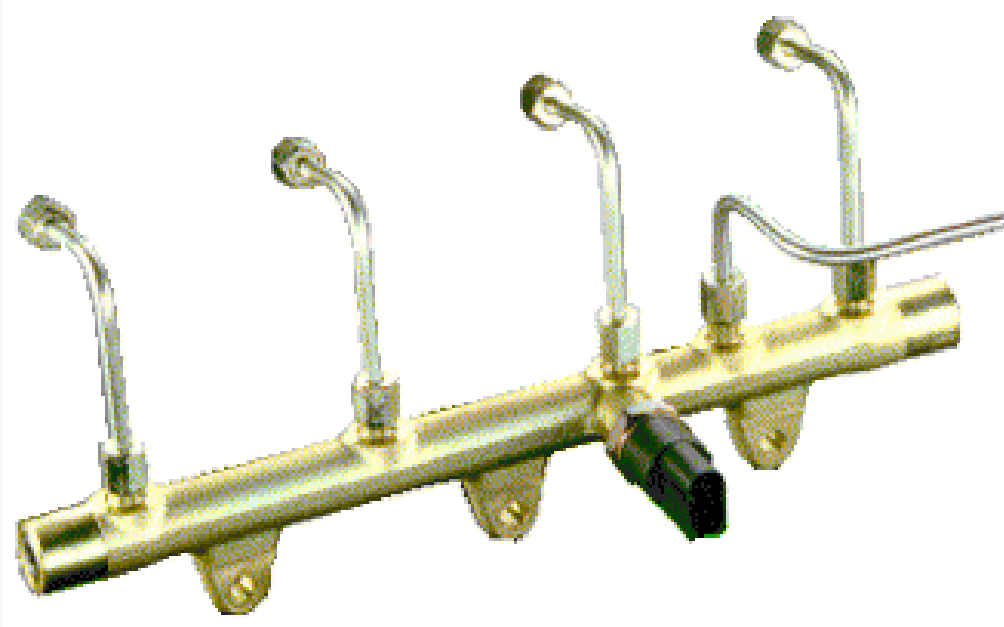
Construcción.

El acumulador de alta presión es un tubo de hierro forjado. Dependiendo del motor en que vaya montado posee un diámetro interior de aprox. 10mm y una longitud entre 280 y 600mm. Para evitar variaciones de presión es deseable que su volumen sea lo mayor posible. Sin embargo, para que el arranque del motor sea rápido, es beneficioso que el volumen sea pequeño. Para el volumen es válido por lo tanto: "Lo más pequeño posible, y tan grande como sea necesario".



Funcionamiento.

El combustible que sale de la bomba de alta presión accede por una tubería al acumulador de alta presión. Para cada cilindro existe una conexión al acumulador de alta presión (en la foto se muestra un Rail para 4 cilindros). El Rail lleva además unas conexiones para el sensor de presión en el Rail y dependiendo de la versión del fabricante, para la válvula reguladora de presión y sensor de temperatura del gasoil.



ESTRATEGIAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD ELECTRÓNICA DE CONTROL (UCE)

La unidad electrónica de control (UCE) asegura la gestión del sistema y su programa incluye las funciones de control de la inyección, las estrategias de suavidad de conducción, la función antiarranque y la diagnosis, con memorización de los defectos que se produzcan. También comanda el funcionamiento de los electroinyectores, la caja de precalentado, la desactivación del tercer pistón y el regulador de presión. Para realizar estas funciones, la UCE dispone de varias cartografías memorizadas que intervienen en el cálculo de la cantidad de combustible que debe inyectarse en cada situación.

