



UTN-FRLP

Alimentación de Motores
de combustión Interna

Sistemas de Inyección de Motores

Alumno: Martin Andrés Sardiña

Profesores: Ing. Muriel Juan José

Ing. Arrospide Juan

La Plata- Buenos Aires-
Argentina-2017



Índice

1. Introducción.....	3
1.1. Marco histórico.....	3
1.2. Definiciones.....	12
1.2.1. Carburación:	12
1.2.2. Mezcla rica:	12
1.2.3. Mezcla pobre:	12
1.2.4. Mezcla estequiometrica:.....	12
1.2.5. Situaciones Puntuales de distintas relación de mezcla	16
Situación 1: máxima potencia.	16
Situación 2: máxima economía.	17
Situación 3: ralentí.	18
Situación 4: arranque en frío.	20
Situación 5: variación de la altura del motor.....	21
1.3. Objetivo.....	22
1.4. Alcance.	22
2. Sistemas de Inyección de motores.....	22
2.1. Inyección en Motores Encendidos por Chispa.....	22
2.1.1. Desarrollo de la Inyección a nafta.....	22
2.1.2. Historia de la Inyección Electrónica	23
2.1.3. Generalidades del principio de funcionamiento del Sistema de Inyección ..	24
2.1.4. Clasificación de los sistemas de inyección	25
2.1.4.1. Según el lugar donde Inyecta	25
2.1.4.2. Según el número de inyectores:.....	26
2.1.4.3. Según el número de inyecciones:	27
2.1.4.4. Según las características de funcionamiento:	28
2.1.5. Tipos de Sistemas de Inyección indirecta.....	28
2.1.5.1. Sistema L-Jetronic:.....	28
2.1.5.2. Sistema K-Jetronic	38
2.1.5.3. Sistema Ke-Jetronic.....	52
2.1.5.4. Sistema Mono-Jetronic.....	61
2.1.5.5. Sistema Motronic	69



2.1.5.6.	Sistema MOTRONIC M3	74
2.1.5.7.	Sistemas LH-Jetronic:	76
2.1.6.	Inyección Directa en Motores encendidos por chispa	78
2.2.	Inyección de Motores Encendidos por Compresión	91
2.2.1.	Clasificación de los Sistemas de Inyección Diesel	91
2.2.1.1.	Según el lugar donde es Inyectado	91
2.2.1.2.	Según su forma de general la Inyección.....	94
2.2.1.2.1.	Sistema de bomba Individual	94
2.2.1.2.1.1.	Bombas de Inyección en línea.....	94
2.2.1.2.1.2.	Bombas de Inyección Rotativas	95
2.2.1.2.2.	Unidad bomba-inyector UIS	97
2.2.1.2.3.	Unidad bomba-tubería-inyector UPS	97
2.2.1.2.4.	Sistemas de Inyección Electrónica de Conducto Común (Common Rail).....	98
3.	Bibliografía.	115



1. Introducción.

1.1. Marco histórico.

Al comienzo, cuando los primeros motores atmosféricos estaban siendo diseñados por varios inventores, un problema común era formar una mezcla encendible; allí radicaba la posibilidad de que el motor de combustión interna fuera a funcionar o no.

Los primeros carburadores fueron desarrollados en los primeros años del siglo XVIII. Los esfuerzos de los inventores, en ese momento, estaban enfocados en la vaporización de combustibles para ser utilizados con fines de iluminación y calefacción.

En 1795, Robert Street fue el primero en sugerir vaporizar aguarrás o creosote (aceite espeso, viscoso y cáustico que se obtiene por destilación de la madera, el alquitrán, etc.) en un motor atmosférico. Alrededor del 1825 Samuel Morey y Eskine Hazard desarrollaron un motor bicilíndrico para el cual también diseñaron el primer carburador. Para aquel entonces, las mezclas eran de kerosene o aguarrás.

Sin embargo, la situación cambió en 1833, cuando Eilhardt Mistcherlich, profesor de química en la universidad de Berlín, se las arregló para dividir al ácido benzoico. El resultado fue la bencina, precursor de los combustibles de hoy.

William Barnett diseñó y patentó el primer carburador para gasolina.

Para estos tiempos, esos diseños eran de carburadores de mecha o de superficie. El primer carburador en ser utilizado en un vehículo fue de mecha (Imagen “a” Figura 1). La mecha hacía subir el combustible, de forma similar al principio del aceite en una lámpara. La mecha era luego expuesta a una corriente de aire en el motor, causando la mezcla entre el combustible y el aire. En contraste, en los carburadores de superficie, en donde el combustible era calentado por los gases de escape del motor, el resultado era una capa de vapor justo por encima de la superficie del combustible (Imagen “b” Figura 1). Allí era mezclado para formar la requerida combinación aire combustible introduciendo una corriente de aire.

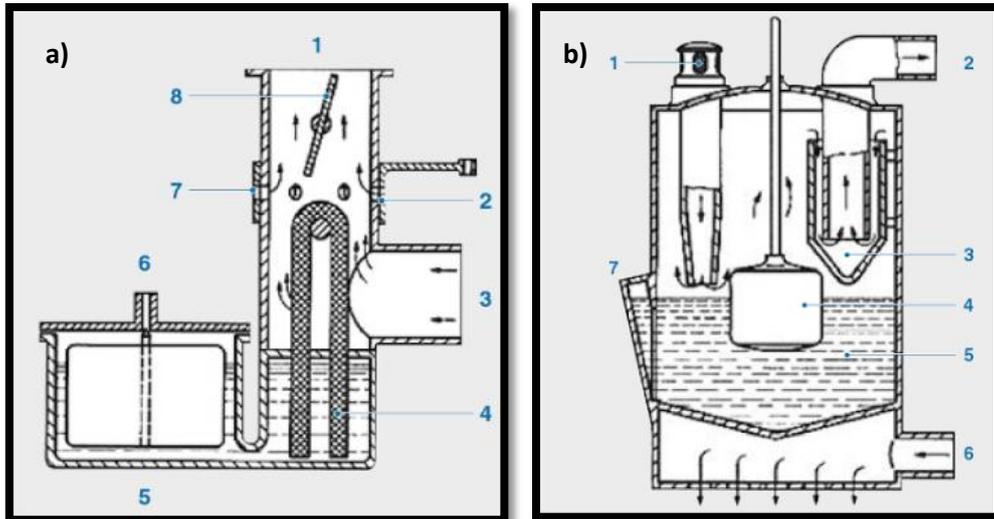


Figura 1: a) Primer Carburador. b) Deposito de gas y liquido combustible.

En Berlín, en 1882, Siegfried Marcus patentó el carburador de cepillo que había inventado. Este generador de mezcla usaba la interacción entre un cepillo cilíndrico rotando a gran velocidad y el combustible, para formar una niebla de combustible atomizado en la cámara del cepillo. Los carburadores de cepillo mantuvieron el dominio por alrededor de 11 años (Figura 2).

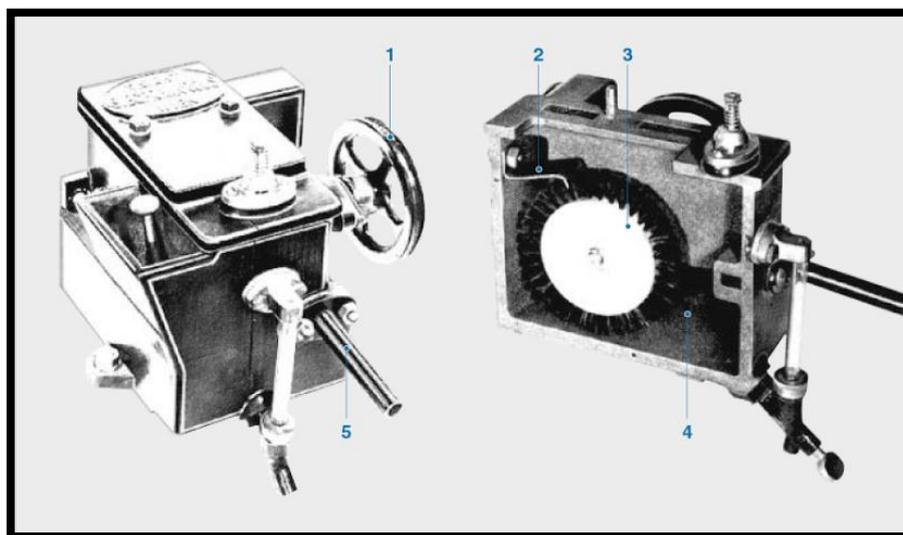


Figura 2: Carburadores de Cepillo.

Carburadores de superficie: el primer tipo de carburador en aparecer, junto con los denominados “de mecha” y “de cepillo”, fue el carburador de superficie. Introducido posteriormente al año 1885 por la firma Otto y Langen en Deutz. En el mismo año, Carl Benz instaló un carburador de superficie de su propio diseño en el primer automóvil



(Figura 3). Poco tiempo después, mejoró el diseño original agregando una válvula de flotación a su carburador para mantener el nivel de combustible constante.

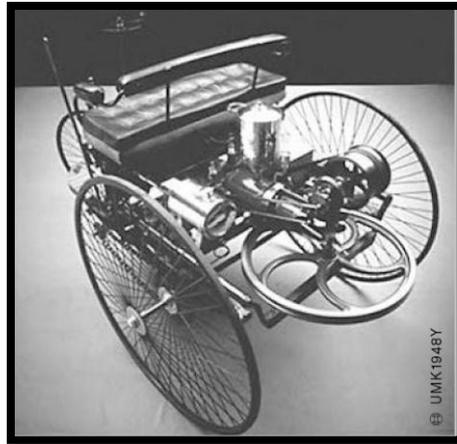
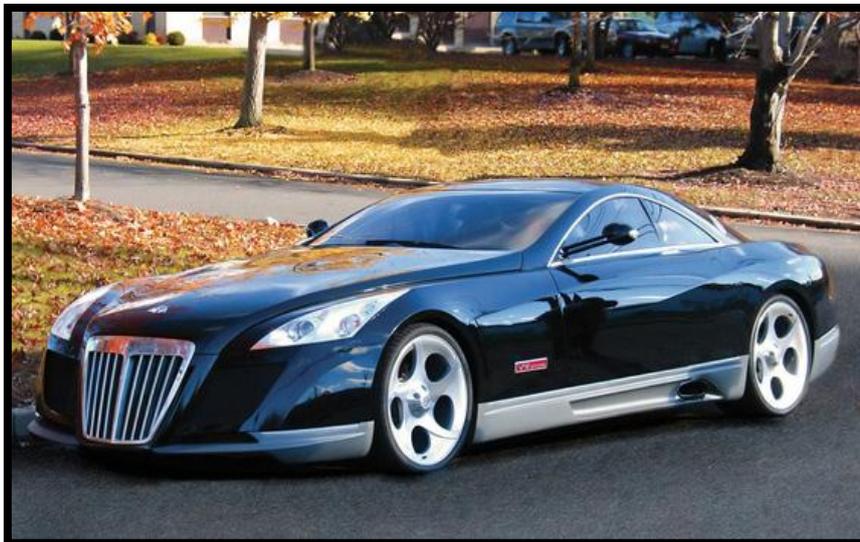


Figura 3: Primer automóvil de Carl Benz.

En 1893 Wilhelm Maybach introdujo su carburador de chorro. En su dispositivo, el combustible era rociado desde una boquilla hacia una superficie deflectora, que hacía que el mismo se distribuyera en forma cónica.

El señor Maybach es el responsable del nombre de la marca que lleva el, hoy en día, vehículo más caro del mundo. El Maybach Exelero, de U\$S 8.000.000.





En la Figura 4, a continuación, se ve el esquema del diseño propuesto por Wilhelm.

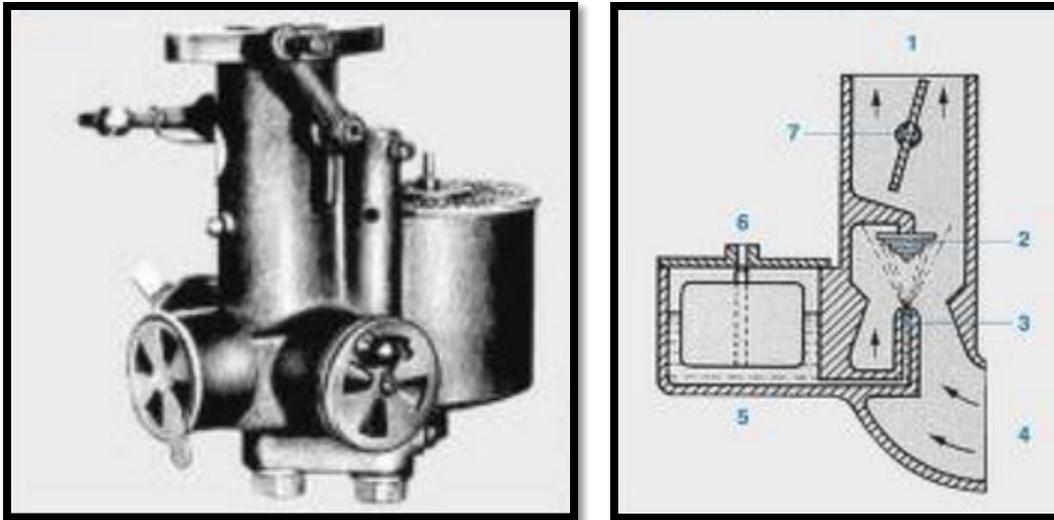


Figura 4: Carburador a chorro propuesto por Wilhelm.

Los años 1906 y 1907 vieron la llegada del carburador Claudel y los diseños de François Bavery, ambos trajeron más avance al diseño de estos dispositivos. En estos carburadores, que se volvieron famosos bajo el nombre comercial *Zenith* (figura a la derecha, modelo 1910), la mezcla pobre auxiliar, mediante pico compensador, entregaba una mezcla aire combustible constante a pesar de incrementar la velocidad.

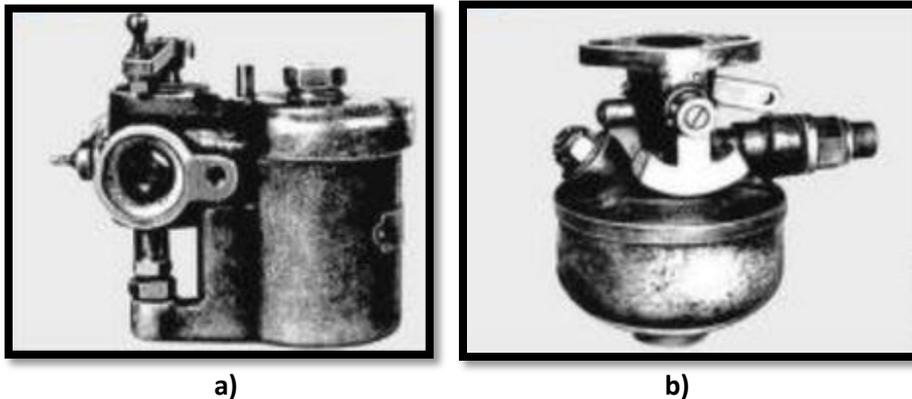


Figura 5: a) Carburador de Claudel. b) Carburador de François Bavery.

