

**Universidad  
Nacional de La Plata  
Facultad de Ingeniería**

**Proyecto de Motores**

# SISTEMAS DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA



**Autores:**

**Yerera, Sebastian A**

**López, Julio A.**

**Becerra H., Gustavo**

**Di Lorenzo, Fernando**

**Gil, Renzo**

**Holzmann, Cristhian H.**

**Graziano, Santiago**



## CONTENIDO

1.	INTRODUCCION .....	2
2.	DESCRIPCION DEL SISTEMA DE INYECCION ELECTRONICA .....	2
2.1.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	2
2.2.	FORMAS DE INYECTAR EL COMBUSTIBLE.....	2
2.2.1.	SISTEMAS DE INYECCION DIRECTA .....	2
3.	SISTEMAS DE INYECCION ELECTRONICA DE NAFTA.....	4
3.1.	SISTEMAS DE INYECCION MONOPUNTO .....	4
3.2.	STEMAS DE INYECCION MULTIPUNTO.....	5
4.	SISTEMAS DE INYECCION ELECTRONICA EN MOTORES DIESEL.....	8
4.1.	INTRODUCCIÓN HISTÓRICA.....	8
4.2.	OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN PARA MOTORES DIESEL.....	9
4.3.	CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN DIESEL .....	10
4.3.1.	INYECCIÓN POR AIRE .....	10
4.3.2.	INYECCIÓN MECÁNICA O SÓLIDA .....	10
A)	SISTEMA DE BOMBA INDIVIDUAL .....	10
A.1)	BOMBAS DE INYECCIÓN EN LÍNEA .....	10
A.2)	BOMBAS DE INYECCIÓN ROTATIVAS.....	11
B)	SISTEMA DE INYECCION ELECTRONICA DE CONDUCTO COMUN (COMMON RAIL) 12	
B.1)	INTRODUCCION AL SISTEMA COMMON RAIL.....	12
B.2)	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA COMMON-RAIL .....	13
B.3)	PARTES CONSTITUYENTES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN COMMON RAIL .....	14
5.	CONTROL DE EMISIONES .....	19
6.	MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE SISTEMAS DE INYECCIÓN.....	25
A.	TESTEO DE INYECCIÓN: .....	25
B.	ACERCA DE LOS INYECTORES.....	26
C.	CONSECUENCIAS DE LA SUCIEDAD .....	26
7.	BIBLIOGRAFIA Y PÁGINAS WEB .....	29



## 1. INTRODUCCION

Debido a la continua evolución de los vehículos, el sistema mecánico de alimentación de aire-combustible en los motores nafteros, es decir, el carburador ha quedado obsoleto para la utilización de los nuevos motores en lo que se refiere a contaminación del aire, economía del combustible, potencia y respuestas rápidas en las aceleraciones. Los inyectores tienen por objetivo hacer llegar a cada cilindro el combustible exactamente necesario para cumplir las necesidades del motor en cada instante. Para tal fin se registra el mayor número posible de datos importantes para la dosificación del combustible. Pero como el estado de servicio del motor suele variar rápidamente, resulta decisiva una rápida adaptación del caudal del combustible a la situación de marcha del momento.

La inyección contralada electrónicamente es adecuada para tal fin. Con ésta es posible registrar una cantidad discreta de datos de servicio, en cualquier lugar del vehículo, para su conversión posterior en señales eléctricas. Estas últimas arriban a una unidad de control de la instalación de inyección, la cual las procesa y calcula inmediatamente el caudal de combustible a inyectar, cuyo valor depende de la duración de la inyección.

## 2. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE INYECCION ELECTRONICA

### 2.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Cuando ocurre el arranque en el vehículo, los pistones del motor suben y bajan y el sensor de rotación señala a la unidad de comando la rotación del motor. En el movimiento de bajada, se produce en el múltiple de admisión una aspiración (vacío), que aspira aire de la atmosfera y pasa por el medidor de flujo o masa de aire y por la mariposa de aceleración, llegando hasta los cilindros del motor.

El medidor informa a la unidad de comando el volumen de aire admitido; la unidad de comando, a su vez, permite que las válvulas de inyección proporcionen la cantidad de combustible ideal para el volumen de aire admitido, generando una relación aire/combustible precisa para realizar la combustión. Cuanto más adecuada es la mezcla, mejor será el rendimiento y la economía y se tendrá una menor emisión de gases contaminantes.

### 2.2. FORMAS DE INYECTAR EL COMBUSTIBLE

El combustible en los sistemas de inyección se puede suministrar de dos formas, directa o indirectamente.

En la primera se apunta directamente a la cámara de combustión a una presión mayor a  $40\text{kg/cm}^2$ , mientras que en la segunda se apunta frente a la válvula de admisión a una presión mucho menor. Estos últimos son los generalmente utilizan la mayoría de los fabricantes.

#### 2.2.1. SISTEMAS DE INYECCION DIRECTA

Los sistemas de inyección directa consisten en una bomba mecánica que impulsa al combustible por un conducto hasta un inyector colocado en la cámara de combustión. Este tipo de inyección fue utilizada durante mucho tiempo en los motores con ciclo Otto pero debido a su



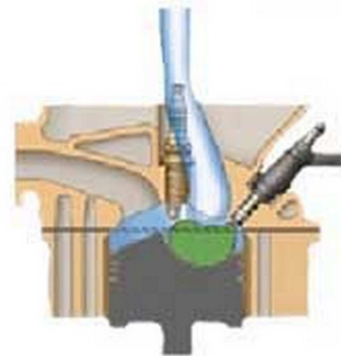
## PROYECTO DE MOTORES Sistemas de Inyección Electrónica



elevado costo fue reemplazado por sistemas de inyección indirecta. La principal diferencia con los sistemas de inyección indirecta además de la colocación del inyector, es la precisión que debe poseer el sistema para aportar el combustible cuando se realizan las fases de admisión o de compresión. Mientras que en un sistema de inyección indirecta, el aporte de combustible se realiza con la apertura de la válvula de admisión.

En un motor de inyección directa, el cilindro se llena solamente con aire a través del conducto de admisión y luego se aporta el combustible con la válvula de escape cerrada, de forma de evitar que parte del combustible salga de la cámara sin quemarse. La mezcla se forma dentro del cilindro en un corto espacio de tiempo. Por este motivo, el combustible tiene que inyectarse a alta presión y con un chorro determinado para que favorezca la pulverización. Pero también es necesario crear turbulencias dentro del cilindro para acelerar el reparto del combustible. La cabeza del pistón tiene una cavidad para forzar las turbulencias, y el conducto de admisión también se diseña con esa intención.

La siguiente figura muestra cómo se inyecta el combustible en la cámara y como se logra el efecto de turbulencia dentro de la misma.



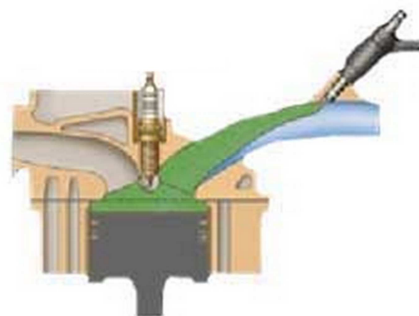
### 2.2.2. SISTEMAS DE INYECCION INDIRECTA

En este tipo de inyección, el combustible es introducido en el ducto de admisión encima de la válvula para que luego de producirse la apertura de la misma el combustible pase a la cámara de combustión.

Este tipo de inyección es el empleado por todos los fabricantes para la inyección de gasolina. Son varios los métodos utilizados para inyectar y medir la cantidad de ingreso a la cámara de combustión, dentro de los cuales se encuentran:

- **ELECTROYECTOR BENDIX:** La nafta proveniente de la bomba va a un colector y de allí a los inyectores.
- **ROCHESTER:** La bomba envía a los inyectores en forma constante.
- **INTERMITENTE CON SINCRONIZACION:** La bomba ejecuta su función en cantidad de nafta, momento y forma sincronizada, en el instante en que la válvula de admisión está abierta.
- **INTERMITENTE SIN SINCRONIZACION:** Pulveriza frente a las válvulas de admisión sin sincronización, sin importar que la válvula se encuentre, abierta o cerrada.

La siguiente figura muestra cómo se inyecta el combustible en el ducto de admisión, para luego pasar con la apertura de la válvula a la cámara de combustión.





### 3. SISTEMAS DE INYECCION ELECTRONICA DE NAFTA

#### 3.1. SISTEMAS DE INYECCION MONOPUNTO

Este tipo de inyección apareció por la necesidad de abaratar los costos que suponían los sistemas de inyección multipunto en la década de los 90 y por la necesidad de eliminar el carburador en los coches utilitarios de bajo costo con el fin de poder cumplir con las normas anticontaminación cada vez más restrictivas. El sistema monopunto consiste en único inyector colocado antes de la mariposa de gases, donde el combustible se inyecta a impulsos y a una presión de 0,5 bar. La siguiente figura muestra un esquema del sistema de inyección monopunto.

Los tres elementos fundamentales que forman el esquema de un sistema de inyección monopunto son el inyector que sustituye a los inyectores en el caso de una inyección multipunto. Como en el caso del carburador este inyector se encuentra colocado antes de la mariposa de gases, esta es otra diferencia importante con los sistemas de inyección multipunto donde los inyectores están después de la mariposa.

La dosificación de combustible que proporciona el inyector viene determinada por la ECU la cual, como en los sistemas de inyección multipunto recibe información de diferentes sensores. En primer lugar necesita información de la cantidad de aire que penetra en el colector de admisión para ello hace uso de un caudalímetro, también necesita otras medidas como la temperatura del motor, el régimen de giro del mismo, la posición que ocupa la mariposa de gases, y la composición de la mezcla por medio de la sonda Lambda. Con estos datos la ECU elabora un tiempo de apertura del inyector para que proporcione la cantidad justa de combustible.

El elemento distintivo de este sistema de inyección es la "unidad central de inyección" o también llamado "cuerpo de mariposa" que se parece exteriormente a un carburador. En este elemento se concentran numerosos dispositivos como por supuesto "el inyector", también tenemos la mariposa de gases, el regulador de presión de combustible, regulador de ralentí, el sensor de temperatura de aire, sensor de posición de la mariposa, incluso el caudalímetro de aire en algunos casos. La figura 4 muestra la unidad central de inyección o cuerpo de mariposa.