El funcionamiento del sistema de inyección directa a alta presión se produce en varias fases. Cuando el motor gira a regímenes bajos (ralentí, por ejemplo) la presión de inyección se regula a un nivel bajo para controlar con precisión un caudal de inyección pequeño, que es el adecuado a estas condiciones de funcionamiento. Sin embargo, cuando se requiere una gran potencia del motor, en los altos regímenes, el tiempo disponible para abrir los inyectores es menor, lo que implica que la presión del combustible haya de ser alta para obtener el importante caudal requerido para estas condiciones de funcionamiento. A partir de la información de régimen motor se regula el valor de la alta presión para que el volumen de combustible inyectado sea suficiente en cualquier condición de marcha. Este aspecto está grabado en una memoria específica de la UCE (cartografía de presión).

Por su concepción, el sistema de inyección directa a alta presión goza de tres grados de libertad: la presión de inyección, que puede ser modificada actuando sobre la válvula reguladora, el caudal de combustible, que se modifica actuando sobre el tiempo de apertura del inyector, y el inicio de la inyección, que se determina principalmente a partir de las señales del régimen de giro y la carga del motor, teniendo en cuenta también la señal de fase (captador posición árbol de levas). Corrigiendo convenientemente estos tres parámetros se consigue adecuar la inyección a las necesidades del motor en cualquier circunstancia de funcionamiento.

La cantidad de combustible que debe inyectarse en cada instante se calcula a partir de las señales básicas de posición del pedal del acelerador, régimen motor, temperaturas del motor y del gasóleo, presión de alimentación y caudal de aire admitido. En función de estos parámetros, la UCE establece la cantidad de combustible que debe inyectarse y determina la alta presión necesaria en la rampa de inyección, el caudal de inyección y el tiempo de inyección, según una serie de cartografías memorizadas.

El tiempo de inyección se determina a partir de la cantidad de combustible que debe inyectarse, la presión disponible en la rampa de inyección y el régimen del motor. El inicio de la inyección se calcula en función de la cantidad de combustible que se debe inyectar. Cuando la temperatura del motor es baja se efectúa una corrección del avance. La señal emitida por la sonda de temperatura del combustible se utiliza fundamentalmente para controlar el regulador de presión y la temperatura del motor para determinar el caudal de inyección.

El modo de inyección está controlado por la UCE, que decide si es precisa una preinyección o se establece directamente la inyección principal. En general, la preinyección se suprime a partir de las 3.000 r.p.m. La presión del combustible en la rampa se modifica en función de las condiciones de funcionamiento del motor. En la fase de arranque esta presión es baja (por ejemplo, 240 bares) y en cargas parciales se fija alrededor de 400 bares, aumentando a medida que lo hacen el régimen y la carga del motor.