El mismo período a su vez vio aplicaciones de patentes asociadas al carburador de Mennesson y Goulard. Sus diseños se hicieron mundialmente famosos bajo el nombre comercial *Solex*.

Los años que siguieron produjeron la proliferación del diseño de carburadores. En este contexto, algunos de sus nombres, por ejemplo *Sum*, *Cudell*, *Favorit*, *Escoma* y *Graetzin*, merecen especial mención. Scuttler y Deutrich desarrollaron el carburador *Pallas* en 1912. Tenía anillo flotante y chorro de mezcla.



En 1914, en medio de la instancia a una invasión a Rusia, el real ministro de guerra de Rusia (Figura 6) esponsoró una competencia de carburadores de bencina. Aún en aquel entonces las especificaciones de la prueba incluían la condición de que los gases de escape debían estar tan limpios como fuera posible. De los productos competidores bajo el nombre de 14 marcas diferentes, fue un carburador *Zenith* el que se llevó el primer premio. Todos los carburadores fueron examinados en las instalaciones de la prueba en la Universidad tecnológica nacional de Charlottenburgo (cerca de Berlín, Alemania) y sometidos a una exigente prueba de invierno de 800 Km. en vehículos de idéntica potencia por la administración de la armada alemana.

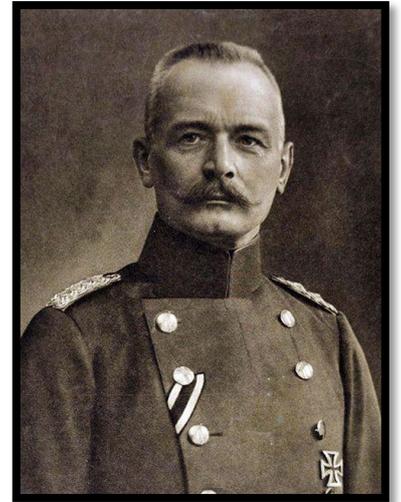


Figura 6

El período que siguió marcó el inicio de varios intentos y trabajos de especialización. Una variedad de configuraciones de modelos y dispositivos auxiliares



fueron desarrolladas. Por ejemplo cebadores, sistemas de diafragma en reemplazo de los flotadores para carburadores de aviones, y sistemas de bombas que proveían ayudas para la aceleración. La diversidad de estas modificaciones es tan extensa, que cualquier intento de descripción excedería el alcance de este trabajo.

Durante los 1920s, para obtener mayor potencia en los motores, fueron introducidos carburadores simples y dobles (dos bocas de admisión). En las décadas que siguieron, la variedad de carburadores creados por diversos fabricantes creció aún más.

Paralelamente, con la crecida del desarrollo de carburadores para motores de aviones, en el año 1930 vio el desarrollo del primer sistema de inyección de combustible con inyección directa. El motor requería dos bombas de combustible provistas por *Bosch* (Figura 7).

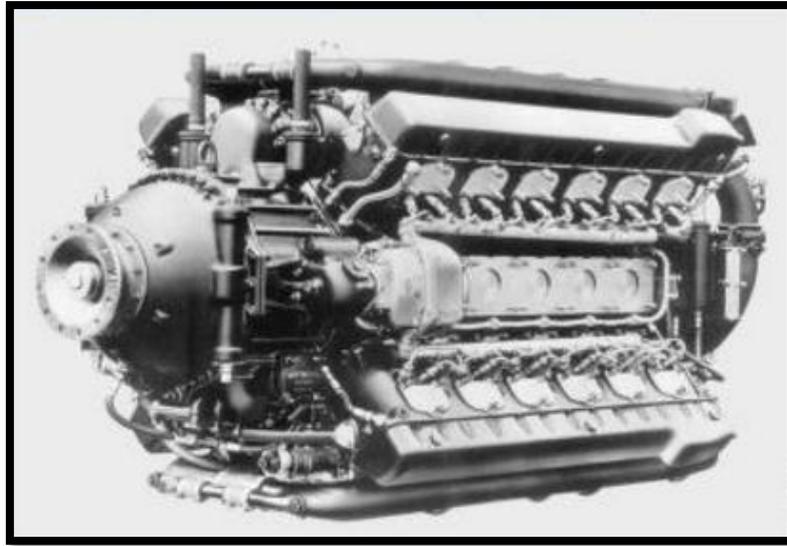


Figura 7: Primer motor con sistema de inyección directa.

En los 1950s, este tipo de sistema de inyección de combustible trabajando con inyección directa, hizo su debut en vehículos de pasajeros. Ejemplos de ello son el Gutbrod Superior de 1952 (Figura 8 “a”) y el Goliath GP700E (Figura 8 “b”) introducido en 1954 (mostrados en orden en las imágenes). Estos dos vehículos eran autos compactos impulsados por motores bicilíndricos de dos tiempos y menos de 1000cc. Sus bombas inyectoras de combustible eran muy compactas.

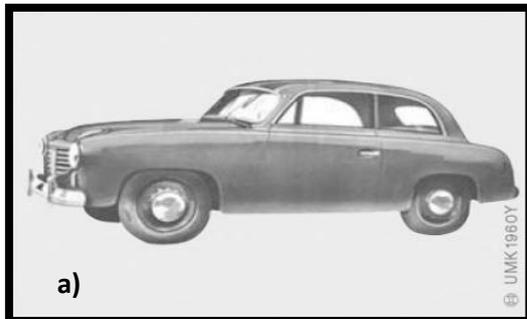


Figura 8: a) Gutbrod Superior de 1952. b) Goliath GP700E de 1954.

En la siguiente imagen se puede verse la bomba de combustible utilizada para tal sistema de inyección.

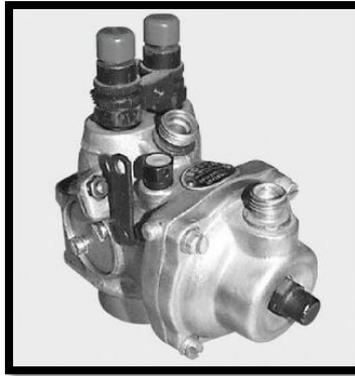


Figura 9: Bomba de Combustibles.

Un diagrama de este sistema de inyección de combustible, el cual entró en la historia de la automoción como el primer sistema de inyección directa en vehículos de pasajeros, se muestra en la Figura 10.

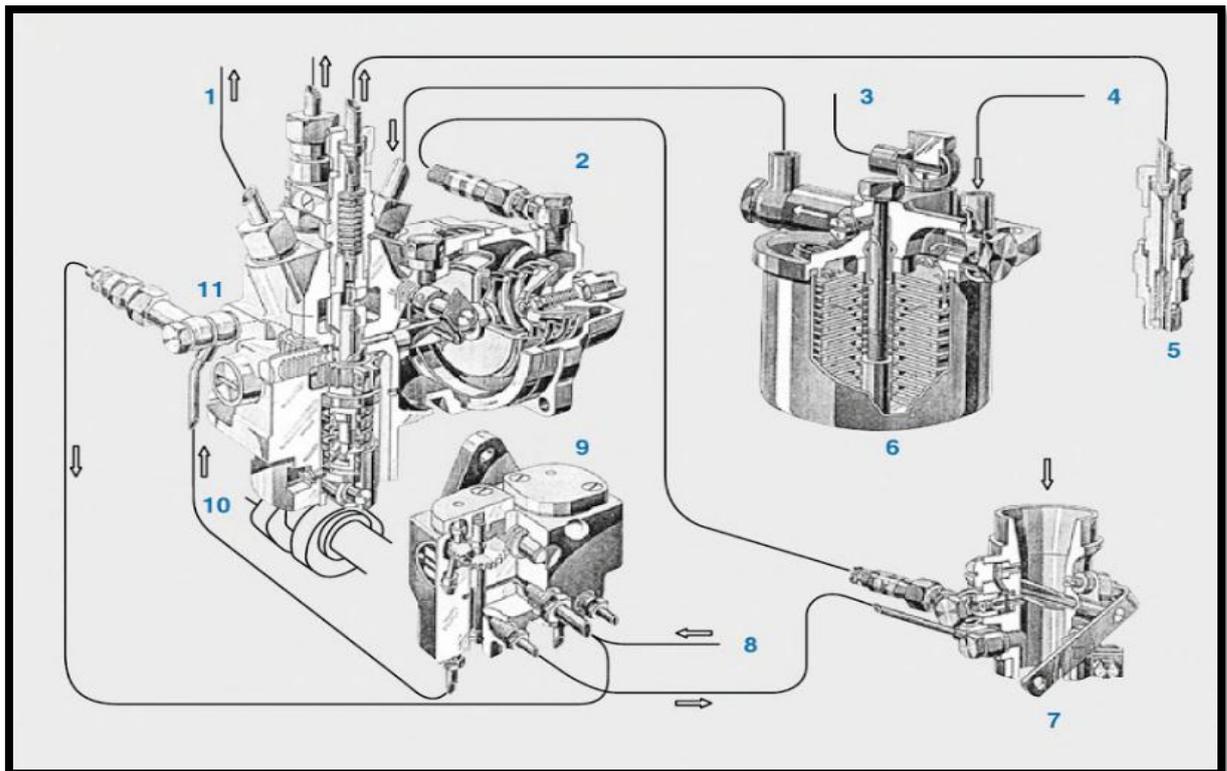


Figura 10: Diagrama de este sistema de inyección de combustible.

Componentes:

1. Tubo de venteo.
2. Unidad de control de la mezcla. Bloque de diafragma.



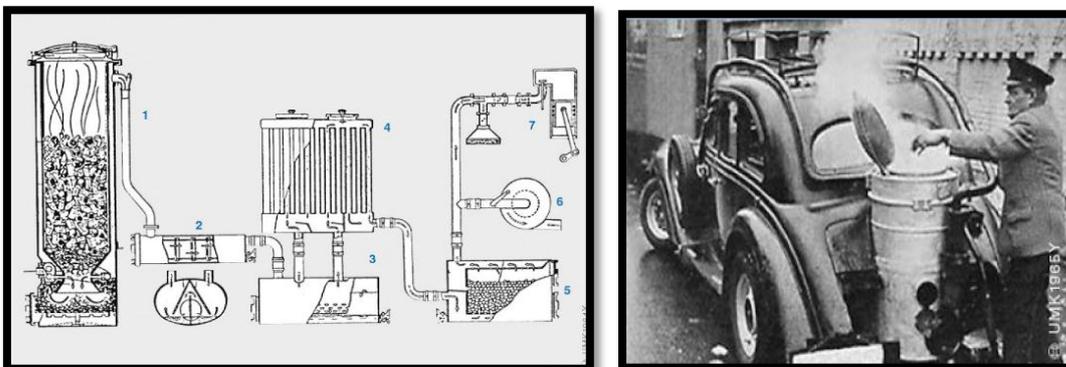
3. Tubo de venteo.
4. Del tanque de combustible.
5. Inyector de combustible.
6. Filtro de combustible.
7. Unidad de control de la mezcla. Suministro de aire.
8. Del carter.
9. Bomba de lubricación por aceite.
10. Bomba inyectora de combustible.
11. Válvula de sobre flujo.

Sin embargo, el Mercedes- Benz 300SL sports car (Figura 11), equipaba un sistema de inyección directa de combustible construido por Bosch. Fue presentado al público el 6 de Febrero de 1954 en la exposición internacional del deporte motor de Nueva York. Instalado con una inclinación de 50°, el motor de 6 cilindros en línea de 2996 cc erogaba una potencia de 215 HP.



Figura 11: Mercedes- Benz 300SL sports car

Una nueva alternativa de la formación de mezcla aire combustible para motores de gasolina, apareció durante y luego de la segunda guerra mundial: el generador de gas a partir de madera (Figura 12).



Figuras 12: : Generador de gas a partir de madera



El gas de madera emitido por el carbón ardiente era utilizado para formar una mezcla inflamable de aire y combustible. Sin embargo, era difícil pasar por alto el tamaño de estos sistemas gasificadores a partir de madera.

Debido al gradual endurecimiento de los estándares de emisiones, la industria automotriz fue crecientemente rechazando el carburador. A comienzos de los 90', sin embargo, hubo un diseño exitoso de Bosch y Pierburg que equipó a los carburadores convencionales con modernos actuadores: llegaron así al carburador Ecotronic (Figura 13). Este carburador hacía posible cumplir los estándares de emisiones vigentes en el momento, mientras que a su vez aseguraba un consumo de combustible económico.

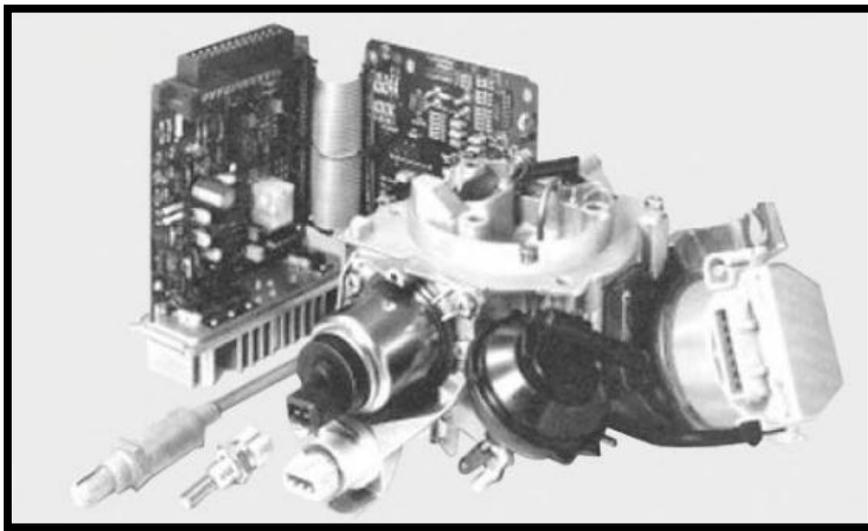


Figura 13: Carburador Ecotronic

En la conclusión de esta breve reseña histórica de la formación de mezclas de aire y combustible debería estar claro que los muchos tipos de carburadores continuaron siendo utilizados en los 90' como equipamiento de serie en vehículos de pasajeros. En vehículos compactos en particular, el carburador gozó de sostenida popularidad dado su bajo costo.

Para que se produzca la combustión, es indispensable la presencia o la intervención de estos tres elementos: un combustible, el comburente y una fuente de ignición o de encendido.

Existe una amplia variedad de cuerpos que pueden actuar como combustibles, habiendo casos en los que los provee directamente la naturaleza y otros en que es producto del ingenio del hombre; pero no sucede lo mismo con el comburente, que en todos los casos es el oxígeno.

El comburente puede actuar en unión de los demás elementos que constituyen el aire atmosférico, como ocurre en las combustiones en general, o puede ocurrir que



intervenga puro o en estado libre, como en el caso especial del soplete de la soldadura autógena (oxígeno puro).

Por su parte, la fuente de ignición debe estar de acuerdo en cada caso con las características del combustible y según el comburente en acción sea el aire atmosférico y oxígeno; pudiendo ser unas veces una pequeña llama o un cuerpo caliente, otras una chispa eléctrica y en ciertas ocasiones hasta el calor del ambiente.

Una vez iniciada la combustión, no solo es cuestión de que sigan afluyendo el combustible y el comburente, sino también que lo hagan en las proporciones adecuadas.