Algunos de los automóviles que utilizan este tipo de inyección se detallan en la siguiente tabla:

VEHÍCULO	SISTEMA	AÑO
Citroën Saxo 1.1	BoscMonopunto MA3.1	1996
Fiat Regata 100S i.e.	Fiat SPI	1986-90
Chevrolet Astra F 1.6	Multec-Central	1993-97
Chevrolet Vectra B 1.6	GM Multec Central	1995
Peugeot 205/309/405 1.6	MMFD Monopunto G5	1990-92
Peugeot 605 2.0	MMFD Monopunto G5	1990-92
Peugeot 106 1.1	MMFD G6 Monopunto	1993
Peugeot 205 1.1	MMFD G6 Monopunto	1993
Peugeot 205 1.6	MMFD G6 Monopunto	1992-94
Peugeot 306 1.1	MMFD G6 Monopunto	1993
Peugeot 105 1.6	MMFD G6 Monopunto	1993
Renault Express 1.4	AC Delco Monopunto	1994
Volkswagen Golf 1.8/kat	Bosch Mono-Jetronic	1987-90

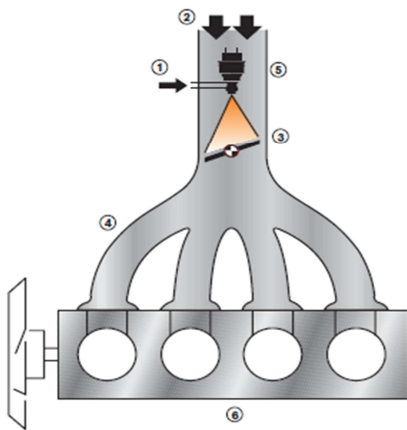


Fig. 3. Inyección monopunto

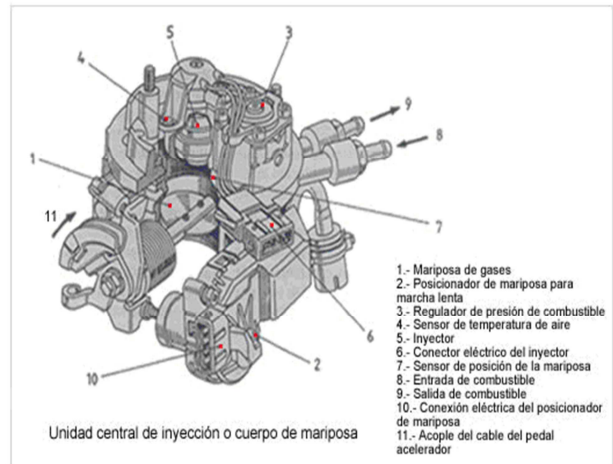
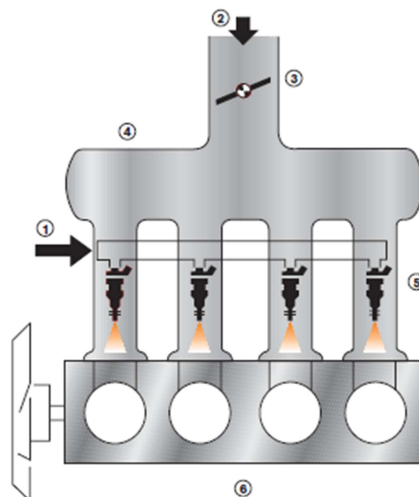


Fig. 4. Unidad central de inyección o cuerpo de mariposa

### 3.2. SISTEMAS DE INYECCION MULTIPUNTO

Los motores con inyección multipunto cuentan con un inyector independiente para cada cilindro montados en el múltiple de admisión o en la cabeza, encima de los puertos de admisión.

- 1 Tubo distribuidor (entrada de combustible)
- 2 Aire
- 3 Mariposa de aceleración
- 4 Múltiple de admisión
- 5 Válvulas de inyección
- 6 Motor



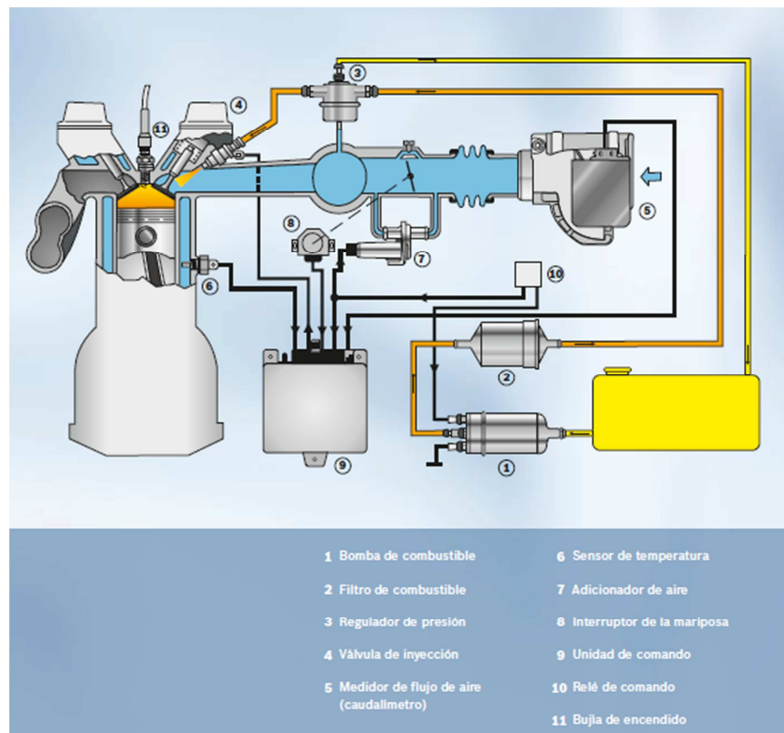


Dentro de la inyección multipunto existen dos tipos: Jetronic y Motronic

### 3.2.1.1. SISTEMA DE INYECCIÓN JETRONIC

El sistema Jetronic es comandado electrónicamente y pulveriza el combustible en el múltiple de admisión. Su función es suministrar el volumen exacto para los distintos regímenes de revolución (rotación). La unidad de comando recibe muchas señales de entrada, que llegan de los distintos sensores que envían informaciones de las condiciones instantáneas de funcionamiento del motor. La unidad de comando compara las informaciones recibidas y determina el volumen adecuado de combustible para cada situación. La cantidad de combustible que la unidad de comando determina, sale por las válvulas de inyección. Las válvulas reciben una señal eléctrica, también conocido por tiempo de inyección (TI). En el sistema Jetronic las válvulas de inyección pulverizan el combustible simultáneamente. En ese sistema la unidad de comando controla solamente el sistema de combustible.

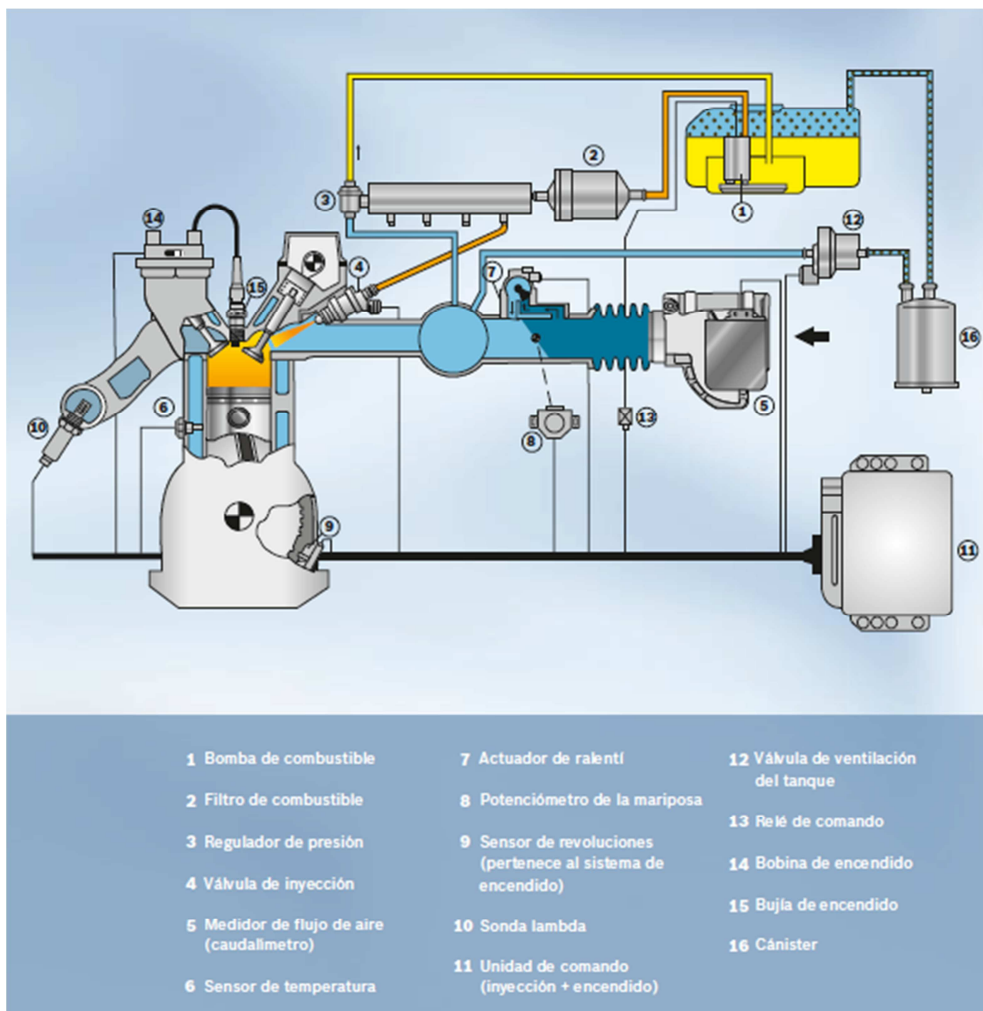
El sistema Jetronic es analógico. Por esa característica no posee memoria para guardar posibles averías que pueden ocurrir. No posee indicación de averías en el tablero del vehículo para el sistema de inyección.





### 3.2.1.2. Sistema de Inyección Motronic

El sistema Motronic también es un sistema multipunto. Difiere del sistema Jetronic, en que trae incorporado en la unidad de comando también el sistema de encendido. Posee sonda lambda en el sistema de inyección, que está instalada en el tubo de escape. El sistema Motronic es digital, posee memoria de adaptación e indicación de averías en el tablero. En vehículos que no utilizan distribuidor, el control del momento del encendido (chispa) se hace por un sensor de revolución instalado en el volante del motor (rueda condientes). En el Motronic, hay una válvula de ventilación del tanque, también conocida como válvula del cánister, que sirve para reaprovechar los vapores del combustible, que son altamente peligrosos, contribuyendo así para la reducción de la contaminación, que es la principal ventaja de la inyección.



Algunos de los automóviles que utilizan sistemas de inyección multipunto son: Chevrolet Agile, Meriva, Aveo; Nissan: X-Trail; Toyota: Rav-4, Corolla, Camry, Prius; Fiat: Palio, Punto, Uno (Nuevo), Siena. Todos en versiones de fabricación actuales (Revisión Octubre 2011).