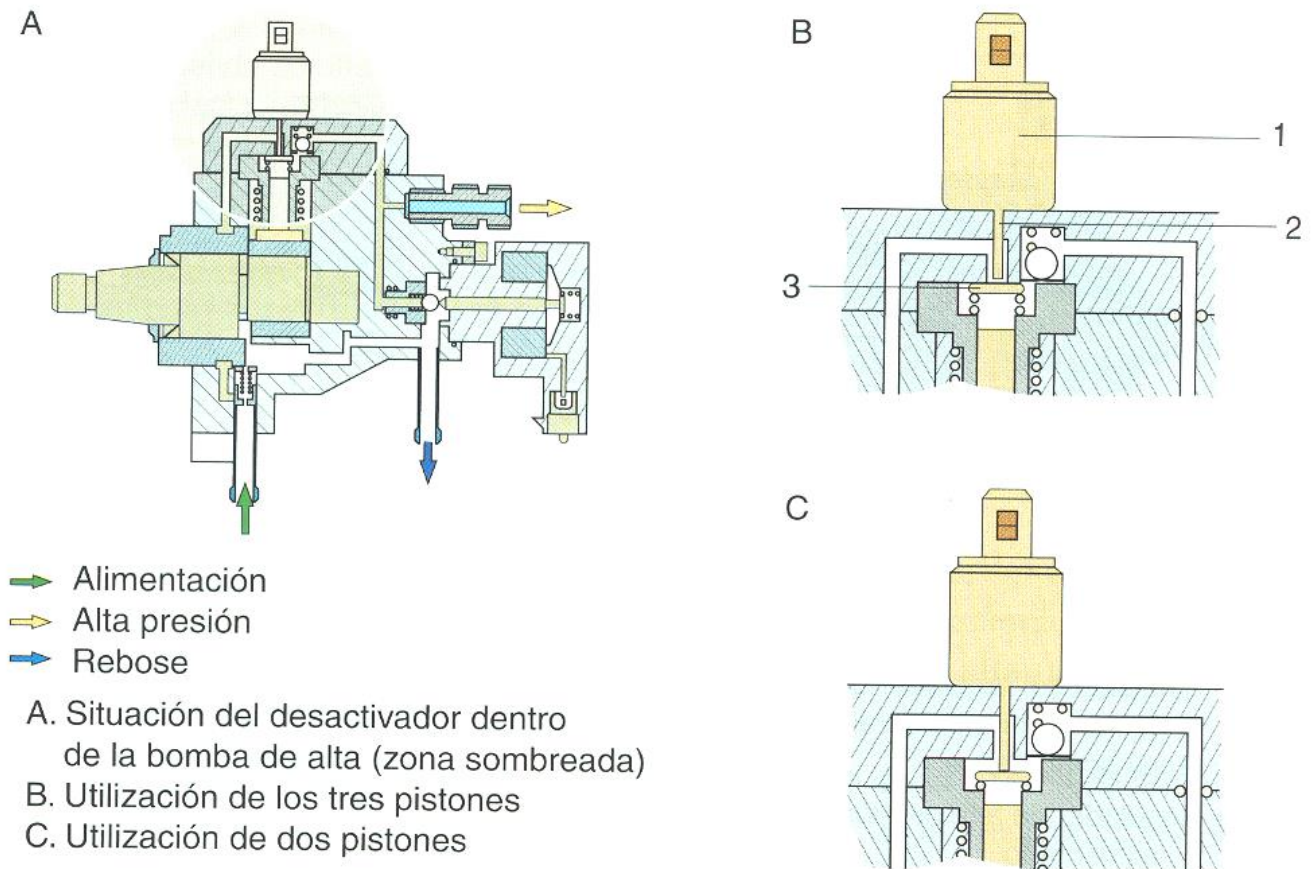
La inyección piloto (preinyección) produce un precalentamiento previo de la cámara de combustión con el que se logra un acondicionamiento de la misma para que la combustión se realice de una manera rápida en la inyección principal. Con ello se consigue disminuir notablemente el retardo de la inflamación típico de los motores Diesel convencionales, que es el causante principal del elevado ruido de estos motores. La preinyección que se establece en los bajos regímenes en los sistemas de inyección a alta presión (Common Rail) representa aproximadamente el 2% del caudal de la inyección principal en plena carga y el desplazamiento con respecto a la inyección principal es de aproximadamente un milisegundo.

El desactivador del tercer pistón de la bomba de alta presión se comanda por la UCE, de manera que se garantice en cualquier circunstancia el suministro de combustible necesario. Así, la bomba funciona con los tres pistones activados en condiciones de ralentí del motor y a partir de los dos tercios de la plena carga. En el resto de condiciones, es decir, en cargas parciales, funciona con dos pistones. También se desactiva el tercer pistón cuando la temperatura del motor sobrepasa los 106° C.



DESACTIVADOR DEL
TERCER PISTÓN DE LA
BOMBA.

Desactivador del tercer pistón de la bomba



Funcionamiento del desactivador tercer pistón:

Va situado en la parte alta de la bomba (ver figura anterior) y sus funciones son las siguientes:

- Reduce la potencia que absorbe la bomba del motor con bajas cargas.
- Limita de forma rápida la alta presión en caso de avería.
- Evita un calentamiento excesivo del combustible.

Está formado por un electroimán (1) (gobernado a través de masa por la UCE) y una varilla de empuje (2).