1.2. Definiciones.

1.2.1. Carburación:

Se define a la carburación como “la a preparación de la mezcla aire combustible consistente en la pulverización, vaporización y mezcla de la nafta con una determinada cantidad de aire”.

1.2.2. Mezcla rica:

Se define así a la mezcla que posee mayor proporción de combustible que lo que indica la relación estequiometrica.

1.2.3. Mezcla pobre:

Se define así a la mezcla que posee menor proporción de combustible que lo que indica la relación estequiometrica.

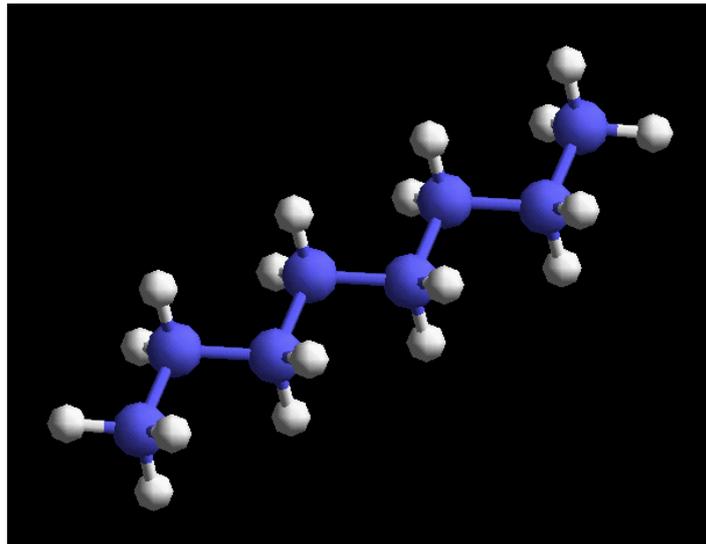
1.2.4. Mezcla estequiometrica:

Al establecerse teóricamente la proporción de aire y nafta según los pesos atómicos y las valencias de los elementos constituyentes de los mismos: el Hidrógeno, el Carbono y el Oxígeno, que intervienen directamente en la combustión, ella resulta de 15.3 a 1 (mezcla estequiometrica). En condiciones óptimas, es decir, si contáramos con la posibilidad de efectuar la carburación perfecta dentro de los cilindros, ésta sería la proporción correcta. Ésta es una mezcla proporcionada de tal modo que todo el combustible se queme con todo el aire, más bien con todo el oxígeno en el aire, de tal modo que no sobre ninguno. Los gases de escape contendrán solo dióxido de carbono, agua y nitrógeno.





La verdadera proporción a la cual se da la relación estequiometrica, para una serie de condiciones ideales, varía con la estructura molecular del combustible. Las gasolinas variarán un poco en estructura, pero no significativamente. Otros combustibles que no sean gasolinas requerirán otras proporciones aire combustible para lograr la relación estequiometrica.



A continuación en la Figura 14 se puede observar que nos indica cómo inciden la variable “riqueza de la mezcla” en el funcionamiento de un motor. Veremos que, para obtener la máxima potencia, la mezcla adecuada es sensiblemente rica; por otro lado, para obtener un mínimo consumo, la mezcla adecuada es un tanto pobre. Así, la relación estequiometrica, pasa a ser una relación de compromiso que cumple bastante adecuadamente con los requerimientos medios de un motor estándar.

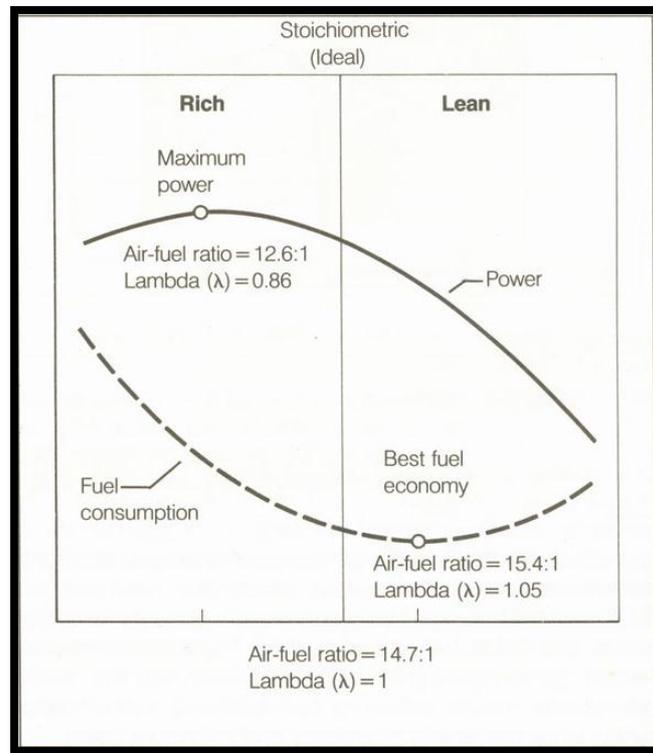


Figura 14: Variación de riqueza de la mezcla

En el siguiente gráfico Figura 15 se puede observar cómo, para la relación estequiométrica se obtiene la mayor temperatura de los gases de escape; mientras que para la relación de máxima potencia se tiene una mezcla notablemente rica.

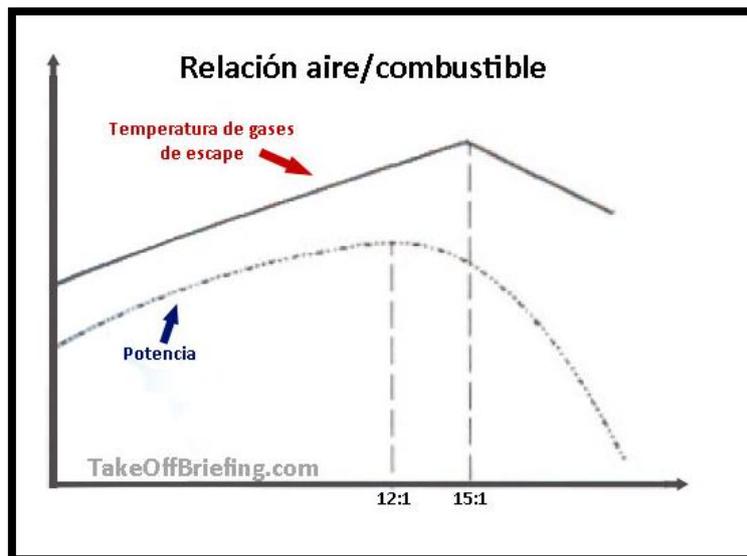


Figura 15: Variación de temperatura de los gases de escape



Ahora bien, en la práctica: ¿para qué?, o más bien: ¿cuándo se deben ajustar estos parámetros?

En vehículos, la relación aire/ combustible se varía en función de los requerimientos del conductor. La computadora tiene en claro cuál es el valor de máxima potencia y también cuál el de mínimo consumo, pasando por el punto estequiométrica. De este modo, como dijimos, atendiendo a los requerimientos de quien conduce, la computadora variará los parámetros para lograr relaciones de mezcla adecuadas a cada requerimiento. En video adjunto (en la carpeta “videos”) bajo el nombre “Auto Meter Phantom 5778 Wideband Air-Fuel Ratio Pro” se podrá observar lo anteriormente mencionado. En principio, se puede ver cómo la mezcla se enriquece al encender el vehículo debido a la condensación de combustible producida. En segundo lugar, se observa cómo, a medida que el conductor pisa el acelerador, la mezcla varía de estequiométrica o pobre hacia rica buscando producir mayor potencia. También se adjunta el video bajo el nombre “2004 F-150 w- GlowShift Gauges. Wideband Air-Fuel Ratio & Oil Pressure”, en el cual pueden observarse efectos semejantes (se ve más claramente el cambio de relación para grandes aceleraciones).

En la Figura 16 que se muestra a continuación, se ve cómo está instalada una sonda Lambda en el escape de un vehículo.



Figura 16: Sonda Lambda

Muy bien. Hasta aquí hemos mostrado las distintas relaciones de mezcla que pueden existir; además, hemos explicado las ventajas y las desventajas de cada una y, a raíz de ello, para qué se emplean. Pero no hemos hablado sobre el porqué de estos efectos. Alguien podría preguntarse, entre otras cosas, por qué la relación de máxima potencia es más rica que la estequiométrica, o bien por qué se debe enriquecer en el arranque.

A continuación entonces, enseñamos, en base a cinco situaciones puntuales, la justificación para el empleo de las distintas relaciones de mezcla.



1.2.5. Situaciones Puntuales de distintas relación de mezcla

Situación 1: máxima potencia.



La máxima potencia requiere un exceso de combustible para asegurarnos de que todo el aire sea consumido. La razón para el exceso de combustible es que tanto la distribución de la mezcla a los distintos cilindros como la mezcla del combustible y el aire son raramente perfectas. Cuando todo el aire entra dentro del proceso de la combustión (participa de la reacción), más calor es generado; y calor significa presión

que el motor convertirá en trabajo.

El exceso de combustible es generalmente de entre el 10 y el 15% (relaciones de 13.5 a 12.5). Algunas veces, un exceso de combustible más allá de aquel que produce la máxima potencia es utilizado para refrigeración interna del motor. Desde el punto de vista de la contaminación, el hidrocarburo no quemado y el monóxido de carbono son productos no deseados.

Puede verse, en la Figura 17, que la cantidad de aire que el motor puede respirar es exclusivamente función de las condiciones de funcionamiento y del propio motor; entonces, lo único que podemos variar para generar mayor o menor potencia (en cuando a la relación de mezcla se refiere) es la cantidad de combustible provisto.

Si un exceso de gasolina es utilizado, la relación se va a menos de 15 a 1, y mientras todo el aire es utilizado en el proceso de combustión, el combustible no quemado saldrá por el escape. 12 a 1 es generalmente una buena mezcla de máxima potencia porque la potencia será buena y el exceso de combustible agrega refrigeración en la cámara de combustión para ayudar a evitar la detonación y la pre ignición. Para relaciones de alrededor de 7 a 1, la mezcla ya no quema y sale humo negro dándose una extrema lentitud de la máquina. Así, desde aproximadamente 11 a 1 para abajo (para mezclas más ricas) o desde 20 a 1 para arriba, el motor se detendrá por mezcla excesivamente rica o excesivamente pobre.

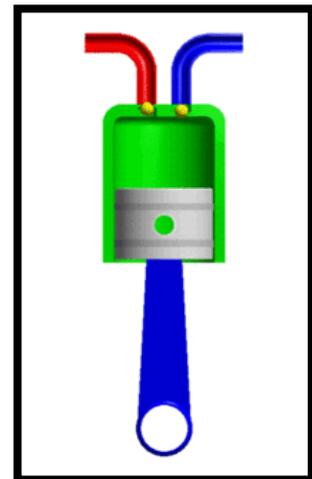


Figura 17

Puede observarse, en la Figura 18, cómo no hay datos para relaciones menores a 7 a 1 o mayores a 20 a 1 por lo explicado anteriormente.

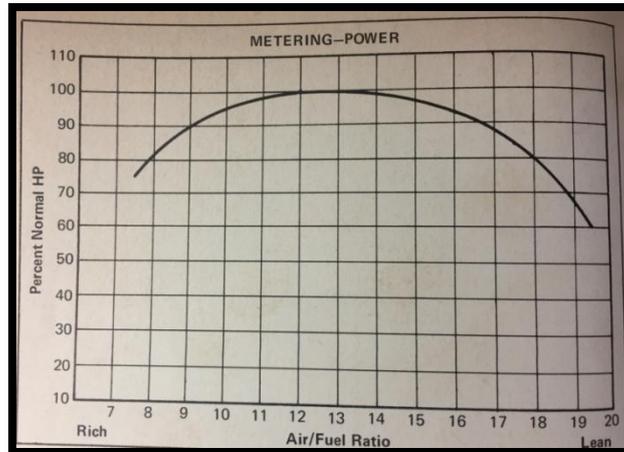


Figura 18: Relaciones de Mezcla.

En el caso de tratarse de alimentación por carburador, el mismo es diseñado de modo tal que cuando se requiera la máxima potencia de un motor, el acelerador esté ampliamente abierto para que el motor pueda introducir una máxima cantidad de aire dentro de sus cilindros. Teóricamente el carburador debería adicionar suficiente gasolina para que, aún con una distribución imperfecta de la misma, cada partícula de aire sea utilizada en la combustión. Más allá de este punto, agregar más combustible podría no resultar en un incremento de la liberación de potencia. Esta mezcla rica, llamada “relación de máxima potencia”, está alrededor de 12 o 13 a 1. El cilindro con mezcla más pobre a menudo dicta el tamaño del carburador requerido; así, los otros cilindros deberían funcionar con una mezcla levemente sobre- enriquecida (con una relación más allá de la de máxima potencia).

Situación 2: máxima economía.

Si más aire es admitido, de modo tal que la relación aire/ combustible se hace mayor a 15 a 1, el exceso de aire quedará luego de que el proceso de la combustión sea completado, pero la gasolina se quemará por completo. A esto se llama una relación pobre, y se puede sentir con el sentido del tacto ya que el motor se torna inestable. Si la relación aire/ combustible excede el valor 20 a 1, la mezcla se vuelve muy pobre para quemar. Compleja inestabilidad, vacilaciones y contra explosiones acompañan a relaciones cercanas a 20 a 1.



Para máxima economía con el acelerador parcialmente abierto, el diseñador está interesado en tener cada partícula de combustible encontrando la correcta cantidad de aire para que ocurra la combustión completa. La máxima economía requiere un exceso de aire para asegurar que todo el combustible sea consumido.



En cualquier mezcla que sea más pobre que la estequiometrica bajo grandes cargas, hay suficiente calor para causar que cada oxígeno libre sea combinado con el nitrógeno remanente para producir óxidos de Nitrógeno. Ésta es una de las emisiones no deseadas. La alta temperatura en cuestión es causa de la lenta velocidad de combustión de este tipo de mezclas (pobres), lo que causa que el período de refrigeración del cilindro sea menor y, por lo tanto, la temperatura en la cámara de combustión mayor.

Se puede en la Figura 19, la variación de la velocidad laminar de combustión en función de la riqueza de la mezcla. La relación equivalente “Phi” es de uso común, y su interpretación es inversa a la de la relación Lambda: mayores relaciones Phi corresponden a mezclas cada vez más ricas; la relación Phi igual a la unidad, es correspondiente con la mezcla estequiometrica.