## 4. SISTEMAS DE INYECCION ELECTRONICA EN MOTORES DIESEL

### 4.1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

A finales de 1922, el técnico alemán Robert Bosch (1861-1942) decidió desarrollar el primer sistema de inyección para motores diesel. Las condiciones técnicas eran favorables; se disponía ya de experiencia en motores de combustión; las tecnologías de producción habían alcanzado un alto nivel de desarrollo y ante todo podían aplicarse conocimientos adquiridos en la fabricación de bombas de aceite. A comienzos de 1923 se habían proyectado ya una docena de bombas de inyección distintas, y a mediados de 1923 se realizaron los primeros ensayos en el motor. El mundillo técnico comenzó a contar cada vez más con la aparición de la bomba de inyección mecánica, de la que esperaba un nuevo impulso para la construcción de motores diesel.

Por fin, en el verano europeo de 1925, se dieron los últimos toques al proyecto definitivo de la bomba de inyección, y en 1927 salieron de la fábrica de Stuttgart las primeras bombas producidas en serie, del tipo mecánica con elementos en línea.

Esta bomba de inyección desarrollada por Bosch proporcionó al motor de Rudolf Diesel la velocidad deseada, proporcionándole un éxito imprevisto. El motor diesel fue conquistando cada vez más campos de aplicaciones, ante todo en el sector del automóvil. Con el Mercedes 260 D (con 2545 cm<sup>3</sup> y 45 CV) se presentó, en el año 1936, el primer turismo con motor diesel. Sin embargo, en un primer momento, el diesel seguía siendo exótico entre los automóviles. A pesar de ser económico y de larga vida, incluso en los años setenta tenía fama de ser ruidoso, basto y tardo. En el año 1952 la "pole position" de las 500 millas de Indianápolis es conseguida por un automóvil con mecánica Cummins diesel. Se trata del primer vehículo de carreras turbodiesel y debe retirarse cuando va tercero.

Un año después, Bosch comienza a desarrollar estudios acerca de bombas de inyección individuales, precursoras del actual inyector-bomba.

Para 1977, tras varios ensayos, Hans List desarrolla un diesel ligero denominado AVL LDX 2001 dotado de un inyector-bomba aunque con mando mecánico; y ese mismo año surgen las primeras mecánicas de gas-oil y turbo en automóviles de turismo. El Mercedes Benz 300 SD turbodiesel se presenta en el Salón de Frankfurt con 125 CV, cinco cilindros, 2998 cm<sup>3</sup> y una velocidad máxima de 165 km/h. En el Salón de Ginebra de 1979 se exhibe el Peugeot 604 2.3 TD de 80 CV con 4 cilindros, 2.304 cm<sup>3</sup> y una velocidad máxima de 157 km/h.

A partir de 1986 irrumpe el primer cambio radical en la concepción Diesel, se crea la unidad de control electrónica que permite optimizar el funcionamiento del motor de gasóleo. Para 1989.

Audi comercializa su primer TDI con una mecánica de cinco cilindros, 2,5 litros y 120 CV de potencia. Con la introducción del primer motor de inyección directa para el automóvil de Audi se inició la verdadera marcha triunfal del motor diesel. Con ella, el diesel no sólo era económico, sino que desarrollaba una dinámica de conducción inimaginable hasta entonces. Y a la vez se pudieron reducir siempre más las emisiones.

En 1994 el inyector-bomba se convierte en realidad y permite presiones de hasta 1600 bares. Luego en 1997, tras un largo proceso de desarrollo iniciado en la Universidad de Zurich y promovido por el grupo Fiat, el conducto común (common rail) es una realidad. La generación de



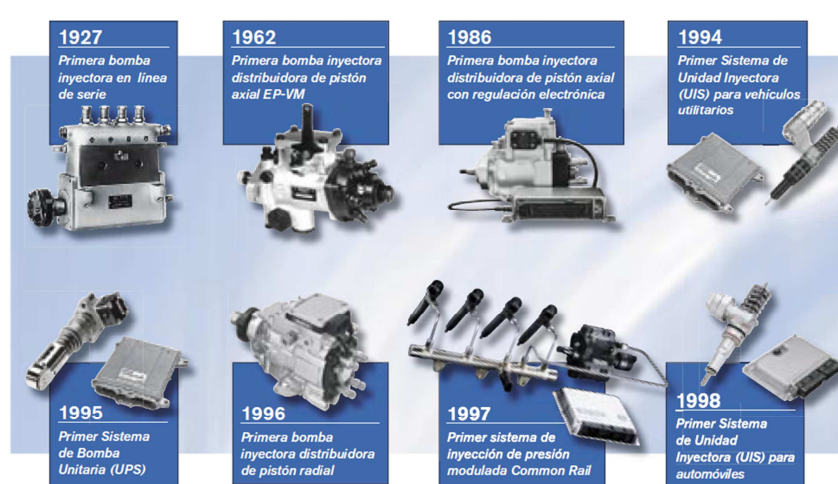
## PROYECTO DE MOTORES Sistemas de Inyección Electrónica



presión y la inyección quedan separadas, permitiendo así que la presión de inyección sea independiente del régimen de giro de la mecánica.

En el año 2003, en Europa occidental, casi un 44 por ciento de todos los turismos de nueva matriculación era diesel, cerca de un tres por ciento más que el año anterior. Y el éxito sigue.

En el año 2005 se tuvo una cuota de diesel de cerca del 50 por ciento de las nuevas matriculaciones.



### 4.2. OBJETIVOS DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN PARA MOTORES DIESEL

Los sistemas de inyección que se utilizan en motores Diesel deben satisfacer una serie de requisitos para que el motor funcione de un modo óptimo, a saber:

1. Inyectar la cantidad de combustible requerida según las condiciones operativas del motor y mantener esta cantidad medida:
  - a) Constante, de ciclo a ciclo de funcionamiento.
  - b) Constante, de cilindro a cilindro.
2. Inyectar el combustible en el instante correcto del ciclo, para todo el rango de velocidades del motor.
3. Inyectar el combustible en la proporción deseada para controlar la combustión (y la consiguiente emisión de humos) y la elevación resultante de la presión.
4. Atomizar al combustible hasta el grado deseado, logrando también una buena penetración del combustible atomizado.
5. Distribuir adecuadamente el combustible dentro de la cámara de combustión.
6. Iniciar y terminar la inyección, instantáneamente.



### 4.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN DIESEL

#### 4.3.1. INYECCIÓN POR AIRE

En estos sistemas, el aire era medido y bombeado hacia la válvula de inyección, que era accionada mecánicamente; el combustible era también enviado a la válvula por una bomba. Al abrirse la válvula en el momento adecuado, el aire a elevada presión arrastraba el combustible hacia el interior del cilindro, donde ambos fluidos se mezclaban.

Aunque si bien estos sistemas permitían quemar polvo de carbón y combustibles líquidos pesados, proporcionando una niebla bien atomizada, sus desventajas los hicieron historia. El tamaño y el costo del compresor de aire, la potencia absorbida para su accionamiento, tomada del propio motor (del 5 al 10% de la generada por el motor) y el riesgo de explosiones en las cañerías hicieron que se pensara en alternativas a estos sistemas.

#### 4.3.2. INYECCIÓN MECÁNICA O SÓLIDA

Este es la técnica en uso desde las primeras décadas del siglo XX hasta la actualidad. En estos es el combustible, con una presión elevada, el que penetra en la cámara de combustión donde se encuentra con el aire produciéndose la combustión.

Aunque para lograr esto existen varios métodos, a saber:

- A) Sistema de bomba individual
- B) Sistema de conducto común (common rail).

#### A) SISTEMA DE BOMBA INDIVIDUAL

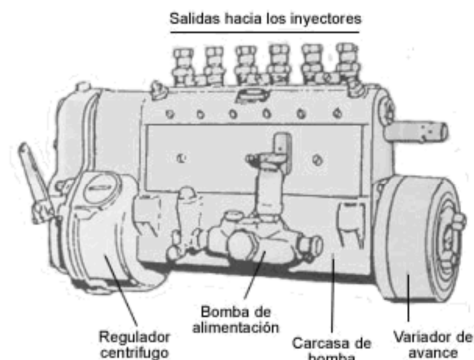
En este sistema se tiene un dosificador de combustible y una bomba de compresión por separado, para cada cilindro del motor. En la práctica no se presentan físicamente separados los órganos componentes de este sistema, sino más bien una carcasa reúne en si todas las bombas para los cilindros, quedando si un inyector para cada uno de ellos.

Hay distintos tipos de bombas:

- ✚ Bombas de inyección en línea.
- ✚ Bombas de inyección rotativas.

##### A.1) BOMBAS DE INYECCIÓN EN LÍNEA

Este tipo de bomba ha sido la más utilizada por no decir la única que funcionaba sobre todo en vehículos pesados, incluso se usó en turismos hasta la década de los 60 cuando se vio sustituida por las bombas rotativas. Este tipo de bombas es de constitución muy robusta y de una fiabilidad mecánica contrastada, sus inconvenientes son su tamaño, peso y que están limitadas a un número de revoluciones que las hacen aptas para vehículos pesados pero no para





## PROYECTO DE MOTORES Sistemas de Inyección Electrónica

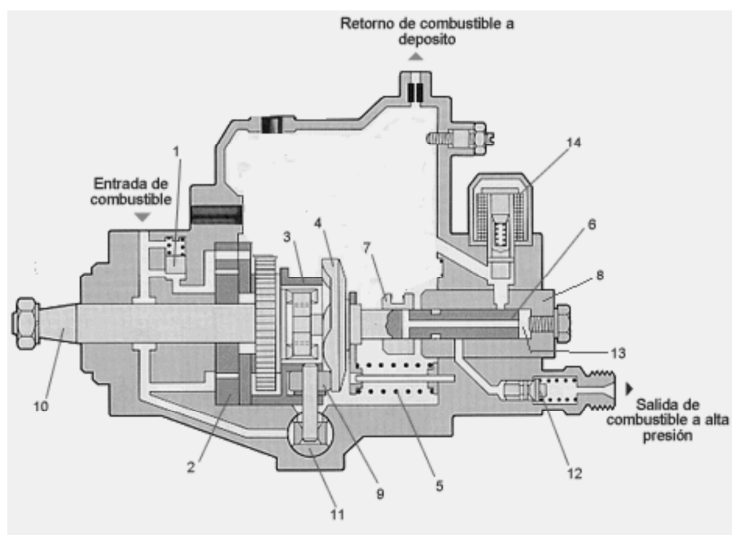


turismos. La bomba en línea está constituida por tantos elementos de bombeo, colocados en línea, como cilindros tenga el motor. En su conjunto incluye además de los elementos de bombeo, un regulador de velocidad y un variador de avance automático de inyección acoplado al sistema de arrastre de la bomba.

### A.2) BOMBAS DE INYECCIÓN ROTATIVAS

Hay dos tipos de bombas más distintivos de esta configuración, las rotativas ya sea mecánicas o electrónicas y las del tipo de émbolos radiales.