En caso de ser alimentado (se hace a 12V), la varilla de empuje se desplaza debido al campo magnético creado por el electroimán. En su desplazamiento, levanta la válvula de aspiración (3) por lo que no hay creación de presión en ese émbolo. De esta manera, la bomba funciona con dos pistones.

DISPOSITIVOS AUXILIARES

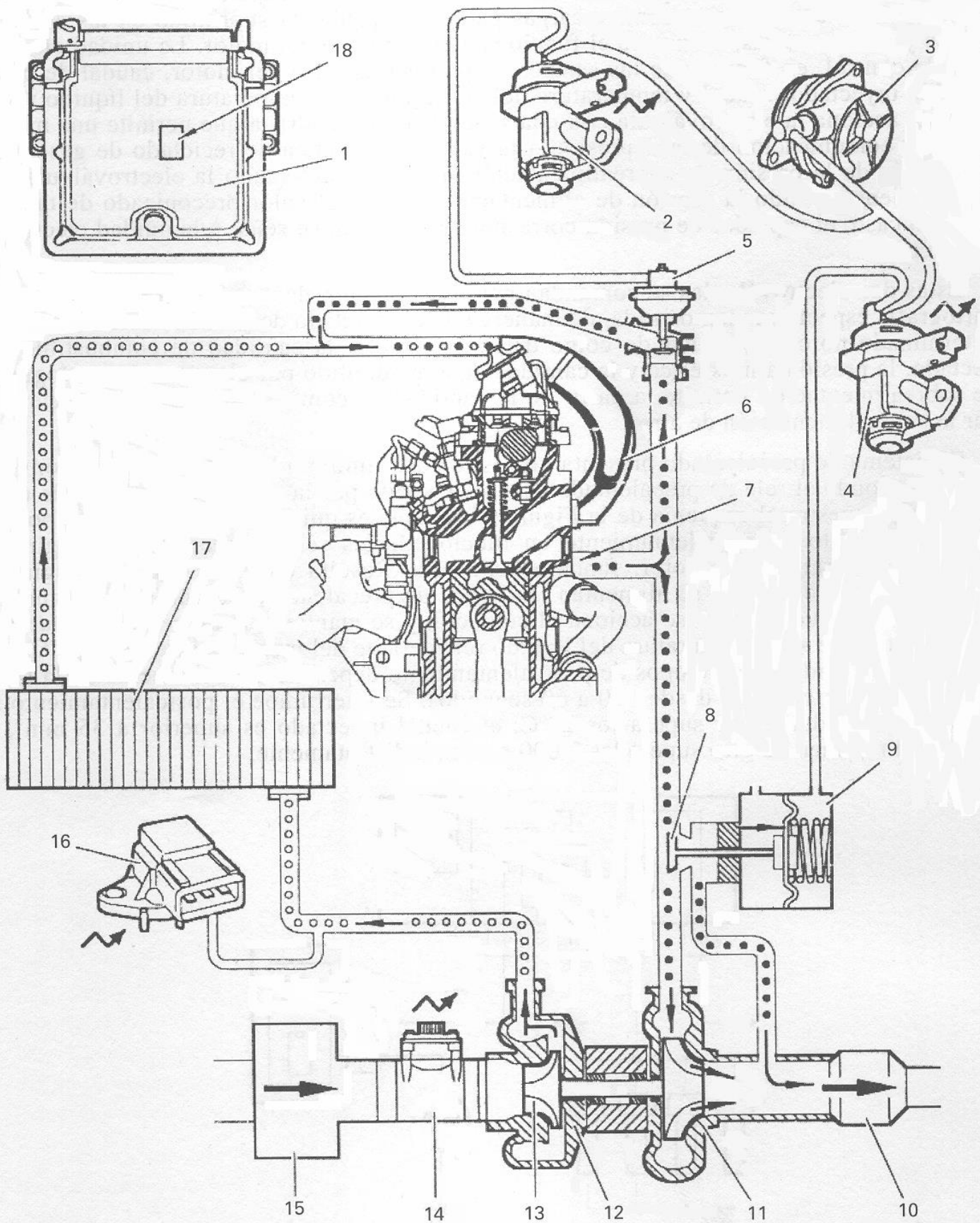
Los sistemas de inyección a alta presión se complementan con una serie de dispositivos auxiliares, de estructura y características similares a las de otros sistemas de inyección, como son el turbocompresor, el sistema de reciclado de los gases de escape, el sistema de precalentado, etc. El funcionamiento de todos estos dispositivos está controlado por la UCE que determina su puesta en marcha o parada en función de las condiciones de marcha del motor.