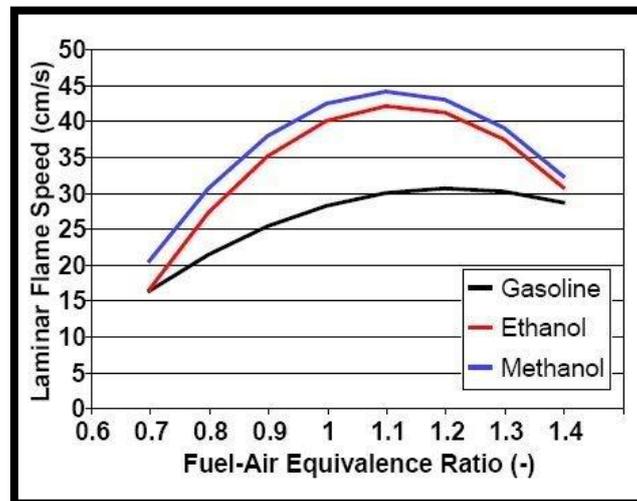


Figura 19: variación de la velocidad laminar de combustión

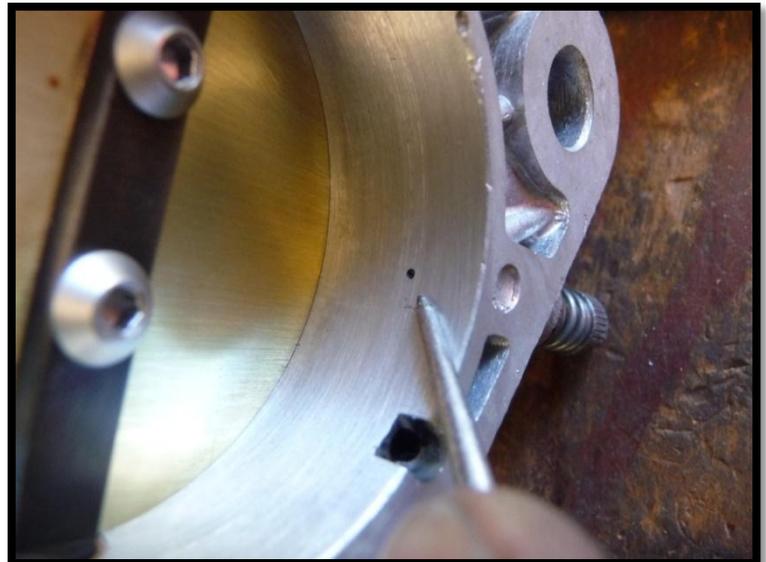
Para altas velocidades del motor y bajas cargas, las mezclas de relación aproximadamente de 18 a 1 son a veces utilizadas cuando se busca el pico de economía. Sin embargo, esto está en el límite donde la relación aire/ combustible empieza a volverse inestable en su capacidad para quemar.

Situación 3: ralentí.



Para una apertura pequeña de acelerador, el panorama cambia nuevamente. Aquí, muy poco aire y combustible fresco ingresan al motor. A su vez, ya que la presión es extremadamente baja en los cilindros, todos los gases de escape no abandonan la cámara de combustión. Por lo tanto, si una relación de 15 a 1 abandona el

carburador, en la cámara de combustión será diluida con los gases de escape hasta que se vuelva más pobre que 20 a 1 y el motor se detenga. El carburador debe suministrar una mezcla rica- tan rica como 13 a 1 o 10 a 1- y así el motor funcionará correctamente. Hay muchas variables de motor a motor, por lo tanto un tornillo de ajuste de mezcla de ralentí es provisto al carburador para configurar la relación de ralentí. Esta es otra área en donde las regulaciones sobre emisiones han cambiado dramáticamente. El fabricante de carburadores estrecha la capacidad de modificación de los mismos por los mecánicos (para contener la contaminación en cierta manera). Esto es generalmente llevado a cabo mediante limitadores de las características de ralentí en el tornillo de ajuste de la mezcla de ralentí.



La dilución en la admisión de mezcla de ralentí es producida por el alto vacío en el múltiple de admisión y por la apertura de la válvula de admisión previo a la llegada del pistón al punto muerto superior. Cuando la válvula de admisión se abre, una parte de los gases de escape son absorbidos dentro del múltiple de admisión por la presión diferencial, asistidos por el pistón aún ascendente. A su vez, parte de los gases de escape se queda en el volumen de la cámara de combustión. Cuando el pistón desciende en la carrera de admisión, la carga inicial admitida está compuesta ampliamente por gases de escape, con una pequeña proporción de mezcla fresca. Mientras el pistón completa la carrera de admisión, el porcentaje de mezcla fresca aire/ combustible es usualmente un poco más alta y es ésta la porción de carga admitida que quema bien, suficiente para suministrar potencia para el ralentí al motor.

En el proceso de dilución, parte de las moléculas de combustible se combinan con las moléculas de los gases de escape y otras con las moléculas de oxígeno del aire. Para asegurarnos de que la mezcla sea combustible, la misma es hecha 10% a 20% más



rica que la estequiometrica para suplir la parte del combustible que es combinado con los gases de escape. La mezcla más rica también ayuda a compensar los problemas de distribución (de mezcla). A su vez provee problemas de emisiones adicionales ya que esa mezcla más rica para el ralenti genera grandes cantidades de monóxido de Carbono.

Situación 4: arranque en frío.

Arrancar un motor frío requiere la mezcla más rica de todas, porque bajas



velocidades de arranque provocan velocidades de ingreso del aire muy bajas para que ocurra la vaporización del combustible. Y ambos, combustible y múltiple, están fríos, así que no hay colaboración de estas dos áreas en el proceso de vaporización del combustible para que sea bien distribuido. Por esto, mucho exceso de combustible es requerido en el arranque. Típicamente

relaciones de 10 a 1. La relación aire/ combustible suministrada no es la que llega a los cilindros. Problemas de distribución, depositando combustible líquido en las paredes del múltiple y en las paredes de los cilindros, roban combustible de la mezcla y así, la mezcla que alcanza los cilindros en forma de vapor es probablemente en el rango de 16 a 1.

Una vez que el motor quema, la velocidad aumenta y la velocidad del aire a través del carburador mejora, entonces hay mejor vaporización y el combustible que había sido depositado en las paredes del múltiple en estado líquido se vaporiza. Al suceder esto, la mezcla gradualmente varía hasta 8 a 1 o 7 a 1 en los cilindros- aún 80% a 120% más rica que la nominal. Cuando el motor se calienta, puede ser utilizada mezcla de operación normal.





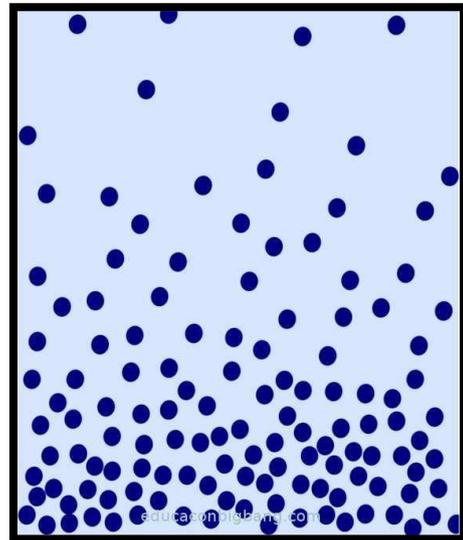
Situación 5: variación de la altura del motor.



En aviación, la mezcla debe ser ajustada en función de la altitud de la aeronave. Sucede que cuanto más alto se vuela, menos denso es el aire y el oxígeno que entra al motor. Si se despega con mezcla rica y se va ascendiendo sin tocar nada, lo que pasará es que cuanto más alto se esté, más rica estará la mezcla, ya que hemos dicho que al

ascender hay menos aire, por lo que le estamos metiendo al motor la misma cantidad de combustible pero menos aire; quiere decir que se enriquece la mezcla aún más. Esto no es bueno, ya que una mezcla excesivamente rica nos quita potencia, enfría en exceso el motor, engrasa las bujías, y además estamos tirando combustible, que no es barato (sin considerar el factor de la contaminación al medio ambiente). Por este motivo se recorta la mezcla al ascender, para mantener una relación de mezcla adecuada en todo momento. Habrá que ir empobreciendo la mezcla a medida que se asciende. En video adjunto (en la carpeta “videos”) bajo el nombre “Cessna fuel mixture control” puede observarse cómo se hace el ajuste de la relación aire/ combustible en vuelo para un avión Cessna en ascenso. Se ve claramente cómo varía la relación aire combustible al mover la perilla color rojo buscando relaciones más pobres.

Así, teniendo en cuenta los anteriores parámetros, se puede llegar a un mapa de riqueza de la mezcla vs. carga y velocidad del motor, como se muestra en la Figura 20.





Target A/F "Fuel Map" for Open-Loop Control (1995 3000GT Spyder VR4)															
RPM	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500
LOW	14.0	14.7	19.8	19.8	19.8	19.8	18.8	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1
	14.0	14.7	14.7	16.4	16.4	16.4	16.5	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
	14.0	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	15.7	15.7	15.3	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9
	14.0	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	13.9	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.5	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9
	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.3	13.3	12.6	12.1	11.8	11.8	11.8
	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	13.6	12.9	12.2	11.8	11.3	11.3	11.3
	13.6	13.6	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	13.3	12.5	11.9	11.4	10.9	10.9	10.9
	13.4	13.4	13.8	14.3	14.3	14.7	14.7	13.1	13.1	12.2	11.5	11.1	10.7	10.7	10.7
	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.6	13.6	12.1	12.1	11.6	11.2	10.8	10.5	10.5	10.5
L O A D	13.4	13.4	13.4	13.4	13.1	13.1	13.1	11.8	11.8	11.2	10.7	10.5	10.3	10.3	10.3
	13.4	13.4	13.4	13.4	12.9	12.9	12.5	11.6	11.3	10.5	10.4	10.3	10.2	10.2	10.2
	13.4	13.4	13.4	13.4	12.9	12.9	12.5	11.6	11.3	10.5	10.4	10.3	10.2	10.2	10.2
	13.4	13.4	13.4	13.4	12.9	12.9	12.5	11.6	11.3	10.5	10.4	10.3	10.2	10.2	10.2
HIGH	13.4	13.4	13.4	13.4	12.9	12.9	12.5	11.6	11.3	10.5	10.4	10.3	10.2	10.2	10.2

Figura 20: Mapa de riqueza de la mezcla vs. carga y velocidad del motor

1.3. Objetivo.

Desarrollar los sistemas de alimentacion de todos los motores de combustion interna, tanto de los encendidos por chispa, como los encendidos por compresion, para poder dejar por escrito los mismos, con el fin de que los alumnos de Ingenieria Mecanica accedan para sus aprendizajes.

1.4. Alcance.

Desarrollar una clasificación general de los sistemas modernos existentes de alimentación de motores de combustión interna, contemplando así los motores encendidos por chispas y lo motores encendidos por Compresión.

2. Sistemas de Inyección de motores.

2.1. Inyección en Motores Encendidos por Chispa

2.1.1. Desarrollo de la Inyección a nafta

Uno de los problemas iniciales en el desarrollo del motor a combustión interna fue el suministro a los cilindros una mezcla de aire y combustible, para generar una combustión correcta. Carl Benz (1844-1929) dio la primera respuesta al problema al inventar el denominado carburador de superficie. Sin embargo, las demandas del motor no pudieron ser satisfactoriamente cumplidas con este carburador, por lo que la fábrica de motores a gas Deutz fabrico la primera bomba inyectora de combustible en 1898 para sus plantas motrices estacionarias. Esta era una bomba a pistón con válvulas de succión



y presión. Pero su producción cesó cuando Gottlieb Daimler (1834-1900) y Wilhelm Maybach (1846-1929) descubrieron el principio de funcionamiento actual del carburador.

Por el contrario, el desarrollo de los motores de aviación estuvo siempre asociado con el empleo de inyección de combustibles. El motor de cuatro cilindro fabricado por los hermanos Wright en 1903 con sus primeras pruebas con bomba inyectora basadas en bombas de aceite. La formación de hielo en los carburadores y el peligro de fuego durante las maniobras de los aparatos, motivaron que a partir de 1932 se hicieran ensayos sistemáticos con equipos de inyección para aviones. Se obtuvo rápidamente el éxito debido a que estaban disponibles las bombas inyectoras Diesel que fueron convertidas para el funcionamiento en el ciclo otto (a nafta).

La primera aplicación de la inyección de naftas en automóviles data de 1945, inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial. En dicha época los motores de dos tiempos jugaban un importante papel porque eran de simple y barata construcción. La inyección directa de nafta hizo posible una drástica reducción en el consumo de combustibles al compararla con el sistema de carburador. Goliath y Gutbrod fueron los primeros fabricantes en equipar a sus automóviles con el sistema de inyección de nafta Bosch.

En 1954 apareció el Mercedes-Benz W 196 de carreras que tenía un motor de ocho cilindros en línea alimentado por un sistema de inyección directa a nafta

A mediados de la década del cincuenta la empresa Bendix de los Estados Unidos patentó un sistema de inyección de nafta controlado electrónicamente. El primer auto de serie en ser equipado con inyección electrónica (la D-Jetronic la cual es similar a J-Jetronic, con la diferencia que no tenía medidor de caudal), fue el Volkswagen 1500 de 1967, comenzando una nueva era en la inyección a nafta.

2.1.2. **Historia de la Inyección Electrónica**

Hasta la irrupción de la inyección electrónica, la inyección mecánica se aplicó en muchos modelos de automóviles, principalmente los de elevadas performances y en los de carreras, pero no llegó a desplazar a los carburadores

En los motores de gasolina, la mezcla se prepara utilizando un carburador o un equipo de inyección. Hasta ahora, el carburador era el medio más usual de preparación de mezcla, medio mecánico. Desde hace algunos años, sin embargo, aumentó la tendencia a preparar la mezcla por medio de la inyección de combustible en el colector de admisión. Esta tendencia se explica por las ventajas que supone la inyección de combustible en relación con las exigencias de potencia, consumo, comportamiento de marcha, así como de limitación de elementos contaminantes en los gases de escape. Las razones de estas ventajas residen en el hecho de que la inyección permite una dosificación muy precisa del combustible en función de los estados de marcha y de carga del motor; teniendo en cuenta así mismo el medio ambiente, controlando la



dosificación de tal forma que el contenido de elementos nocivos en los gases de escape sea mínimo..

También permite la supresión del carburador; dar forma a los conductos de admisión, permitiendo corrientes aerodinámicamente favorables, mejorando el llenado de los cilindros, con lo cual, favorecemos el par motor y la potencia, además de solucionar los conocidos problemas de los sistemas de carburación, como pueden ser la escarcha, la percolación, las inercias de la gasolina.

2.1.3. Generalidades del principio de funcionamiento del Sistema de Inyección

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

Ventajas de la inyección

Consumo reducido

Con la utilización de carburadores, en los colectores de admisión se producen mezclas desiguales de aire/gasolina para cada cilindro. La necesidad de formar una mezcla que alimente suficientemente incluso al cilindro más desfavorecido obliga, en general, a dosificar una cantidad de combustible demasiado elevada. La consecuencia de esto es un excesivo consumo de combustible y una carga desigual de los cilindros.

En el caso de la inyección multipunto, al asignar un inyector a cada cilindro, en el momento oportuno y en cualquier estado de carga se asegura la cantidad de combustible, exactamente dosificada. Cosa que no sucede en la inyección monopunto.

Mayor potencia

La utilización de los sistemas de inyección permite optimizar la forma de los colectores de admisión con el consiguiente mejor llenado de los cilindros. El resultado se traduce en una mayor potencia específica y un aumento del par motor.



Gases de escape menos contaminantes

La concentración de los elementos contaminantes en los gases de escape depende directamente de la proporción aire/gasolina. Para reducir la emisión de contaminantes es necesario preparar una mezcla de una determinada proporción. Los sistemas de inyección permiten ajustar en todo momento la cantidad necesaria de combustible respecto a la cantidad de aire que entra en el motor y las condiciones de carga a las que se encuentra sometido el motor.