- **BOMBAS ROTATIVAS DE ÉMBOLOS RADIALES:** La bomba rotativa de inyección de émbolos radiales fue desarrollada para motores diesel de funcionamiento rápido con inyección directa y una potencia de hasta 37 KW por cada cilindro. Esta bomba se caracteriza por un mayor dinamismo en la regulación del caudal y del comienzo de inyección, y por presiones en el inyector de hasta 1600 bar.
- **BOMBAS ROTATIVAS:** En este tipo de bombas y a diferencia de la bomba de inyección en línea, el elemento cilindro pistón, que logra el efectivo incremento de presión, está situado de manera longitudinal al eje de la bomba (alineado con el mando de esta). En la actualidad no se dispone más que de un solo cilindro y un solo émbolo distribuidor, aunque el motor sea de varios cilindros. Una lumbrera de distribución asegura el reparto, entre las diferentes salidas correspondientes al nº de cilindros del motor, del combustible alimentado por el émbolo de la bomba. Este tipo de bombas se viene usando desde hace bastante tiempo en los motores diesel, su constitución básica no ha cambiado, las únicas variaciones han venido dadas por la aplicación de la gestión electrónica en los motores.



Corte de una bomba rotativa.

- 1- Válvula reductora de presión
- 2- Bomba de alimentación
- 3- Plato porta-rodillos
- 4- Plato de levas
- 5- Resorte de retroceso
- 6- Pistón distribuidor
- 7- Corredera de regulación
- 8- Cabeza hidráulica
- 9- Rodillo
- 10- Eje de arrastre de la bomba
- 11- Variador de avance de inyección
- 12- Válvula de reaspiración
- 13- Cámara de combustible a presión
- 14- Electroválvula de parada.

El movimiento rotativo del eje de accionamiento se transmite al émbolo distribuidor por medio de un acoplamiento. Las garras del eje de accionamiento y del disco de levas engranan en el



## PROYECTO DE MOTORES Sistemas de Inyección Electrónica



disco cruceta dispuesto entre ellas. Por medio del disco de levas, el movimiento giratorio del eje de accionamiento se convierte en un movimiento de elevación y giro. Esto se debe a que la trayectoria de las levas del disco discurre sobre los rodillos del anillo. El émbolo distribuidor es solidario del disco de levas por medio de una pieza de ajuste, y está coordinado por un arrastrador. El desplazamiento del émbolo distribuidor hacia el punto muerto superior (PMI) está asegurado por el perfil del disco de levas. Los dos muelles antagonistas del émbolo, dispuestos simétricamente, que reposan sobre la cabeza distribuidora y actúan sobre el émbolo distribuidor a través de un puente elástico, que provocan el desplazamiento del émbolo al punto muerto inferior (PMI). Además, dichos muelles impiden que el disco de levas pueda saltar, a causa de la elevada aceleración, de los rodillos del anillo.

Para que el émbolo distribuidor no pueda salirse de su posición central a causa de la presión centrífuga, se ha determinado con precisión la altura de los muelles antagonistas del émbolo que están perfectamente coordinados.

### **B) SISTEMA DE INYECCION ELECTRONICA DE CONDUCTO COMUN (COMMON RAIL)**

#### **B.1) INTRODUCCION AL SISTEMA COMMON RAIL**

El sistema de inyección Common-Rail fue desarrollado conjuntamente por Magneti Marelli y Fiat a principios de los años 90 y finalmente industrializado por Bosch. Desde ese momento ha ido incorporándose en diferentes marcas a varios motores debido a la relativa facilidad para su integración. El Common Rail, al igual que cualquier otro sistema de inyección, asume las siguientes funciones:

- Proporcionar el combustible necesario para el motor diesel en cualquier circunstancia.
- Generar la alta presión para la inyección y distribuir el combustible hacia los cilindros.
- Inyectar el combustible necesario con exactitud en cada cilindro, con el orden adecuado y en el momento preciso.

Este sistema aporta además otras ventajas:

- La generación de la alta presión es independiente del control de la inyección, puesto que se basa en el principio de la acumulación.
- Permite trabajar con valores de presión superiores a la generada por bombas rotativas.
- La presión de inyección se consigue con independencia del régimen de giro del motor.
- Permite el control preciso del caudal y presión de la preinyección.

Como resultado de la aplicación de este sistema, se obtiene una mayor suavidad de funcionamiento con incrementos de par próximos al 50% a bajos regímenes de giro y aumentos de potencia del 25%, todo ello con reducciones de consumo de combustible del 20%. Pero lo que realmente justifica la generalización de este y otros sistemas gestionados electrónicamente es la posibilidad de cumplir con las actuales y futuras reglamentaciones ambientales, muy restrictivas en cuanto a las cantidades permitidas de partículas de hollín, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxidos de carbono. Esto es posible porque la unidad de mando, además de gestionar la



## PROYECTO DE MOTORES Sistemas de Inyección Electrónica



inyección de combustible, tiene bajo su control otras funciones, como la gestión del turbocompresor, la recirculación de los gases de escape, el control de los calentadores, etc.

### B.2) DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA COMMON-RAIL.

El sistema de inyección Common-Rail consta de los siguientes subsistemas:

- Circuito de combustible de baja presión.
- Circuito de combustible de alta presión.
- Conjunto inyector-servo válvula (tantos como cilindros tenga el motor).
- Circuito electrónico de control: Unidad de Mando, sensores y actuadores.
- Circuito de recirculación de gases de escape.

Y eventualmente, dependiendo del motor:

- Circuito de control de la presión de soplado del turbo.
- Circuito de recirculación de los vapores del cárter.

El sistema está configurado de forma que una bomba auxiliar de combustible de accionamiento eléctrico situada en el depósito, suministra gasoil a una bomba de alta presión. El filtro está situado entre ambas bombas. La bomba de alta presión está accionada por el árbol de levas y su cometido consiste en crear en el acumulador una presión entre 120 bares y 1350 bares.

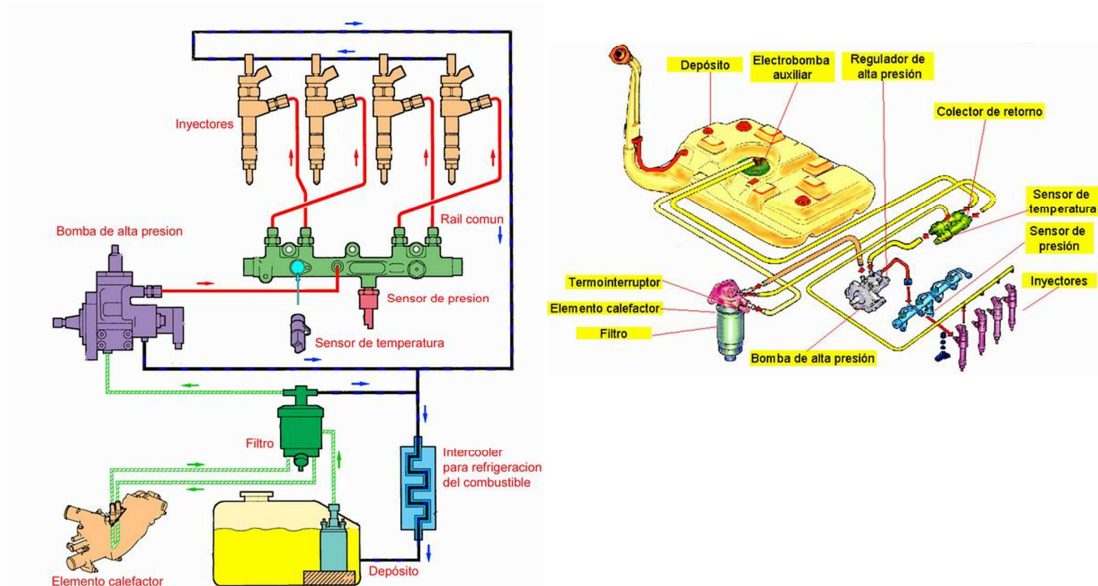
La unidad de mando determina la presión en el acumulador del sistema mediante la activación de la válvula de regulación de presión, presión que es medida por el sensor de alta presión situado en el mismo sensor. El valor de la presión se calcula por campos característicos en los que intervienen variables como la posición del acelerador y el régimen de giro del motor.

Los inyectores están conectados al acumulador, y su apertura se produce cuando la unidad de mando excita la servoválvula correspondiente durante un tiempo calculado y en el orden correspondiente.

La cantidad inyectada queda determinada por:

- ✚ El tiempo que dura la excitación de la electroválvula.
- ✚ La velocidad de apertura y cierre de la aguja.
- ✚ El desplazamiento de la aguja.
- ✚ El flujo hidráulico de paso por la tobera de inyección.
- ✚ La presión en el rail común o acumulador.

Las figuras siguientes muestran los diferentes circuitos que posee el sistema common rail identificando de que dispositivo a que otro dispositivo se transporta el combustible, cuando el sistema se encuentra funcionando.



## B.3) PARTES CONSTITUYENTES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN COMMON RAIL

### CIRCUITO DE BAJA PRESION:

#### 1. DEPOSITO DE COMBUSTIBLE

El depósito de combustible no presenta ninguna adaptación especial cuando se monta el sistema Common-Rail, por lo que mantiene las características de un sistema de inyección convencional e incorpora igualmente las válvulas antivuelco y de aireación.

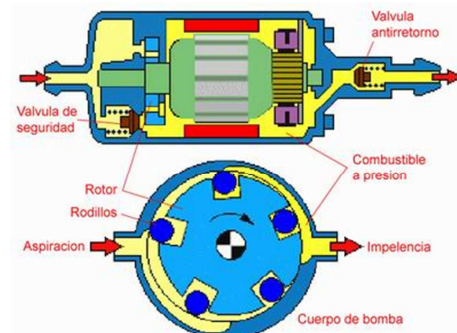
#### 2. BOMBA DE CEBADO

La bomba de cebado es de tipo volumétrico y está situada generalmente en el interior del depósito junto con el aforador, por lo que está sumergida en el combustible. La bomba es de accionamiento eléctrico con una tensión de alimentación de 12 V. que recibe a través del relé de bomba. Este relé se activa durante 3 seg. con la señal de contacto y permanentemente con el motor en marcha.

La bomba consta de un motor eléctrico de corriente continua a cuyo eje está unido un disco con alvéolos con rodillos. Al girar estos, por efecto de la fuerza centrífuga, ruedan con fuerza sobre el alojamiento del disco y crean compartimentos estancos.

Debido a la excentricidad entre el disco y el alojamiento, se crean en una zona espacios con volúmenes crecientes que provocan el llenado de combustible, y en la parte opuesta espacios con volumen decreciente que impulsan al combustible.

Entre la zona de aspiración y la de impulsión hay una válvula de seguridad que impide que la presión





generada sobrepase los 7 bares permitiendo la recirculación del combustible. A la salida de la bomba existe una segunda válvula que actúa como antirretorno, impidiendo que el circuito se vacíe cuando el sistema está parado.