La figura de la página siguiente muestra de forma esquemática la disposición del turbocompresor y el sistema de reciclado de los gases de escape (EGR), controlados ambos por la UCE, que comanda la alimentación eléctrica de las electroválvulas de mando de la EGR y de la válvula reguladora de la presión del turbo (presión de sobrealimentación). Las cápsulas neumáticas de estas válvulas se accionan por vacío y se conectan mediante tubos adecuados a la bomba de vacío.

Las estrategias de mando de estos dos sistemas se establecen en función de las condiciones de marcha del motor y, así, la válvula EGR se activa en condiciones de funcionamiento en ralentí y cargas parciales, quedando suprimida en las aceleraciones y plena carga, o durante el funcionamiento en frío del motor. La UCE en función de las señales de régimen de giro del motor, caudal de combustible inyectado, caudal y temperatura del aire aspirado y temperatura del líquido refrigerante, acciona la electroválvula con una señal de onda cuadrada que permite una mayor o menor comunicación de la depresión a la válvula neumática que mueve la EGR. La regulación de la presión de sobrealimentación se obtiene activando la electroválvula correspondiente cuando la presión de alimentación alcanza el valor preconizado de tarado, en cuyo caso, el captador de presión correspondiente envía su señal a la unidad electrónica de control (UCE).

El sistema de precalentado presenta una estrategia similar a la de los sistemas convencionales, donde el relé de precalentado está controlado por la UCE, que es quien determina los tiempos de precalentamiento y postcalentamiento en función de las señales recibidas de régimen, carga y temperatura del motor, fundamentalmente. Resulta corriente una estrategia de funcionamiento en la que se alimentan las bujías de precalentado durante unos segundos antes del arranque, cuando se acciona el contacto, y se mantiene la alimentación durante un cierto tiempo si la temperatura del líquido refrigerante del motor es inferior a 20° C y el motor está girando. Los tiempos de postcalentamiento dependen esencialmente de la temperatura del motor y van desde 180 a 60 segundos. Se interrumpe el postcalentamiento si la temperatura del motor supera los 20° C, el caudal inyectado es superior a 35 mm³, o cuando el régimen de giro supera las 2.000 r.p.m., indistintamente.

El sistema de refrigeración del motor también suele estar controlado por la UCE, que comanda el funcionamiento de los electroventiladores de refrigeración, tanto para el desempeño de su función elemental, como para la necesidad de ventilación, que precisa el sistema de climatización. En este sistema, además, se controla también el funcionamiento del compresor. El compresor es desactivado cuando se solicita potencia.



1 Unidad electrónica de control. 2 Electroválvula EGR. 3 Bomba de vacío. 4. Electroválvula de regulación de la presión del turbo. 5 Válvula neumática EGR. 6 Colectores de admisión. 7 Colectores de escape. 8 Válvula. 9 Cápsula neumática de mando de la válvula reguladora de la presión del turbo. 10 Catalizador. 11 Turbina. 12 Turbocompresor. 13 Rodete del compresor. 14 Caudalímetro de aire. 15 Filtro de aire. 16 Captador de presión en colector de admisión. 17 Intercambiador térmico aire/aire. 18 Captador de presión atmosférica (integrado en el calculador de inyección).



Válvula EGR de accionamiento electro-neumático