Arranque en frío y fase de calentamiento

Mediante la exacta dosificación del combustible en función de la temperatura del motor y del régimen de arranque, se consiguen tiempos de arranque más breves y una aceleración más rápida y segura desde el ralentí. En la fase de calentamiento se realizan los ajustes necesarios para una marcha redonda del motor y una buena admisión de gas sin tirones, ambas con un consumo mínimo de combustible, lo que se consigue mediante la adaptación exacta del caudal de éste.

2.1.4. **Clasificación de los sistemas de inyección**

Se pueden clasificar en función de cuatro características distintas:

- 1. Según el lugar donde inyectan.**
- 2. Según el número de inyectores.**
- 3. Según el número de inyecciones.**
- 4. Según las características de funcionamiento.**

2.1.4.1. Según el lugar donde Inyecta

INYECCION DIRECTA: El inyector introduce el combustible directamente en la cámara de combustión. Este sistema de alimentación es el más novedoso y se está empezando a utilizar ahora en los motores de inyección gasolina como el motor GDi de Mitsubishi o el motor IDE de Renault.

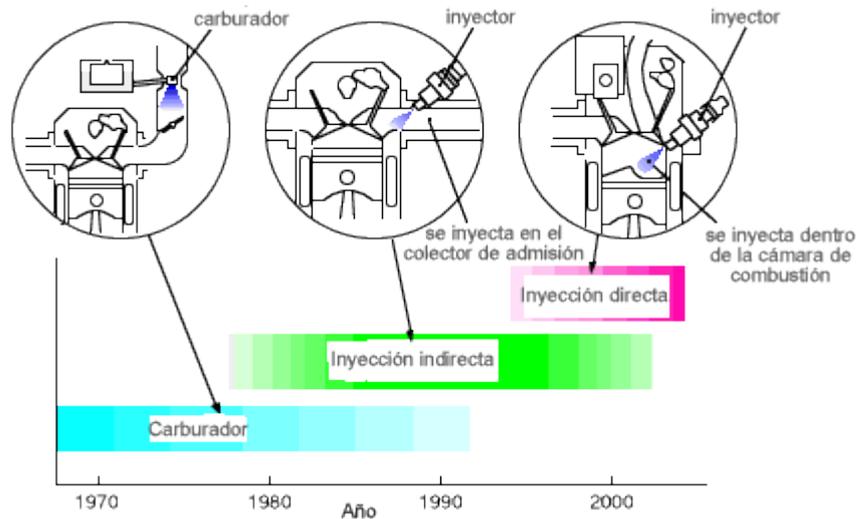


Figura 21: Comparaciones de sistemas de alimentación.

INYECCION INDIRECTA: El inyector introduce el combustible en el colector de admisión, encima de la válvula de admisión, que no tiene por qué estar necesariamente abierta. Es la más usada actualmente.

2.1.4.2. Según el número de inyectores:

INYECCION MONOPUNTO: Hay solamente un inyector, que introduce el combustible en el colector de admisión, antes de la válvula mariposa. Es la más usada en vehículos turismo de baja cilindrada que cumplen normas de antipolución (generalmente en vehículos 4 cilindros).

INYECCION MULTIPUNTO: Hay un inyector por cilindro, pudiendo ser del tipo "inyección directa o indirecta". Es la que se usa en vehículos de media y alta cilindrada, con antipolución o sin ella.

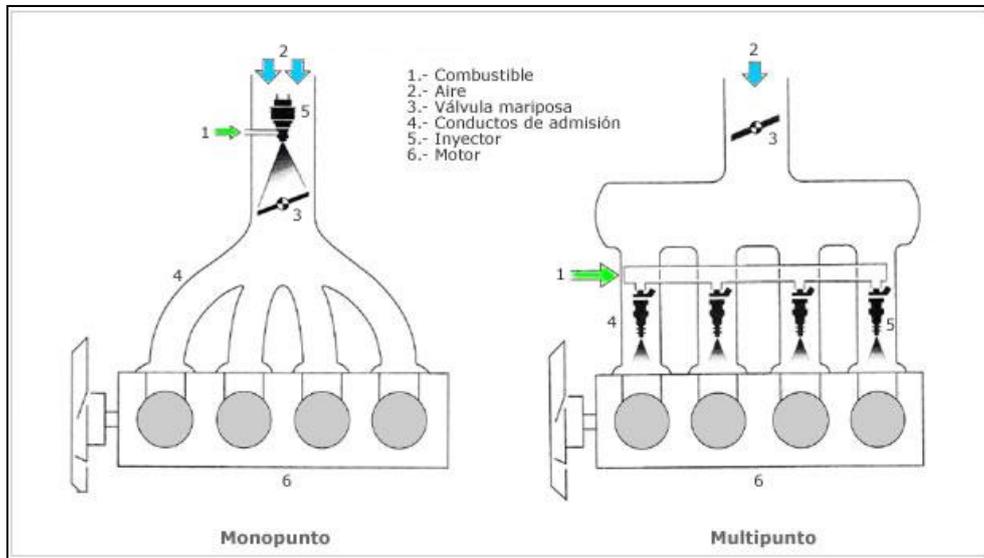


Figura 22: Sistema Monopunto y Sistema Multipunto.

2.1.4.3. Según el número de inyecciones:

INYECCION CONTINUA: Los inyectores introducen el combustible de forma continua en los colectores de admisión, previamente dosificada y a presión, la cual puede ser constante o variable.

INYECCION INTERMITENTE: Los inyectores introducen el combustible de forma intermitente, es decir; el inyector abre y cierra según recibe órdenes de la centralita (ECU) de mando. La inyección intermitente se divide a su vez en tres tipos:

- **Secuencial:** El combustible es inyectado en el cilindro con la válvula de admisión abierta, es decir; los inyectores funcionan de uno en uno de forma sincronizada.
- **Semi-secuencial** El combustible es inyectado en los cilindros de forma que los inyectores abren y cierran de dos en dos.
- **Simultanea:** El combustible es inyectado en los cilindros por todos los inyectores a la vez, es decir; abren y cierran todos los inyectores al mismo tiempo.

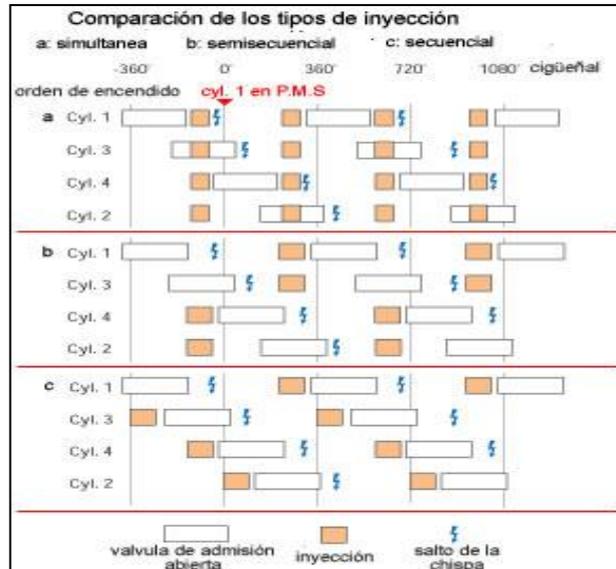


Figura 23: Comparación de los tipos de Inyección.

2.1.4.4. Según las características de funcionamiento:

INYECCIÓN MECANICA (K-Jetronic)

INYECCIÓN ELECTROMECHANICA (KE-Jetronic)

INYECCIÓN ELECTRÓNICA (L-Jetronic, LE-Jetronic, Motronic, etc.)

Todas las inyecciones actualmente usadas en automoción pertenecen a uno de todos los tipos anteriores.

2.1.5. Tipos de Sistemas de Inyección indirecta

2.1.5.1. Sistema L-Jetronic:

Es un sistema de inyección sin accionamiento mecánico, controlado electrónicamente, con el que se inyecta intermitentemente combustible en el múltiple de admisión.

Este es del tipo multipunto por que posee un inyector por cilindro, el que inyecta cantidades exactamente dosificadas de nafta para cada uno de los cilindros, en diferentes condiciones de operación del motor.

El L-Jetronic se adapta a condiciones de cargas cambiantes, prácticamente sin demora, ya que le caudal necesario de combustible es calculado por una unidad de control en milisegundos, siendo inyectado a continuación por los inyectores delante de las válvulas de admisión del motor.



Ventajas frente al carburador: permite que la mezcla aire combustible para cada cilindro sea igual, cosa que en el carburador no sucede por el recorrido que esta hacen, en el múltiple de admisión.

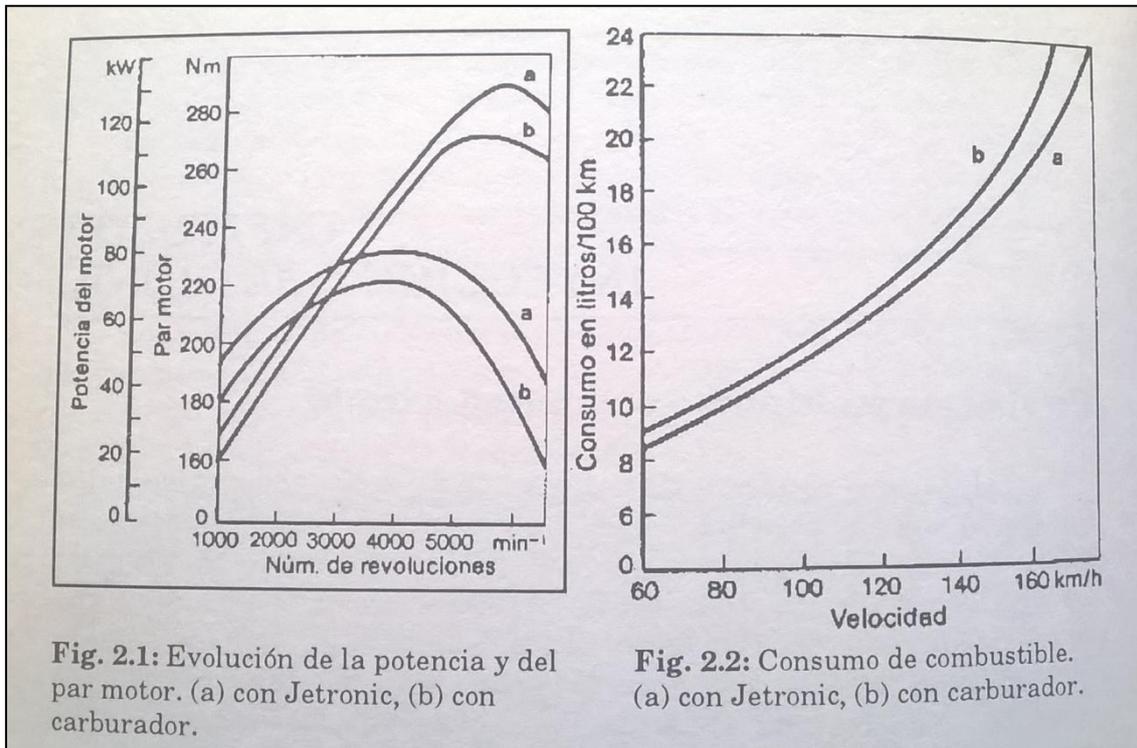


Figura 24: Ventajas de la Inyección, frente al carburador.

Componentes esenciales del Sistema

Sistema de Aspiración: Encargado de hacer llegar el caudal de aire necesario al motor. Consta de filtro de aire, múltiple de admisión, mariposa y los distintos tubos de admisión.

Sensores: Son los encargados de registrar las magnitudes características del motor para cada condición de operación. La magnitud de medición más importante es el caudal de aire aspirado por el motor, que es registrado por el medidor correspondiente, llamado sonda volumétrica de aires.

Otros sensores registran la posición de la mariposa, el régimen de revoluciones del motor y las temperaturas del aire y del motor.

Unidad de Control: En esta unidad electrónica, que es una computadora, analizan las señales suministradas por los sensores, y a partir de ellas se generan los impulsos de mando correspondientes para los inyectores.

Sistema de Alimentación: Es el que impulsa el combustible desde el tanque a los inyectores, genera la presión necesaria para la inyección, y mantiene constantes dicha



presión. El sistema de combustible incluye bomba de alimentación, filtro, tubo distribuidor, regulador de presión, inyectores y válvulas de arranque en frío.

Esquema de sistema de inyección L-Jetronic

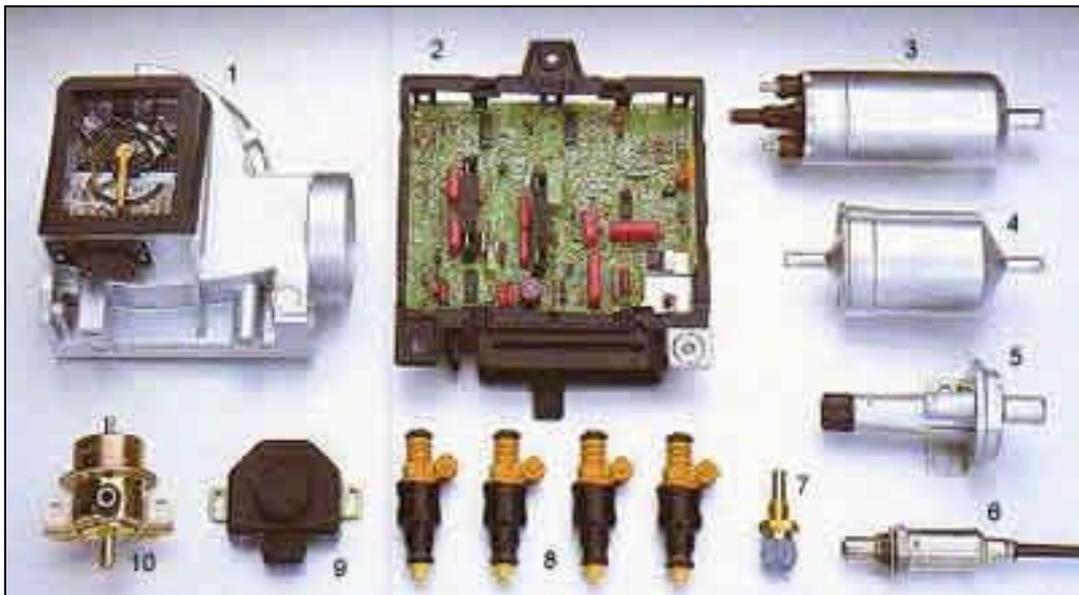
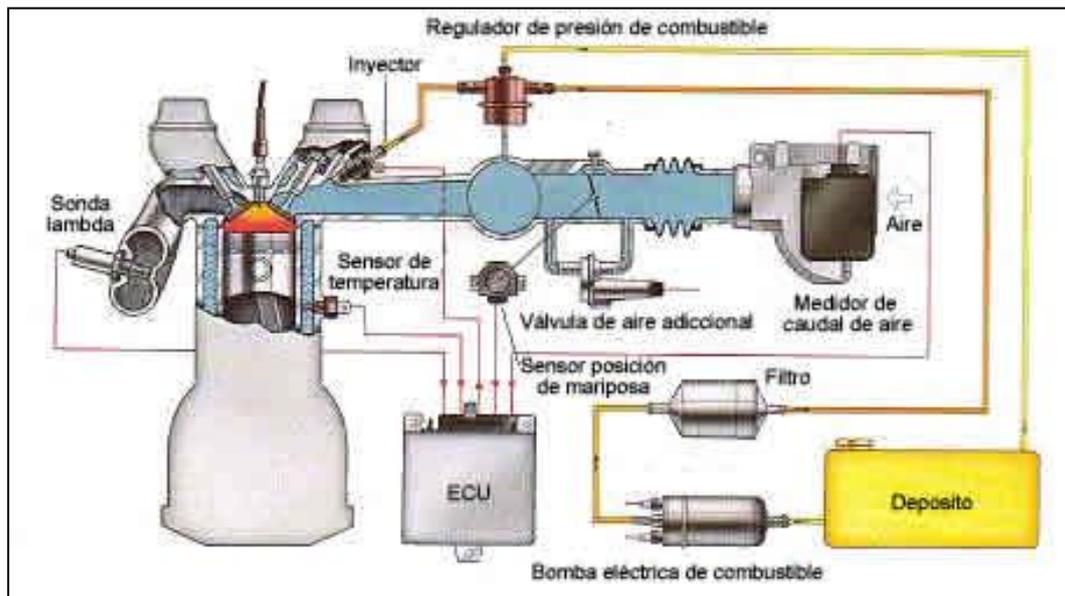


Figura 25: Esquema de sistema de inyección L-Jetronic y sus componentes.