### 3. FILTRO DE COMBUSTIBLE

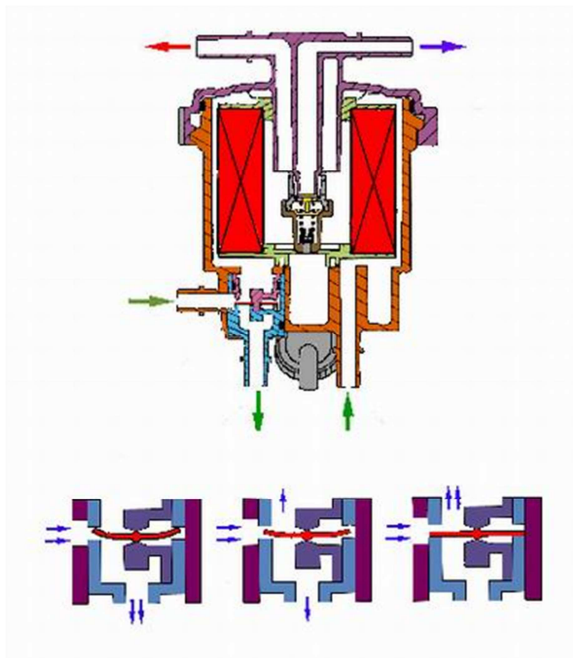
La función de este componente es la de retener las impurezas que pueda presentar el combustible y simultáneamente el agua, que se deposita en la parte inferior por decantación. El elemento filtrante es de cartucho de papel con un tamaño de poro de 5 micras y una gran superficie.

El filtro incorpora un elemento calefactor eléctrico gobernado por un termostato situado en el mismo filtro. Este elemento deja de alimentar de tensión al calefactor cuando la temperatura del combustible está entre los 6°C y los 15°C.

En el filtro se encuentra el elemento termostático que desvía el combustible hacia el elemento calefactor situado en la caja de salida del líquido refrigerante de la culata.

Este elemento funciona con un bimetálico que se deforma en función de la temperatura del combustible. Cuando es inferior a 15°C, la posición del bimetálico obliga a que todo el combustible se dirija al calentador sin circular por el filtro. Para temperaturas comprendidas entre 15°C y 25°C, sólo parte del combustible se dirige al calentador y parte circula por el filtro. Para temperaturas superiores a 25°C la totalidad del combustible circula sólo por el filtro.

En el calentador se produce un intercambio de calor entre el combustible y el líquido refrigerante puesto que está sumergido en el mismo. De esta forma, se consigue que el combustible esté siempre a temperatura de servicio.



### 4. VÁLVULA DE REGULACIÓN BAJA PRESIÓN

La válvula de regulación de baja presión está situada en el filtro de combustible y tiene por misión la de mantener la presión en valores próximos a los 2.5 bares. Está formada por una bola y un muelle tarado. En el momento en que el combustible de envío ejerce una fuerza superior a la del muelle, la bola se desplaza permitiendo que el combustible recircule hacia el depósito, cuando esto ocurre la presión desciende y la bola obtura de nuevo el paso.

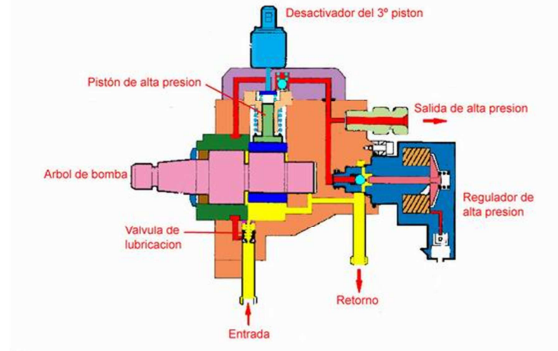






## 5. INTER-COOLER O ENFRIADOR DE COMBUSTIBLE.

El combustible sometido a altas presiones sufre un importante calentamiento que puede afectar al depósito construido de plástico inyectado además de variar de densidad. Por tal motivo, se dispone de un intercambiador de calor en el tubo de retorno, bajo el piso del vehículo, sobre el que incide el aire de marcha del mismo y que, por lo tanto, refrigera al combustible.



### CIRCUITO DE COMBUSTIBLE DE ALTA PRESIÓN:

#### 1. BOMBA DE ALTA PRESIÓN CON DESACTIVADOR DE UN PISTÓN.

La bomba de alta presión es accionada por correa dentada de distribución con una relación de 0.5, (con un número de revoluciones igual al del árbol de levas).

Se trata de una bomba volumétrica del tipo de pistones radiales. Estos son tres y están situados a 120°, disponiendo cada uno de válvulas de admisión cilíndricas planas y válvulas de envío de bola.

El eje de impulsión, arrastrado por la correa, provoca el desplazamiento de los émbolos por la acción de su excentricidad y con la interposición de elementos de fricción, haciendo que describan un movimiento de ascenso y descenso senoidal.

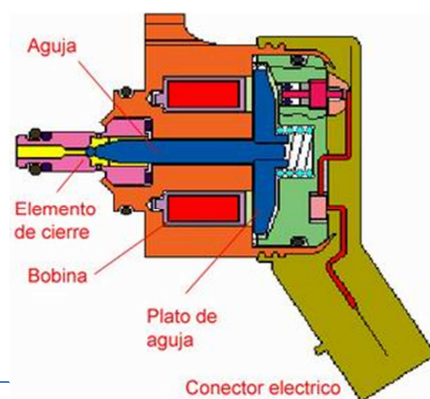
La bomba recibe el combustible con una presión de 2.5 bares. Éste se dirige hacia la cámara de abasto de combustible o bien hacia el circuito de lubricación y refrigeración de la bomba de alta presión.

Si la presión de envío supera la presión de apertura de la válvula de seguridad (0,5 ...1,5 bares), el combustible pasa a través de las válvulas de admisión hacia los elementos de bomba, en los que el émbolo se encuentra en desplazamiento hacia abajo (carrera aspirante). Al sobrepasarse el punto muerto inferior de un émbolo, la válvula de admisión cierra debido a la caída de presión que se produce. De esta forma el combustible queda encerrado en el elemento de bomba. En el movimiento ascendente del pistón, el combustible es sometido a una presión superior a la presión de cierre de la válvula de bola, que se abrirá permitiendo el paso del mismo al raíl común.

#### 2. DESACTIVADOR DEL TERCER INYECTOR.

La bomba incorpora un desactivador que anula el efecto de uno de los pistones de la bomba. Está formado por una electroválvula gobernada por la unidad de mando que mueve un elemento de cierre. Cuando la bobina de esta electroválvula es activada, queda abierto un paso que comunica la zona de alta presión con la de baja en uno de los cilindros, por lo que éste no genera presión.

Esto ocurre cuando la temperatura del combustible alcanza los 106°C, cuando el motor funciona a baja carga y en caso de emergencia. De esta forma, se disminuye la





potencia absorbida por la bomba y el sobrecalentamiento del combustible por laminación.

### 3. REGULADOR DE PRESIÓN

El regulador de presión tiene la misión de regular el valor de la presión con que llega el combustible a los inyectores y está integrado en la bomba de alta presión, aunque en determinados montajes puede estarlo en el propio rail común.

La válvula está compuesta por un conjunto mecánico y una bobina gobernada por la unidad de mando. El conjunto está formado por un mando válvula sobre el que se apoya el núcleo con elemento de cierre de bola. Este elemento está normalmente cerrado por la acción de un muelle tarado junto con un ánclora.

En situación de reposo (bobina sin corriente) la oposición del núcleo empujado por los elementos elásticos, opone una resistencia al paso del combustible provocando que éste alcance una presión de 150 bares en el rail común.

La excitación de la bobina provoca una atracción del núcleo hacia el sentido de cierre que reduce la sección y en consecuencia el caudal de paso y un aumento de presión hasta el valor deseado por la unidad de mando. La cantidad de combustible cortada por la válvula reguladora de presión vuelve al depósito a través del conducto de retorno.

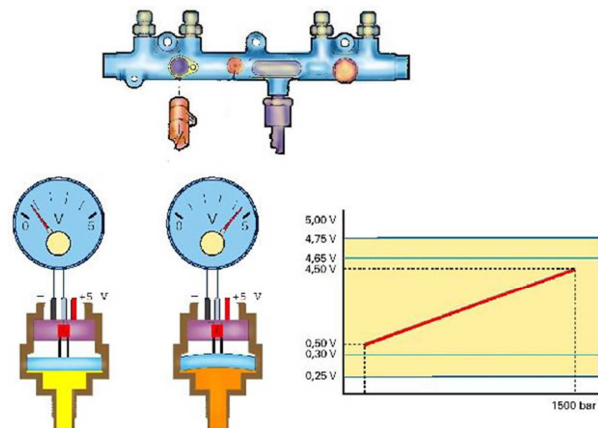
La alimentación de la bobina se realiza con una señal cuadrada con 200 Hz de frecuencia fija y un ancho de pulso (duty-cycle) variable entre el 1% y el 95%.

El valor de la presión real es controlado por la unidad de mando mediante el sensor de presión en el rail común.

Este elemento es del que toma nombre el sistema y consiste en un colector o regleta de distribución que actúa como amortiguador de las pulsaciones causadas por la bomba de alta presión y por la pérdida de combustible durante la inyección.

El efecto amortiguador se basa en el volumen interno, aproximadamente 35 c.c., elevado en comparación con el volumen inyectado, pero no tanto como para provocar retardos en arranque debidos al reabastecimiento de combustible.

Está construido con acero de alta calidad para soportar las elevadas presiones de trabajo y su forma es generalmente cilíndrica con los consiguientes ingresos para los inyectores. En él está colocado también el sensor de presión.



### 4. SENSOR DE PRESIÓN

El sensor de presión del combustible está ubicado en el rail común y tiene como misión la de medir la presión momentánea en el sistema de alta presión para que la unidad de mando pueda determinar la señal de gobierno de los inyectores.



## PROYECTO DE MOTORES Sistemas de Inyección Electrónica



Su funcionamiento se basa en la variación de resistencia que se produce en un elemento sensible cuando es sometido a presión. A medida que aumenta la presión se reduce la resistencia del sensor, aumentando correspondientemente la tensión de la señal.

Esta tensión de salida ha sido amplificada en el circuito electrónico existente en el propio sensor y que funciona con una tensión de alimentación de 5 V.

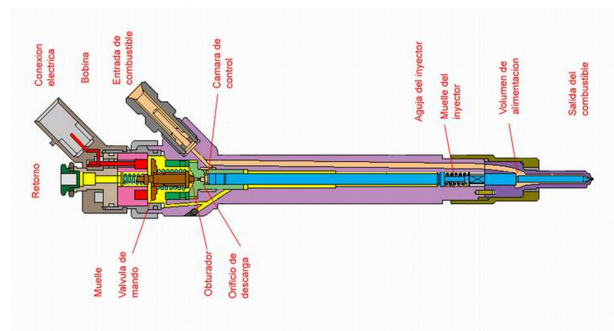
Este sensor de precisión es el componente más importante del sistema, y en caso de avería, es excitado con una señal de valor fijo.