1. Medidor de caudal de aire
2. ECU: Unidad electrónica de control
3. Bomba electrónica de combustible
4. Filtro de combustible
5. Válvula de aire adicional



6. Sonda Lambda
7. Sensor de Temperatura
8. Inyectores electromagnéticos
9. Sensor de posición de la mariposa
10. Regulador de presión de combustibles

Sistema de Alimentación

El sistema de alimentación suministra bajo presión (2,5 bares), el caudal de combustible necesario para el motor en cada estado de funcionamiento. El sistema consta de depósito de combustible (1), electro-bomba (2), filtro (3), tubería de distribución(4) y regulador de la presión del combustible (5), inyectores (6) y en algunos modelos, inyector de arranque en frío (7) en los sistemas de inyección más antiguos. Una bomba celular de rodillos accionada eléctricamente conduce bajo presión el combustible desde el depósito, a través de un filtro, hasta la tubería de distribución. La bomba impulsa más combustible del que el motor puede necesitar como máximo y el regulador de presión del combustible lo mantiene a una presión constante. El combustible sobrante en el sistema es desviado a través del regulador de presión y devuelto al depósito.

Como el sistema de alimentación bombea más combustible que el que consume el motor bajo condiciones extremas, el regulador de presión devuelve el combustible sobrante, sin presión, al tanque de nafta. Por el barrido constante del sistema de alimentación, este es abastecido continuamente con combustible frío, lo que evita la formación de burbujas de vapor y permite conseguir buen comportamiento de arranque en caliente.

De la rampa de inyección parten las tuberías de combustible hacia los inyectores y por lo tanto la presión del combustible en cada inyector es la misma que en la rampa de inyección.

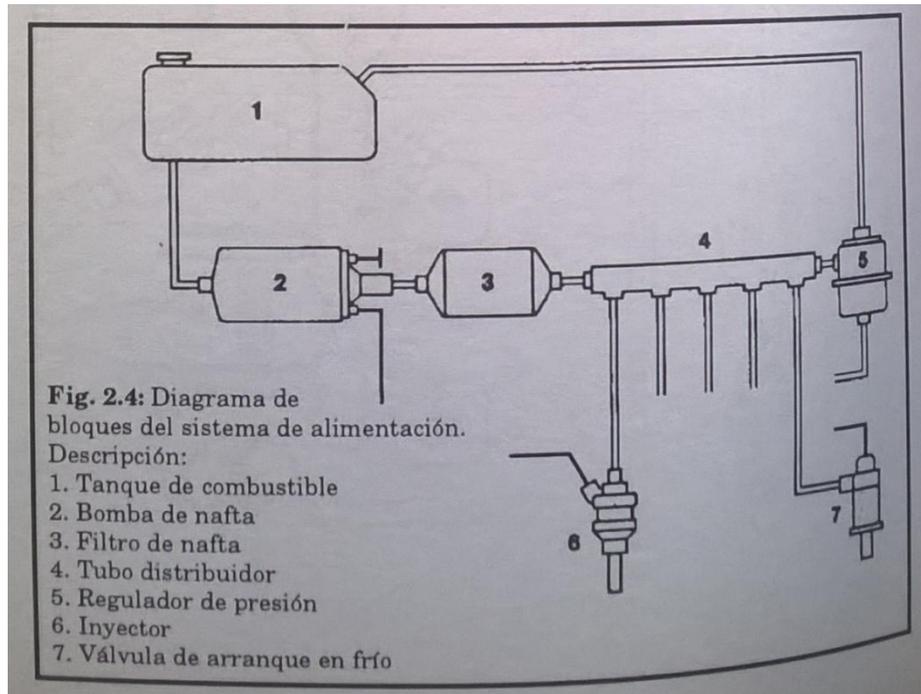


Figura 26: Diagrama de bloques del sistema de alimentación.

Los inyectores van alojadas en cada tubo de admisión, delante de las válvulas de admisión del motor. Se inyecta la gasolina en la corriente de aire delante de las válvulas de admisión y al abrirse el inyector el combustible es aspirado con el aire dentro del cilindro y se forma una mezcla inflamable debido a la turbulencia que se origina en la cámara de combustión durante el tiempo de admisión. Cada inyector está conectado eléctricamente en paralelo con la unidad de control que determina el tiempo de apertura de los inyectores y por consiguiente la cantidad de combustible inyectada en los cilindros.

Bomba de combustible

La bomba de nafta y su motor eléctrico van alojados conjuntamente en una carcasa y son bañadas por el combustible. Desaparecen así, los problemas de lubricación al tiempo que se enfría bien el electromotor. No existe peligro de explosión, ya que en la carcasa de la bomba y el motor no hay mezcla inflamable, debido a la ausencia de oxígeno. La bomba impulsa más combustible que el motor del automóvil necesita, para así poder mantener la presión en el sistema de alimentación en todos los estados de funcionamiento que pueden presentarse.

Durante la puesta en marcha, la bomba funciona mientras se acciona el conmutador de arranque. Una vez en marcha el motor, la bomba permanece conectada. Un circuito de seguridad evita el bombeo de combustible estando conectado el encendido y con el motor parado, por ejemplo en el caso de un accidente.

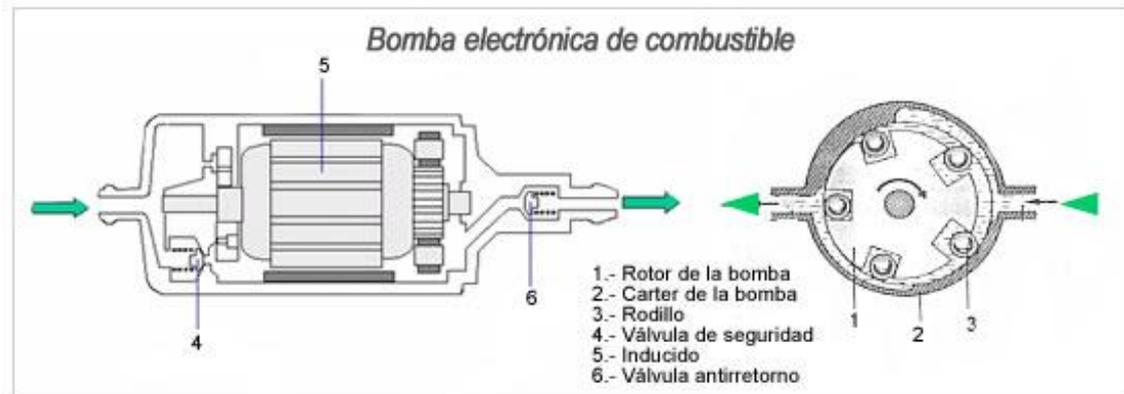
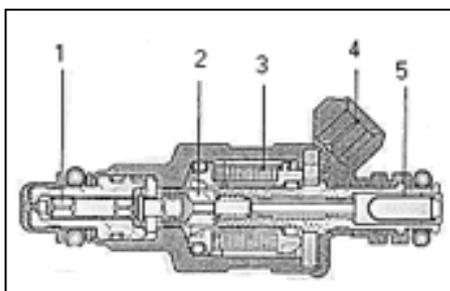


Figura 27: Bomba electrónica de combustible.

inyector electromagnético

A cada cilindro del motor le corresponde un inyector, el que consta de un cuerpo de válvula y de la aguja del inyector con el inducido magnético superpuesto. El cuerpo de válvula contiene un devanado magnético y la guía para la aguja del inyector. Cuando el devanado magnético está sin corriente, la aguja es apretada por el resorte helicoidal contra su asiento, en la salida de la válvula. Cuando se excita el electroimán, la aguja es levantada de su asiento aproximadamente 0,1mm y el combustible puede salir por una ranura anular calibrada. Los tiempos de excitación y reposo de la válvula se sitúan entre 1 y 1,5 milisegundos. Para conseguir una buena distribución del combustible con pocas pérdidas por condensación, han de evitarse que se moje la pared del tubo de admisión. Por ello es preciso respetar específicamente, para cada motor, un determinado ángulo de proyección junto con una determinada separación entre el inyector y la válvula de admisión.

La función principal del inyector (Figura 28) es proyectar una determinada cantidad de combustible delante de la válvula de admisión. Cuando se abre, el caudal de aire aspirado arrastra la nube de nafta, y durante el tiempo de aspiración forma, por si turbulencia, una mezcla inflamable.



- 1.- Aguja de inyector
- 2.- Núcleo magnético.
- 3.- Bobinado eléctrico.
- 4.- Conexión eléctrica.
- 5.- Filtro.

Disposición del Inyector

Los inyectores se montan en soportes especiales, mediante piezas moldeadas de caucho. El aislamiento térmico así conseguido impide la



formación de burbujas de vapor y garantiza un buen comportamiento de arranque en caliente. Además, el soporte de goma protege la válvula contra esfuerzos excesivos debidos a sacudidas.

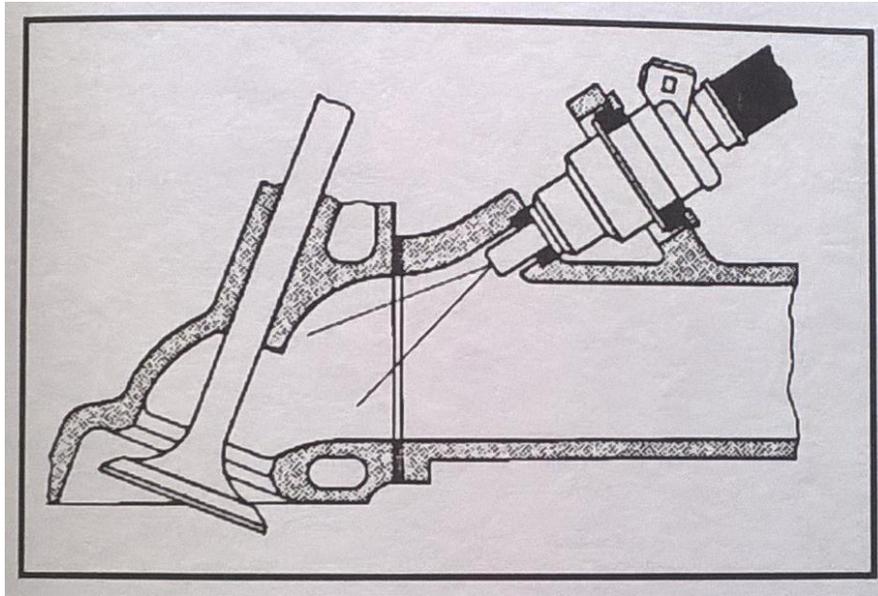


Figura 29: Disposición del Inyector.

La unidad electrónica de control

En su calidad de unidad central, la computadora de control analiza los datos, proporcionados por los sensores, relativos a las condiciones de funcionamiento del motor. A partir de esos datos se forman los impulsos de control para los inyectores, de forma que el caudal de combustible a inyectar es determinado por la duración de la apertura de los inyectores.

La computadora del L-Jetronic se encuentra alojada en una carcasa metálica instalada en el vehículo en un lugar protegido contra salpicaduras de agua y fuera del campo de irradiación de calor del motor.

La conexión de la computadora de control a los inyectores, a los sensores y a la red eléctrica del vehículo se realiza mediante un conector múltiple. El circuito de entrada de la unidad de control se ha diseñado de forma que esta quede protegida contra polaridad incorrecta y cortocircuitos.

Para efectuar mediciones en la computadora y en los sensores se han desarrollado instrumentos especiales, que pueden conectarse mediante conectores múltiples entre haz de cables y la computadora.

Todos los inyectores del motor abren y cierran simultáneamente. Las unidades de control para motores 6 y de 8 cilindros tienen 2 etapas finales con 3 o 4 inyectores respectivamente. La etapa de inyección L-Jetronic se han elegido de forma que por



cada vuelta de árbol de levas se inyecte 2 veces la mitad del combustible que necesita cada cilindro.

La frecuencia de los impulsos de inyección se calcula a partir del régimen de revoluciones del motor. El régimen y el caudal de aire aspirado determinan el tiempo básico de inyección.

El Sistema de Control

Los resultados de los diferentes órganos del control sobre el proceso de inyección pueden ser resumidos de la siguiente forma:

- Cuando la temperatura del aire de admisión es alta, se inyecta menos, para compensar la falta de oxígeno del aire de combustible frío
- Cuando la temperatura del agua de enfriamiento del motor es baja (motor frío), se inyecta combustible en una proporción ligeramente elevada, con lo que en la marcha lenta, se dispone de una mezcla más densa
- En cuanto el motor adquiere temperatura normal de funcionamiento, el captador de temperatura del circuito de enfriamiento procura la eliminación del pequeño aumento de densidad de la mezcla de combustión inyectada.

Al arrancar el motor en frío se producen pérdidas por condensación en la proporción de combustible adicional. La inyección de este caudal adicional de nafta tiene lugar durante un tiempo limitado y depende de la temperatura del motor. El procedimiento descrito se denomina enriquecimiento para arranque en frío y durante el mismo la mezcla se enriquece, es decir, el coeficiente de aire es transitoriamente menor que 1. El enriquecimiento para arranque en frío puede producirse por dos métodos, a saber, el control del arranque por medio de la unidad de control y los inyectores, o mediante un termointerruptor temporizado y una válvula electromagnética de arranque en frío. El termointerruptor limita el tiempo de inyección de la válvula de arranque en frío dependiendo de la temperatura del motor.

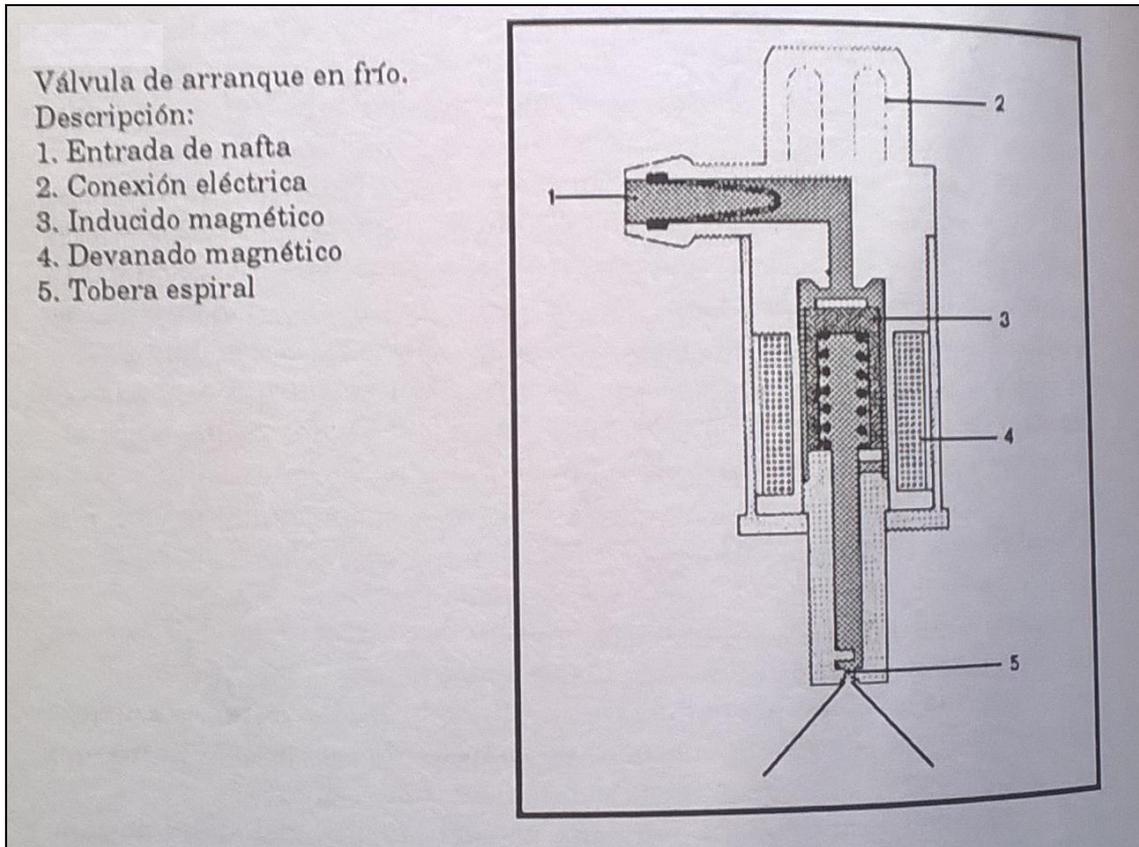


Figura 30: Inyector de arranque en Frio.

Medidor de Caudal

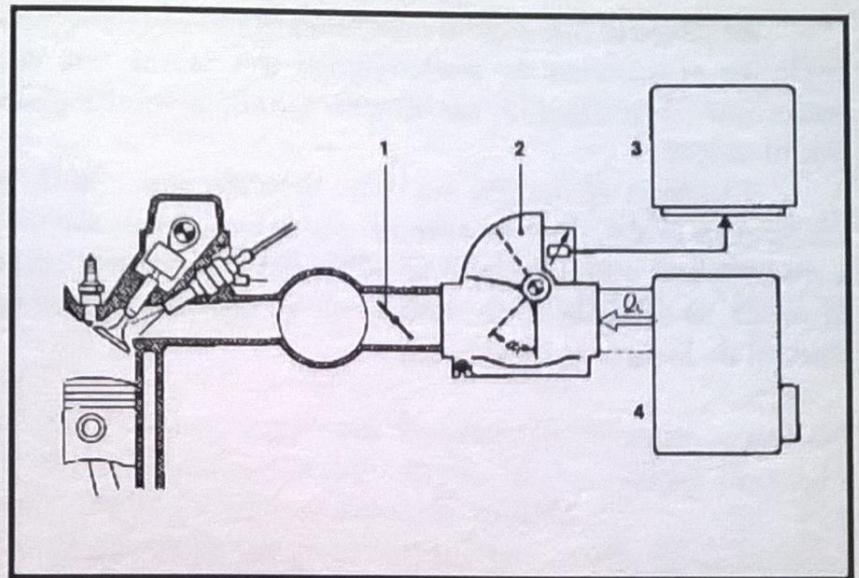
El medidor de aire (Figura 31) aspirado por el motor es una medida de su estado de cargas, y el volumen total sirve como magnitud principal para la dosificación de nafta. El caudal de combustible calculado a partir de la medición del caudal de aire y el número de revoluciones, se denomina caudal básico de combustible.



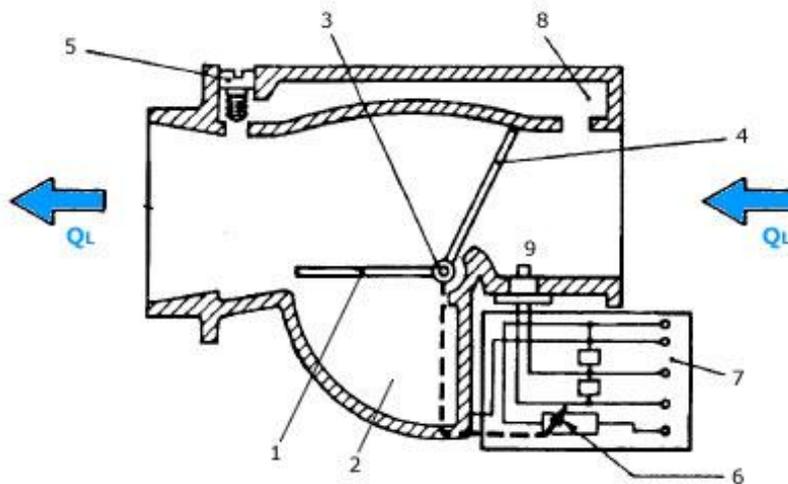
Medidor de caudal de aire en el sistema de admisión.

Descripción:

1. Mariposa
2. Medidor de caudal de aire
3. Unidad electrónica de control
4. Filtro de aire



Esquema interno de la sonda volumétrica LMM



- 1.- Plato de compensación
- 2.- Volumen de amortiguación
- 3.- Eje
- 4.- Plato sonda
- 5.- Tornillo de ajuste de la mezcla de ralenti
- 6.- Cursor del potenciómetro
- 7.- Placa cerámica con resistencias y pistas conductoras
- 8.- Conducto de derivación (ralenti)
- 9.- Sonda de temperatura de aire
- QL.- Flujo de aire de admisión

Figura 31: Medidor de Caudal de Aire.

En el medidor de caudal se registra la fuerza que la corriente del aire de admisión ejerce sobre una aleta-sonda para vencer la fuerza de un resorte antagonista. La aleta se desplaza de manera que conforme el perfil del canal de medición, la sección libre



umenta con el caudal de aire. La modificación de la sección libre de medidor de caudal de aire en función de la posición de la aleta-sonda se ha elegido de forma que resulte una relación logarítmica entre el ángulo de la aleta-sonda y el caudal de aire aspirado. Con ello se consigue una elevada sensibilidad del medidor en el caso de pequeños caudales de aire, para los que se requiere una gran exactitud.

Dado que el caudal de aire aspirado tiene que pasar por el medidor antes de llegar al motor, al acelerar, la señal de dicho medidor de caudal se adelanta temporalmente a llenado efectivo de aire en el cilindro. Ello hace que se dosifique prematuramente más combustible, con el consiguiente y beneficioso enriquecimiento en la aceleración.

Durante la fase de calentamiento, y por influencia de una válvula de aire adicional, el motor recibe más mezcla con el fin de superar la mayor fricción que se produce en estado frío, garantizándose así una marcha lenta estable.

A plena carga el motor tiene que proporcionar la potencia máxima.

Esto se consigue enriqueciendo la mezcla en comparación con la composición que tiene en carga parcial. El valor del enriquecimiento se programa en la unidad de control en forma específica para cada motor. La información relativa al estado “plena carga” la recibe la unidad de control del interruptor de mariposa, que va fijado al múltiple de admisión y que es accionado por el eje de la mariposa.

El caudal de combustible inyectado también se adapta a la temperatura del aire y una sonda térmica envía a la computadora los datos correspondientes.

La información relativa al número de revoluciones y al momento de inyección es proporcionada a la unidad de control del L-Jetronic a través del sistema de encendido. El sistema L-Jetronic también posee aptitudes para limitar electrónicamente el número de revoluciones del motor, así como para cortar el suministro de nafta a los inyectores cuando se suelta el acelerador y se frena con el motor.

También se incluyen en la instalación una sonda Lambda o sensor de oxígeno en el múltiple de escape, cuyas señales se envían a la computadora para informar sobre la composición momentánea de la mezcla.

2.1.5.2. Sistema K-Jetronic

El sistema **K-Jetronic** de Bosch proporciona un caudal variable de carburante pilotado mecánicamente y en modo continuo. Este sistema realiza tres funciones fundamentales:

- Medir el volumen de aire aspirado por el motor, mediante un caudalímetro especial.
- Alimentación de gasolina mediante una bomba eléctrica que envía la gasolina hacia un dosificador-distribuidor que proporciona combustible a los inyectores.
- Preparación de la mezcla: el volumen de aire aspirado por el motor en función de la posición de la válvula de mariposa constituye el principio de dosificación



de carburante. El volumen de aire está determinado por el caudalímetro que actúa sobre el dosificador-distribuidor.

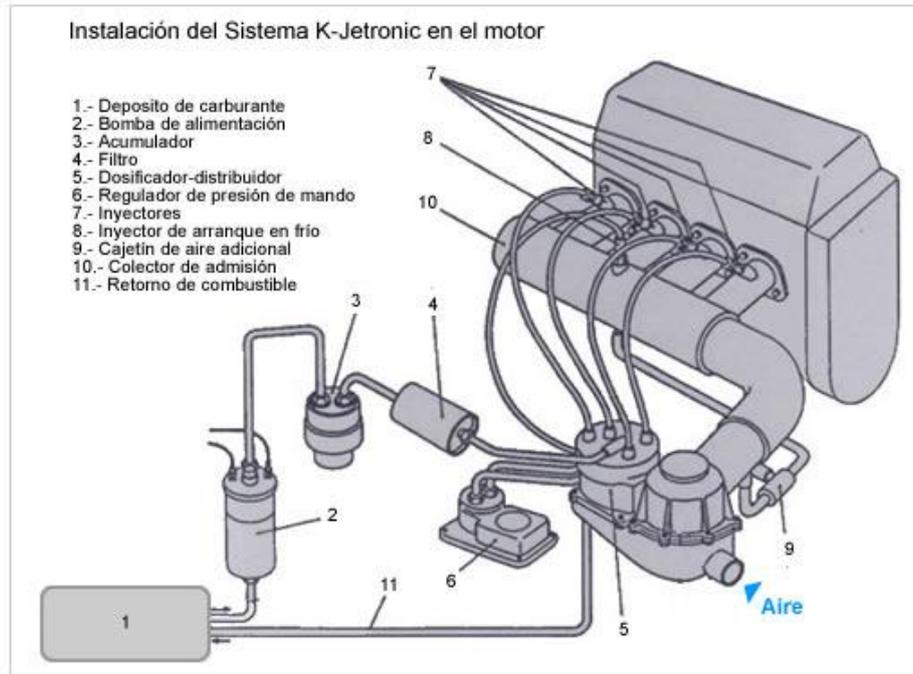


Figura 32: Instalación del sistema general K-Jetronic en el motor.

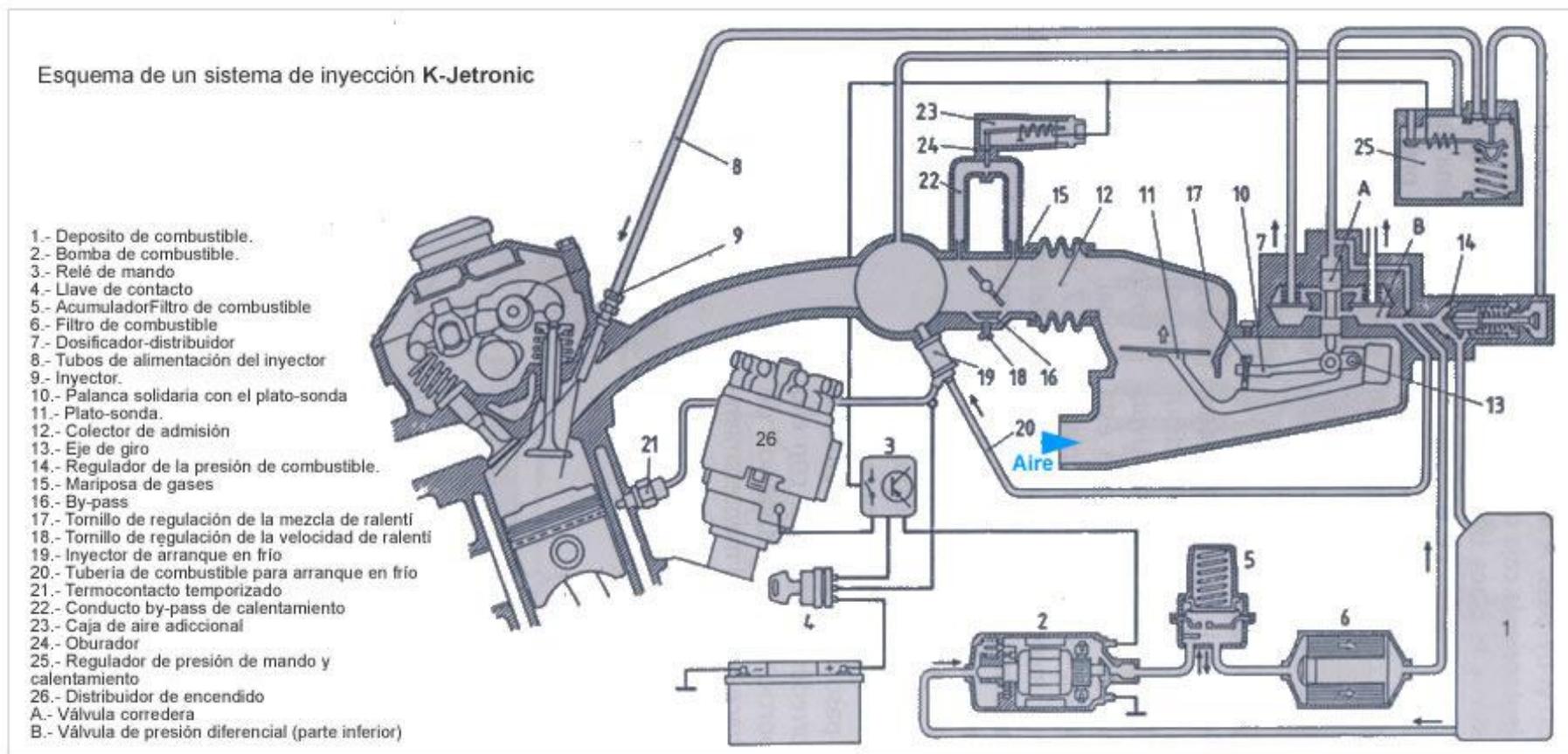


Figura 33: Esquema general del sistema K-Jetronic y sus elementos.