### 5. CIRCUITO INYECTOR. INYECTORES

Los inyectores tienen como misión la de dosificar el combustible y conseguir su completa pulverización. Para ello cuentan con una electroválvula de mando situada en la parte superior, un sistema hidráulico de gestión junto con los canales por donde circula el combustible y una tobera de inyección con 5 ó 6 finos orificios.

El combustible circula desde la conexión de alta presión a través de un canal hasta la tobera de inyección, al igual que lo hace hacia la zona llamada volumen de control a través del estrangulador. Esta zona está comunicada con el retorno de combustible a través del estrangulador de salida, normalmente cerrado y que se abre en función de la excitación de la electroválvula. Mediante el control del caudal de combustible desalojado del volumen de control se modifica la presión que se ejerce sobre la cabeza del pistón, por lo tanto del caudal inyectado.



### 6. SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICA

La unidad de control del sistema Common-Rail tiene como principal misión la de calcular la cantidad de combustible que se ha de inyectar en cada cilindro, determinar el orden de inyección y el momento justo en que se produce la inyección (avance de la inyección), pero también lleva a cabo el control del sistema de precalentamiento, la regulación de la presión de soplado del turbo, la recirculación de los gases de escape y la calefacción adicional.

Para realizar esta gestión dispone de una serie de componentes que le informan de las variables a tener en cuenta y que se agrupan bajo el término de elementos sensores.

Bajo su control tiene otra serie de componentes que realizan diferentes trabajos y que se denominan elementos actuadores. Todos ellos están interconectados con el circuito eléctrico a la unidad de mando.





La unidad de mando emplea diferentes estrategias para el gobierno de los diferentes subsistemas que se analizan como funciones del sistema.

Las funciones asumidas por la unidad de mando son las siguientes:

- ✚ Cálculo de la cantidad de combustible necesario en cada momento, determinado cilindro a cilindro.
- ✚ Control de la bomba auxiliar de combustible.
- ✚ Control de la presión de inyección.
- ✚ Enriquecimiento en fase de arranque.
- ✚ Corte de inyección en marcha por inercia.
- ✚ Limitación del caudal inyectado por humos.
- ✚ Regulación del ralentí.
- ✚ Límite de revoluciones máximas.
- ✚ Corrección del caudal para suavidad de marcha.
- ✚ Cálculo del momento de inyección básico y de adaptación para el arranque y el calentamiento.
- ✚ Control de la electroválvula de la recirculación de gases de escape.
- ✚ Control de la electroválvula para la regulación de presión de soplado del turbo.
- ✚ Control del sistema de calefacción adicional.
- ✚ Control de los calentadores en fase precalentamiento y postarranque.
- ✚ Control de la temperatura del combustible.
- ✚ Control de la temperatura del motor.
- ✚ Diagnósis de averías en componentes del sistema.

## 5. CONTROL DE EMISIONES

Actualmente las legislaciones vigentes en materia de emisiones gases de escape son más rigurosas. En la busca de un desarrollo sostenible Es por ello que los gases de escape son tratados antes de ser emitidos a la atmosfera, en busca de minimizar los impactos negativos sobre el medio ambiente, este proceso se realiza colocando en un catalizador a la salida de los gases de escape.

No es un filtro, sino un reactor químico en el que suceden reacciones de conversión entre los gases y los metales preciosos incluidos en él (catálisis).

El catalizador de tres vías cumple con los requerimientos solicitados, su función es convertir los tres componentes contaminantes HC (Hidrocarburos), CO (Monóxido de carbono) y NOx (óxidos de nitrógeno) producidos durante la combustión de la mezcla de aire y combustible, en componentes inofensivos o de menor impacto. Como productos finales se originan H<sub>2</sub>O (vapor de agua), CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y N<sub>2</sub> (nitrógeno).

La conversión de los contaminantes se efectúa en dos fases (Fig. 1): El monóxido de carbono CO y los hidrocarburos HC se transforman por oxidación (Ecuación 1 y 2). El oxígeno necesario para la oxidación o está en los gases de escape como oxígeno residual a causa de una combustión incompleta, o se toma de los óxidos de nitrógeno, que de este modo son reducidos como se ve en las ecuaciones 3 y 4.



Ecuaciones de las reacciones en el catalizador de tres vías

Para obtener un alto grado de rendimiento del catalizador de tres vías y un buen margen de minimización de los componentes contaminantes es necesario que se encuentre en un buen equilibrio químico. Para ello es necesario que la composición estequiometría de la mezcla  $\lambda$  sea próxima o igual a 1. Para ello será necesario que el campo de regulación Lambda en la que ha de encontrarse el circuito de regulación de aire y combustible, sea muy pequeña. Esto se logra mediante la implementación de un “sensor de oxígeno o sonda Lambda”

### 5.1. CONSTITUCIÓN DE LOS CATALIZADORES DE TRES VÍAS

El catalizador (Fig. 2) se compone de un recipiente de chapa como cuerpo (6), un soporte (5) y el recubrimiento catalítico activo de metal precioso (4).

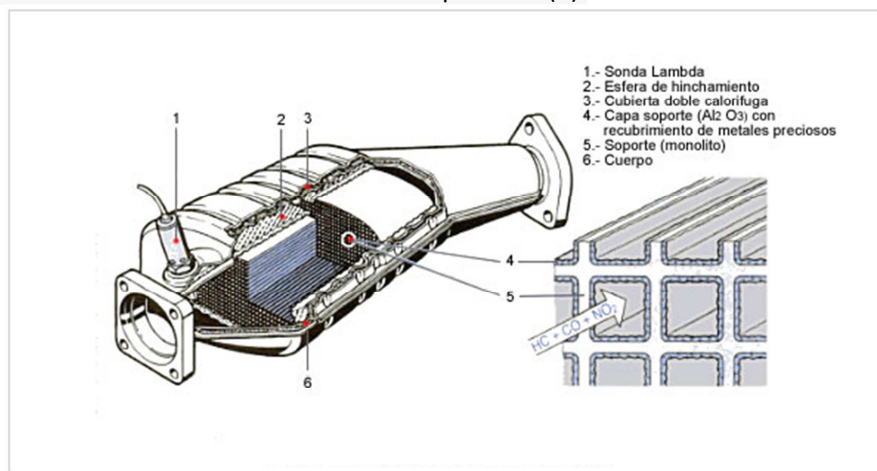


Fig. 2 Esquema interno de un catalizador de tres vías

Soporte

Como soporte se han impuesto dos sistemas:

- Monolitos cerámicos:

Los monolitos cerámicos son cuerpos de cerámica atravesados por varios miles de pequeños canales, estos son recorridos por los gases de escape. La cerámica se compone de magnesio-aluminio-silicato resistente a altas temperaturas. El monolito, que reacciona de modo extremadamente sensible a tensiones mecánicas, está fijado dentro de un cuerpo de chapa. Para ello se emplean esteras minerales de hinchamiento (2), que en el primer calentamiento se expanden permaneciendo en este estado y sirven al mismo tiempo de elemento estanqueizante frente a los gases de escape.



## PROYECTO DE MOTORES Sistemas de Inyección Electrónica



Los monolitos cerámicos actualmente son los soportes de catalizador aplicados con más frecuencia.

- Monolitos metálicos

El catalizador metálico es una alternativa, al monolito cerámico. Consiste en un arrollamiento de una delgada hoja metálica finamente ondulada de 0,05 mm de espesor, habiendo sido soldado en un proceso de alta temperatura. Gracias a las delgadas paredes se pueden disponer más canales sobre una misma superficie. Eso significa una menor resistencia para los gases de escape, lo que aporta ventajas para la optimización del rendimiento de motores de alta potencia.

Temperatura de servicio:

La temperatura del catalizador tiene muchísima importancia en la depuración de los gases de escape. En el catalizador de tres vías no se inicia una conversión de los contaminantes eficiente hasta alcanzarse una temperatura de servicio de más de 300°C. Para altas cuotas de conversión y una larga duración reinan condiciones de servicio ideales en el margen de temperaturas de 400 a 800 °C. El envejecimiento térmico aumenta notablemente en el margen de 800 a 1000°C por sinterización de los metales preciosos. El tiempo de servicio también tiene gran influencia en este margen de temperatura. Por encima de 1000°C el envejecimiento térmico aumenta enormemente y ocasiona la casi completa ineficacia del catalizador.

Por funcionamiento incorrecto del motor (p.ej. fallos del encendido), puede subir la temperatura en el catalizador hasta 1400°C. Tales temperaturas causan la destrucción total del catalizador por fusión del material de soporte. Para impedirlo, particularmente el sistema de encendido ha de trabajar de modo muy fiable y exento de mantenimiento, los modernos mandos del motor pueden identificar fallos del encendido y de la combustión. Estos mandos impiden en caso dado la inyección para el correspondiente cilindro, no llegando así mezcla alguna sin quemar al sistema de escape

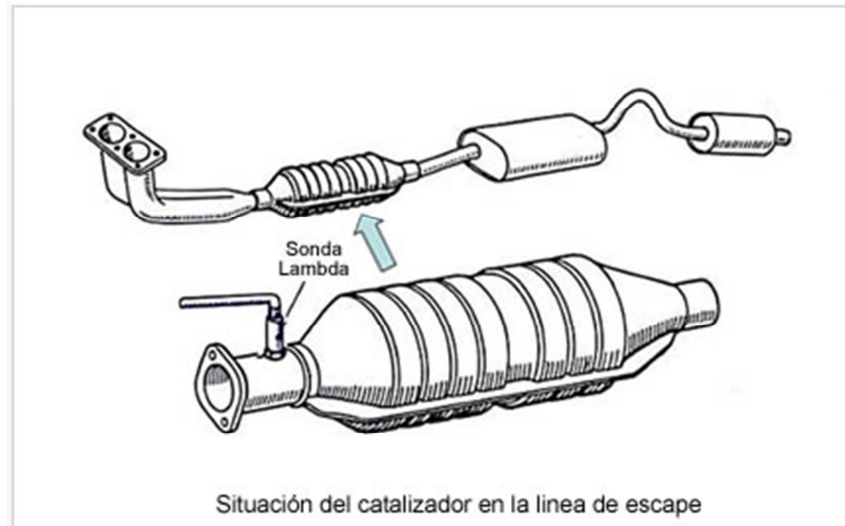
Combustible sin plomo

Otra condición para un servicio confiable de larga duración es el funcionamiento del motor con combustible sin plomo. Los compuestos de plomo se posan en los poros de la superficie activa o se depositan directamente sobre ellos y reducen su cantidad. Pero también residuos del aceite motor pueden destruir el catalizador hasta inutilizarlo.

Lugar de montaje

Las severas prescripciones sobre gases de escape exigen conceptos especiales para el calentamiento del catalizador al arrancar el motor. Esos conceptos (p.ej. insuflación de aire secundario, variación del ángulo de encendido en dirección hacia "retardo") determinan el lugar de montaje del catalizador. Las propiedades del catalizador de tres vías respecto a la temperatura de servicio limitan la posibilidad de montaje. Partiendo de las condiciones térmicas necesarias para una alta transformación, es indispensable montar el catalizador de tres vías cerca del motor.

Para el catalizador de tres vías se ha impuesto en lo esencial su disposición dividida con un catalizador previo cerca del motor y un catalizador debajo del piso, los catalizadores dispuestos cerca del motor requieren una optimización del recubrimiento en el sentido de estabilidad respecto a altas temperaturas; los catalizadores bajo el piso, en el sentido de "low light off" (baja "temperatura de arranque"), así como una buena transformación de NOx.



#### A. EFECTIVIDAD DEL CONTROL

El tratamiento sucesivo de los gases de escape con ayuda del catalizador de tres vías en la actualidad es el procedimiento de depuración de gases de escape más eficaz para el motor de nafta con distribución homogénea de la mezcla  $\text{Lambda} = 1$ . Una parte integrante es la regulación lambda, que vigila la composición de la mezcla de aire y combustible. Con el catalizador de tres vías se puede impedir casi por completo la expulsión de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, con una distribución homogénea de la mezcla y una composición estequiométrica de ésta. Estas condiciones ideales de servicio, sin embargo, no se pueden mantener siempre. Ello no obstante, se puede partir por término medio de una reducción de los contaminantes del más del 98%.

#### B. SONDA LAMBDA O SENSOR DE OXIGENO

La sonda lambda detecta constantemente la composición del gas de escape. Ante cualquier cambio de voltaje en la salida del sensor, la unidad de control del motor (ECU), instruye al sistema de mezcla de combustible para que modifique la riqueza de la mezcla (véase Fig. 2). A esto es a lo que se llama control en circuito cerrado y garantiza una correcta riqueza de la mezcla en todas las ocasiones y el rendimiento óptimo del catalizador. Al mismo tiempo, asegura unas condiciones de conducción óptimas.

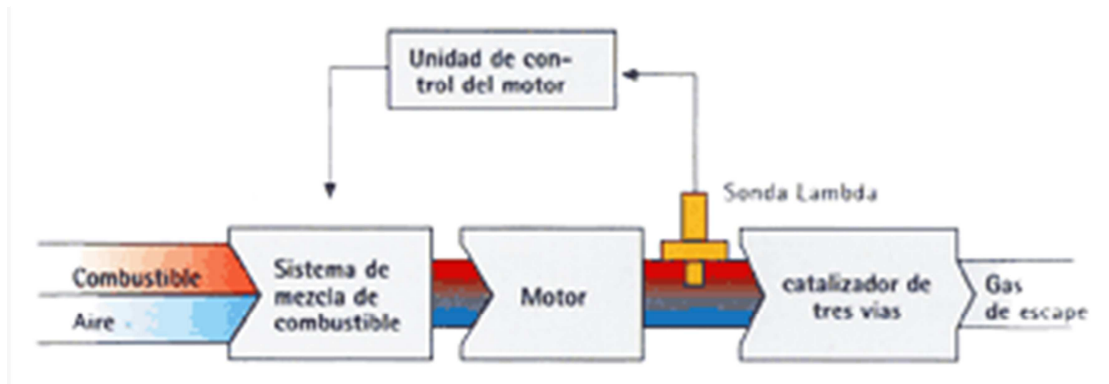


Fig. 2 Esquema de distribución del sistema de control de emisiones

### B.1) FUNCIONAMIENTO DE LA SONTA LAMBDA

Hay dos tipos de sondas lambda que se diferencian por los distintos elementos cerámicos que usan para detectar la composición del gas de escape.

Sensores de zirconio: El exterior del elemento de zirconio está en contacto con el gas de escape y el interior, en contacto con el aire. Ambas superficies del elemento están revestidas con una fina capa de platino. Los iones de oxígeno pueden pasar a través del elemento y depositar una carga en la capa de platino. Estas capas de platino son los electrodos, que transmiten la señal del sensor desde el elemento hasta el cable de carga (vea Fig. 3).

El elemento de zirconio conduce los iones de oxígeno cuando la temperatura excede aproximadamente de 300° C. Debido a las propiedades especiales de dicho elemento, cuando la concentración de oxígeno a uno y otro lado del mismo es diferente, se genera una diferencia de potencial. Si la mezcla de aire-combustible es excesivamente pobre, la tensión generada es baja, y si es excesivamente rica, la tensión que se genera es alta. Alrededor de 14,7:1, relación aire / combustible, la tensión cambia bruscamente Fig. 4.

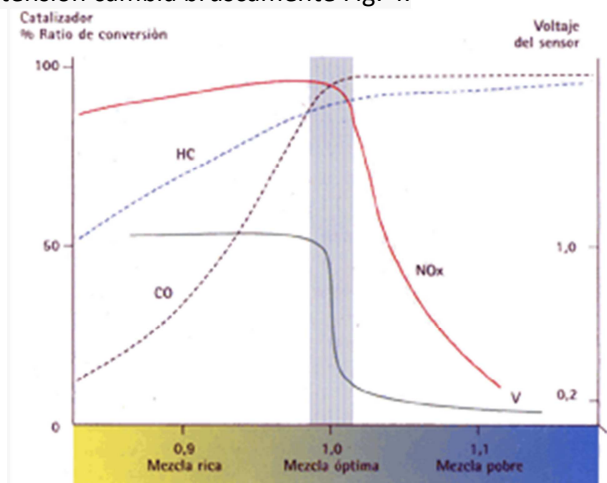


Fig. 4 Variación de la tensión V en función de λ.





Dicha relación exacta de aire/combustible se conoce como Lambda Pi 1,0 y es la razón por la que los sensores se denominan sondas Lambda. La ECU utiliza la tensión producida por la sonda Lambda para ordenar al sistema de mezcla de combustible que aumente o disminuya la riqueza de la misma. Como el sensor sólo genera tensión cuando el elemento está por encima de unos 300°C, el gas de escape requiere muy poco tiempo para calentar el elemento hasta esa temperatura después de haber puesto en funcionamiento el motor. Para reducir el tiempo que el sensor emplea en activarse, la mayor parte de los sensores actuales se instalan con un calentador cerámico interior. Estos sensores tienen 3 ó 4 hilos conductores.

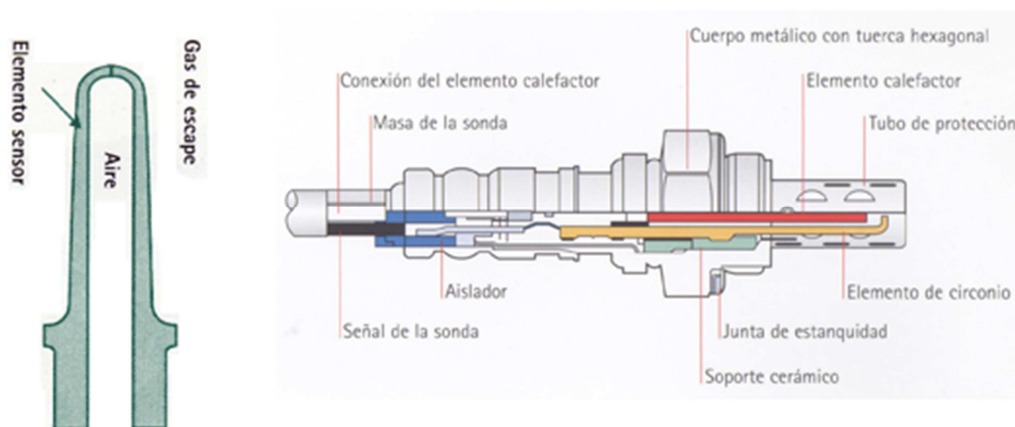


Fig. 4 Sensor de zirconio

Sensores de titanio: El elemento de titanio de estos sensores no genera tensión alguna, a diferencia de lo que ocurre con el elemento de zirconio. En lugar de ello, cambia la resistencia eléctrica del elemento de titanio según la concentración de oxígeno en el gas de escape. Al valor Lambda 1,0 corresponde un cambio grande del valor resistivo del elemento. Así, cuando se aplica una tensión al elemento, el valor de la tensión de salida varía en función de la concentración de oxígeno en el gas de escape. Esta señal procedente del sensor la utiliza la ECU para ejercer el control en circuito cerrado. Como los sensores de titanio no necesitan aire en un lado del elemento, pueden ser mucho más reducidos y quedar completamente sumergidos en el flujo del gas. El elemento sensor, sus electrodos de platino y el elemento calefactor van montados en un substrato cerámica. Los sensores de titanio y de zirconio no son intercambiables entre sí debido a la diferencia de tamaño y a las distintas estrategias de control que emplean uno y otro para interpretar la señal del sensor.

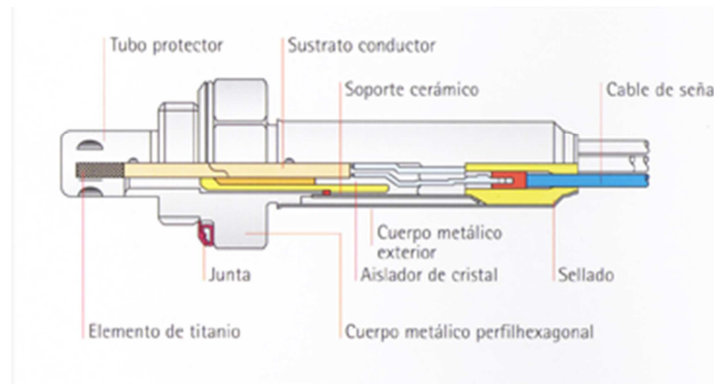


Fig. 5 Sensor de titanio

## 6. MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE SISTEMAS DE INYECCIÓN

Para poder llevar a cabo el mantenimiento y reparación de sistemas de inyección de motores actuales se requiere instrumental y conocimientos en permanente actualización. Mediante un correcto seguimiento de los mismos se evitarán gastos innecesarios de reemplazos de componentes. A continuación de listan algunos ensayos y acciones de mantenimiento preventivo.

### A. TESTEO DE INYECCIÓN:

Diagnóstico y localización de fallas del sistema de inyección electrónica, realizado por scanner con reglajes específicos de la marca y modelo.

Limpieza de inyectores:

A medida que el motor de un automóvil acumula horas de funcionamiento los inyectores van perdiendo eficacia por razones como la contaminación, carbones y otras impurezas. Sumado a la disminución de potencia del motor, aumenta el consumo de combustible dado que la computadora compensará dicha situación de menor potencia aumentando la dosificación de combustible.

Según el mantenimiento requerido se tienen distintas frecuencias. Cada 10.000 KM se debe realizar los respectivos controles al sistema de inyección y cada 30.000 km limpieza de los componentes de inyección (Inyectores, cuerpo mariposa, y control de presión de combustible). En el caso que corresponda se realizara el eventual reemplazo evitando de estas formas pérdidas del rendimiento del motor y eventuales fallas en otros componentes del sistema.

Test de sensores

Los sensores del funcionamiento del sistema de combustible también deben ser probados dado que manejan información vital en su comunicación con la computadora. Un mal desempeño de los mismos ocasiona fallas (constantes o aleatorias) y baja de rendimiento, pudiendo ser evidenciado en la disminución de potencia o aumento del consumo. Estos sensores son testeados con reglajes específicos del modelo de vehículo para evitar reemplazos innecesarios.

Test de actuadores



## PROYECTO DE MOTORES Sistemas de Inyección Electrónica



Estos componentes son los encargados de decodificar la información de la computadora y por ejemplo dosificar la mezcla o mantener el régimen de marcha mínima en todas las condiciones de temperatura, las deficiencias en estos dispositivos no procesarán de forma adecuada la información de la computadora generando fallas, aceleraciones indeseadas y otras fallas.

### Sistema de combustible

Para controlar este sistema de forma íntegra se debe verificar la presión y caudal en distintos regímenes de uso a fin de verificar el correcto funcionamiento del conjunto compuesto por la bomba, el filtro y el regulador.

## B. ACERCA DE LOS INYECTORES

Como se ha analizado anteriormente, los inyectores son válvulas electromagnéticas encargadas de suministrar el combustible al motor, estos poseen un orificio de entrada de combustible y uno o varios orificios por de salida. Las salidas en especial se fabrican con tolerancias muy estrechas, y en funcionamiento solo se mantienen abiertas por milisegundos (aproximadamente de 2 a 15 milisegundos), dependiendo de la condición de exigencia del vehículo.

La entrada de gasolina en el inyector se protege con una malla filtrante fina de aproximadamente 20 micrones. Cuando un impulso electrónico abre la válvula, se hace pasar con gran presión a través de los pequeños orificios dosificadores una cantidad precisa de combustible. Por lo mencionado, todo el sistema de inyección depende del buen funcionamiento de los inyectores.

## C. CONSECUENCIAS DE LA SUCIEDAD

Cuando las partículas, químicos y barnices contenidos en la gasolina se acumulan en el interior del inyector, en la malla filtrante, en la aguja, en el asiento de la aguja o en los orificios de salida, comienzan los problemas de funcionamiento. Dichos sedimentos se cristalizan, como consecuencia de las diferencias de temperaturas a las que está sometido el motor. Esta acumulación de depósitos puede cambiar drásticamente el funcionamiento de los inyectores y por lo tanto el buen funcionamiento del vehículo.

Este proceso de deterioro ocurrirá sin importar la marca y modelo del vehículo, el tipo de gasolina que use o lo cuidadoso que sea la forma de conducir el vehículo. Es un proceso natural, por lo cual todo inyector requiere de mantenimiento periódico

Técnicamente se ha demostrado que una acumulación de partículas en el interior del inyector de sólo 5 micrones, puede reducir el caudal hasta en un 25%, es decir, cualquier partícula en el interior del inyector puede afectar el caudal de combustible, cambiar la correcta atomización, lograr una mala combustión, provocando incorrectas emisiones de escape, un mayor consumo de combustible y un funcionamiento inadecuado del motor.

El buen funcionamiento de los inyectores es vital en el rendimiento de los vehículos. Si la mezcla de combustible y aire varía en solo el 1%, puede tener un efecto adverso en la cualidad del sistema computarizado para controlar la mezcla que a su vez mantiene el mínimo del motor. La mala atomización también causa problemas con sensor de oxígeno (sonda lambda) y tapa o daña el convertidor catalítico, debido a la mala combustión, lo cual resulta muy costoso de reemplazar.



## PROYECTO DE MOTORES Sistemas de Inyección Electrónica



Por lo tanto es necesario tener inyectores limpios para lograr una atomización adecuada. Una buena combustión dentro del motor depende de la correcta atomización del combustible. Para obtener menor contaminación ambiental, un mejor rendimiento del motor, economía de combustible, y una buena conducción del vehículo, la correcta atomización no es una opción, es un requerimiento.

Los vehículos actuales están equipados con un sistema electrónico de autodiagnóstico que identifica de forma rápida y precisa los componentes defectuosos en el motor. Sin embargo, los inyectores son en parte electrónicos y en parte mecánicos, y es precisamente la parte mecánica la que es afectada por los agentes contaminantes.

El funcionamiento mecánico de los inyectores no se puede verificar con precisión montados en el vehículo. Los mismos deben ser desmontados para ser analizados cuidadosamente en cuanto a la existencia de fugas, atomizado y caudal de alimentación de combustible con un amplio programa de simulación.

### D. ACONDICIONAMIENTO DE INYECTORES

Cuando se los desmonta se los coloca en un banco de pruebas para su evaluación. En el proceso se le retiran los componentes al inyector: puntas o casquillos, los sellos y micro filtros. A continuación se le realizan los siguientes ensayos:

**Prueba de fugas:** Consiste en observar si hay fugas o no por la punta o cuerpo de ensamblaje del inyector. En el banco de prueba el regulador de presión variable permite ajustar la presión del sistema al mismo valor existente en el vehículo.

**Prueba de atomizado:** se determina la calidad del atomizado por parte el inyector. Se simula el funcionamiento de los mismos como si estuviesen en el vehículo trabajando a los mismos regímenes de exigencia.

**Prueba de llenado:** se mide la cantidad de combustible que suministran los inyectores al motor, pudiéndose comprobar la deficiencia o exceso en cada uno particularmente.

**Funcionamiento electrónico:** esta prueba testea el funcionamiento electrónico general cuando se presentan diferentes condiciones de operación o funcionamiento.

Según los resultados obtenidos de dichas pruebas es posible determinar si los inyectores ameritan o no la limpieza por ultrasonido. El proceso de limpieza por ultrasonido destruye en solo 10 minutos, todas las partículas y agentes contaminantes cristalizados que se encuentran en el interior del inyector, los cuales impiden el correcto flujo de combustible a través de estos, devolviéndolos a sus condiciones normales de funcionamiento.

Después que los inyectores salen de la limpieza por ultrasonido, deben ser sometidos nuevamente a todas las pruebas anteriores y una vez que están correctamente ajustados y calibrados, se procede a la instalación de los componentes para posteriormente ser montados en el motor nuevamente.

La importancia de desmontar los inyectores y probarlos en bancos se debe a que la observación puede ser mas fina y meticulosa, pudiendo mejorar el nivel de mantenimiento.

Por ejemplo, un inyector que atomice incorrectamente el combustible podrá ser detectado solo en un banco de pruebas. A pesar que el vehículo funcione regularmente bien con estos inyectores, en realidad la marcha en mínimo resulta alterada, la distribución del combustible entre los cilindros no es homogénea y la mala atomización crea depósitos de carbón en los pistones y en las válvulas con el consecuente deterioro de los mismos.



## PROYECTO DE MOTORES Sistemas de Inyección Electrónica



Por tal motivo, a estos inyectores, es necesario aplicarles servicio para recuperar la correcta atomización, ya que de ella depende que haya una buena combustión. Para obtener un mejor rendimiento del motor, economía de combustible, y una buena conducción del vehículo, la correcta atomización no es una opción, es un requerimiento.

Si los inyectores no entregan la cantidad correcta de combustible, el rendimiento del motor sufre pérdida de potencia, mayor consumo de gasolina y depósito de carbón en los pistones y válvulas, lo cual provoca un consumo prematuro de aceite de motor. Por esta razón, darle mantenimiento a sus inyectores puede ahorrarle mucho dinero en combustible y gastos en reparaciones.

La limpieza de los inyectores por ultrasonido es la única manera de eliminar las partículas y así garantizar que los inyectores queden realmente limpios y retornen a su condición original de funcionamiento ya que la limpieza hecha de otra manera, puede deteriorar el inyector o hasta el mismo motor.

### E. LIMPIEZA DE INYECTORES

Es de vital importancia que se efectúe la limpieza de los inyectores luego de un periodo de funcionamiento, debido a la formación de sedimentos en su interior que impiden la pulverización adecuada del combustible dentro del cilindro, produciendo marcha lenta irregular, pérdida de potencia que poco a poco se va apreciando en la conducción.

Limpieza de inyectores sin desmontar del motor.

Existen líquidos limpiadores de inyectores que se pueden agregar al combustible, y que son relativamente efectivos. Estos limpiadores se le pueden agregar al combustible periódicamente

Otra forma de limpiar los inyectores más rápidamente es inyectar en el sistema de inyección solventes desincrustadores directamente con el combustible mientras el motor se encuentra en marcha acelerada a un nivel de RPM que permita el arrastre de las incrustaciones y el carbón que se puedan haber depositado en los inyectores.

De todos modos estos no son los métodos con mayor efectividad, y en algún momento será inevitable una limpieza de mayor intensidad.

Limpieza de inyectores por ultrasonido

Este procedimiento consiste en desmontar los inyectores del motor y luego ponerlos a funcionar dentro de un Equipo de Ultrasonido.

Los inyectores deben estar funcionando bajo la acción de un Generador de pulsos y al mismo tiempo estar sometidos a la acción de un Equipo de Ultrasonido.

Un equipo limpia por el fenómeno de Cavitación Ultrasónica, mediante el cual es posible comprender el principio del lavado por ultrasonido.

En un medio líquido, las señales de alta frecuencia producidas por un oscilador electrónico y enviadas a un transductor especialmente colocado en la base de una batea de acero inoxidable que contiene dicho líquido, generan ondas de compresión y depresión a una altísima velocidad. Esta velocidad depende de la frecuencia de trabajo del generador de ultrasonido. Generalmente estos trabajan en una frecuencia comprendida entre 24 y 55 KHz. Las ondas de compresión y depresión en el líquido originan el fenómeno conocido como "Cavitación Ultrasónica".

Procedimiento



## PROYECTO DE MOTORES Sistemas de Inyección Electrónica



1- Desmontar los inyectores del motor. Esto se consigue aflojando los tornillos del riel o rampa y luego sacando de a unos los inyectores. En muchos casos suelen tener unas trabas, que suelen estar colocadas en una ranura que tiene el cuello de cada inyector.

2-Una vez desmontado los inyectores, en un primer paso se los limpia externamente con cualquier desengrasante o un poco de gasolina.

3-Colocar los inyectores en el equipo de ultrasonido y simultáneamente conectar el generador de pulsos. Poner en funcionamiento el equipo de ultrasonido.

4-Luego de que el equipo estuvo funcionando por 15 minutos se deben retirar los inyectores del líquido y sopletearlos ingresando el aire comprimido por la boca de acceso del combustible a los inyectores. Para que el aire pase por dentro de los inyectores, el generador debe estar funcionando.

5-Repeter el procedimiento nuevamente. Desde el punto 3.

### 7. BIBLIOGRAFIA Y PÁGINAS WEB

Manual de Automoviles, Arias-Paz

Catálogo de tipos de inyectores y formas de inyección Bosh

LIMPIEZA DE INYECTORES (con ultrasonido)

Páginas web:

<http://cise.com/>

<http://www.aficionadosalamecanica.net> - Catalizadores

<http://www.iresaing.com>