Componentes del modelo K-Jetronic

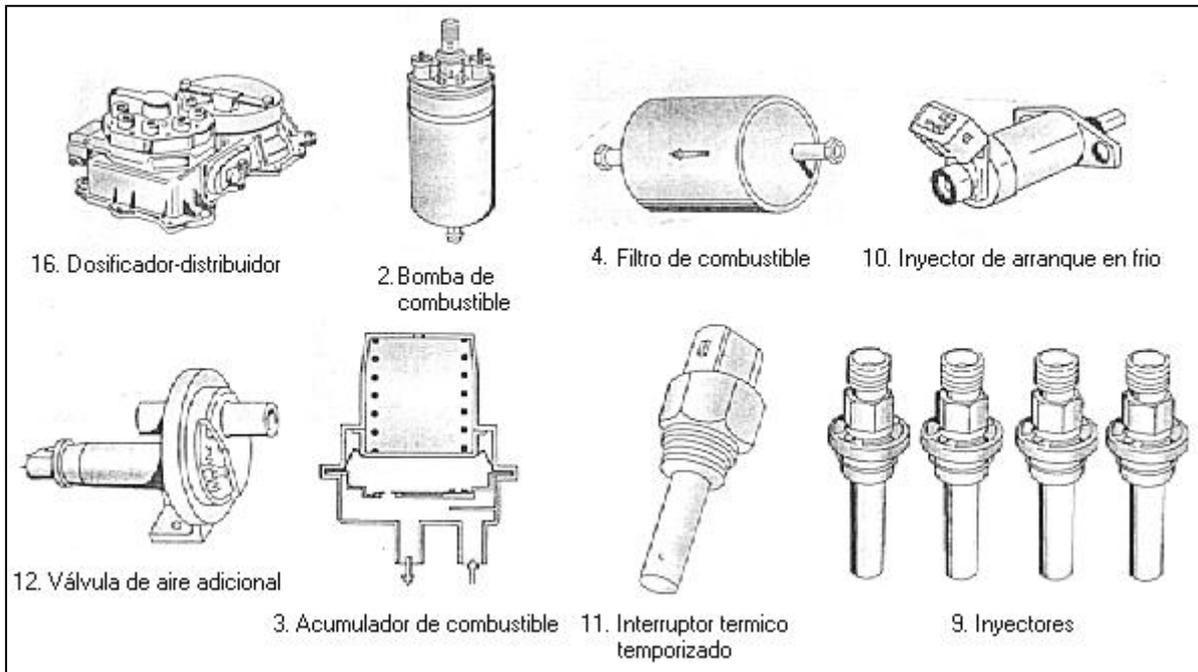


Figura 34: Elementos del sistema K-Jetronic.

Alimentación de combustible

El sistema de alimentación suministra bajo presión la cantidad exacta de combustible necesaria para el motor en cada estado de funcionamiento. El sistema de alimentación consta del depósito de combustible (1), la electrobomba de combustible (2), el acumulador de combustible (3), el filtro de combustible (4), el regulador de presión (5), el distribuidor-dosificador de combustible (16) y las válvulas de inyección (9). Una bomba celular de rodillos accionada eléctricamente aspira el combustible desde el depósito y lo conduce bajo presión a través de un acumulador de presión y un filtro.

Bomba eléctrica de combustible: Es una bomba de tipo centrífugo situado a la salida del depósito; en un interior hay una cámara excéntrica con un disco que contiene cinco cavidades donde están los rodillos. Debido a la fuerza centrífuga los rodillos resultan proyectados contra las paredes, aumentando el volumen de las cavidades y aspirando la gasolina, que se impulsa hasta el tubo distribuidor.

La bomba tiene una válvula de descarga que limita la presión del circuito. De esta manera se evita que una posible obstrucción provoque la avería de la propia bomba. Cuando la bomba esta parada, una válvula a la salida mantiene una presión residual en



el circuito.

El motor de la bomba esta bañado en la propia gasolina que le sirve al mismo tiempo de lubricante y refrigerante.

Aunque pueda parecer que existe riesgo de inflamación el estar en contacto con la gasolina con el motor eléctrico, esto no es posible debido a la ausencia de aire para la combustión.

Al poner el contacto del vehículo la bomba se pone en marcha permaneciendo en funcionamiento todo el tiempo en que el motor está en marcha.

Un sistema de seguridad detiene la bomba cuando no hay mando de encendido.

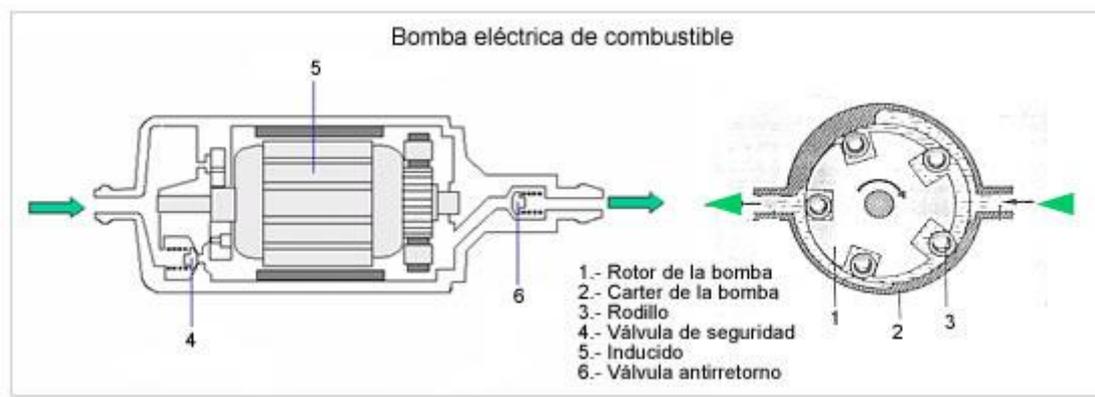


Figura 35: Bomba eléctrica de combustible.

Acumulador de combustible: mantiene bajo presión el circuito de carburante después del paro del motor, para facilitar una nueva puesta en marcha, sobre todo si el motor está caliente.

Gracias a la forma particular de su cuerpo, el acumulador ejerce una acción de amortiguación de los impulsos presentes en el circuito y debidos a la acción de la bomba.

El interior del acumulador está dividido por dos cámaras separadas por una membrana (4). Una cámara (5) tiene la misión de acumular carburante y la otra (1) contiene un muelle.

Durante el funcionamiento, la cámara de acumulación se llena de carburante y la curva se curva hasta el tope, oponiéndose a la presión ejercida por el muelle. La membrana queda en esta posición, que corresponde al volumen máximo hasta que el motor deja de funcionar. A medida que el circuito de carburante va perdiendo presión la membrana va desplazándose para compensar esta falta de carburante.

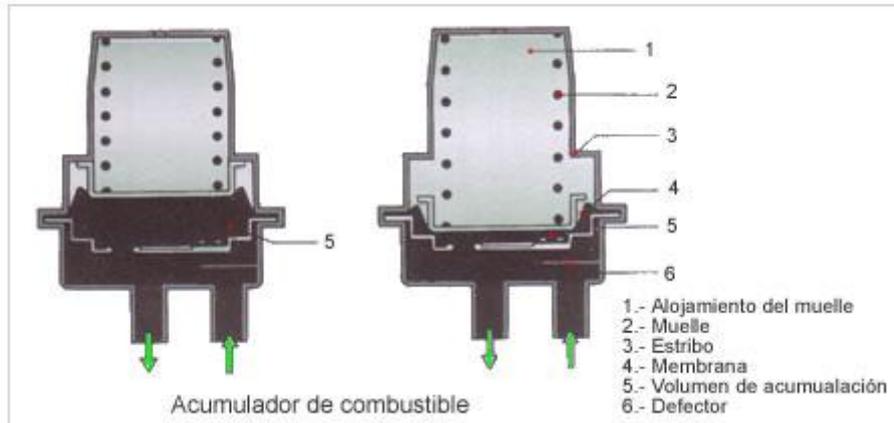


Figura 36: Acumulador de combustible.

Medición del caudal de aire

El regulador de mezcla cumple dos funciones medir el volumen de aire aspirado por el motor y dosificar la cantidad correspondiente de combustible para conseguir una proporción aire/combustible adecuada. El medidor del caudal de aire, situado delante de la mariposa en el sistema de admisión mide el caudal de aire. Consta de un embudo de aire (2) con un plato-sonda móvil colocado en el nivel de diámetro más pequeño.

Cuando el motor aspira el aire a través del embudo, el plato (1) es aspirado hacia arriba o hacia abajo (depende de cada instalación), y abandona su posición de reposo. Un sistema de palancas transmite el movimiento del plato a la válvula corredera (8) que determina la cantidad de combustible a inyectar. Al parar el motor el plato-sonda vuelve a la posición neutra y descansa en un resorte (3) de lámina ajustable (en el caso de los platos-sonda que se desplazan hacia arriba). Para evitar estropear la sonda en caso de retornos de llama por el colector de admisión, el plato-sonda puede oscilar en el sentido contrario, contra el resorte de lámina, hacia una sección más grande. Un amortiguador de goma limita su carrera

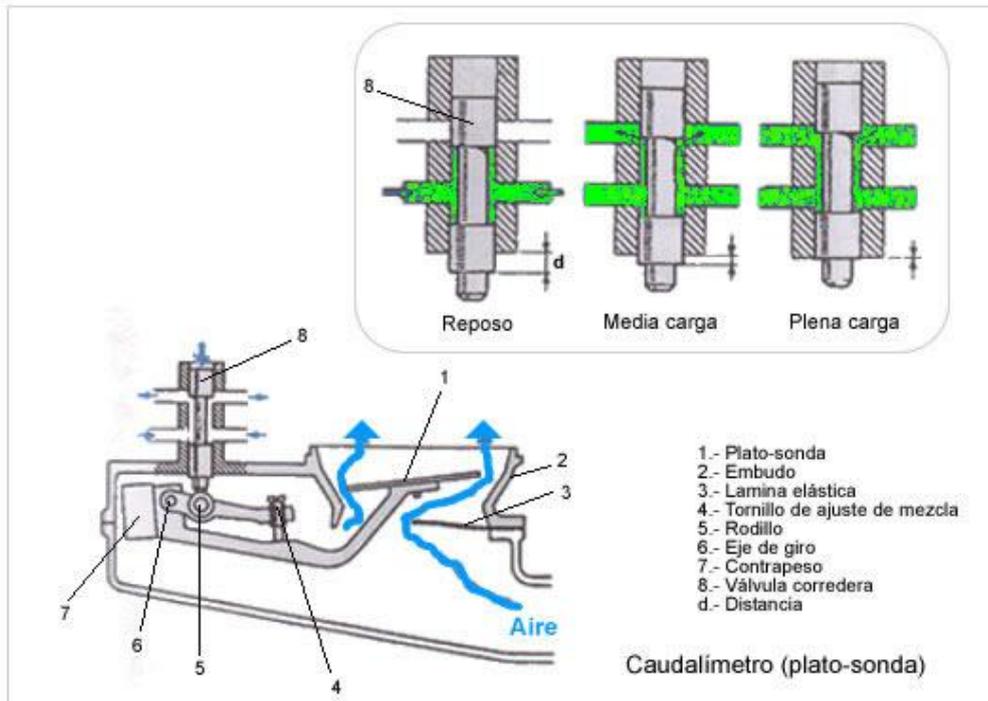


Figura 37: Caudalímetro.

Para la adaptación de la relación aire/combustible a diferentes regímenes del motor: ralentí, carga parcial y plena carga, el embudo del caudalímetro está compuesto de secciones que presentan diferentes pendientes. En las zonas de ralentí y plena carga la pendiente del embudo permitirá que el plato sonda se eleve más para así poder enriquecer más la mezcla.

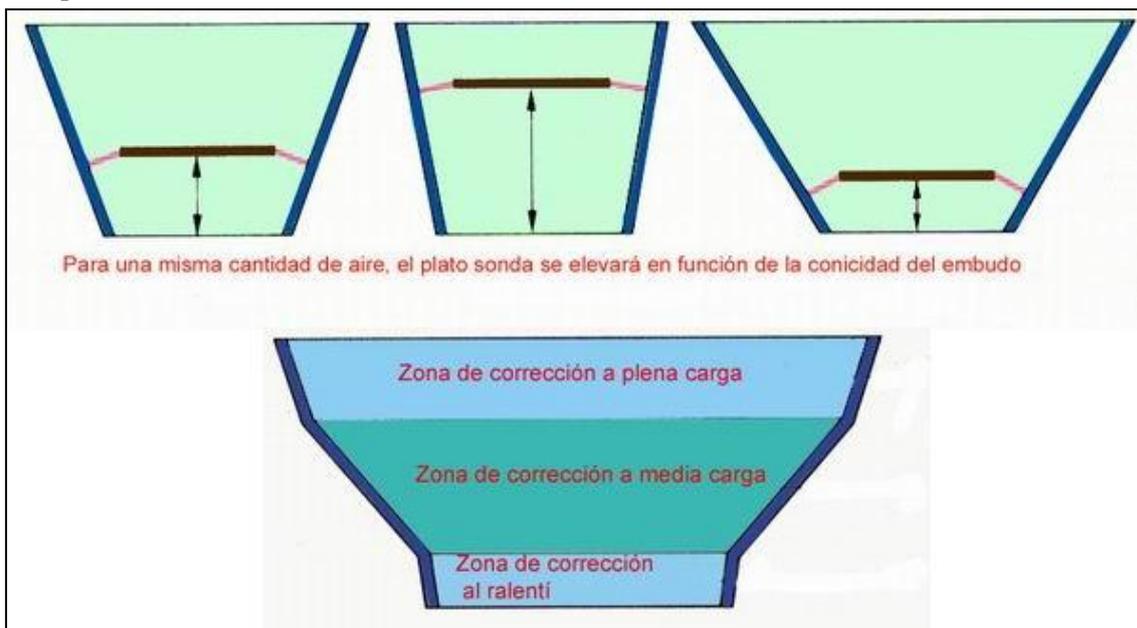


Figura 38: Zonas del plato sonda.



Admisión de combustible

El dosificador-distribuidor de combustible dosifica la cantidad necesaria de combustible y la distribuye a los inyectores. La cantidad de combustible varía en función de la posición del plato-sonda del medidor del caudal de aire, y por lo tanto en función del aire aspirado por el motor. Un juego de palancas traduce la posición del plato-sonda en una posición correspondiente a la válvula de corredera. La posición de la válvula corredera en la cámara cilíndrica de lumbreras determina la cantidad de combustible a inyectar. Cuando el émbolo se levanta, aumenta la sección liberada en las lumbreras, dejando así pasar más combustible hacia las válvulas de presión diferencial (cámaras superiores) y de estas hacia los inyectores. Al movimiento hacia arriba del émbolo de control se opone la fuerza que proviene del circuito de presión de mando. Esta presión de mando está regulada por el "regulador de la presión de mando" y sirve para asegurar que el émbolo de la válvula corredera sigue siempre inmediatamente el movimiento del plato-sonda sin que permanezca en posición alta cuando el plato-sonda vuelve a la posición de ralentí. Las válvulas de presión diferencial del dosificador-distribuidor de combustible aseguran el mantenimiento de una caída de presión constante entre los lados de entrada y de salida de las lumbreras. Esto significa que cualquier variación en la presión de línea del combustible o cualquier diferencia en la presión de apertura entre los inyectores no pueden afectar el control del caudal de combustible.

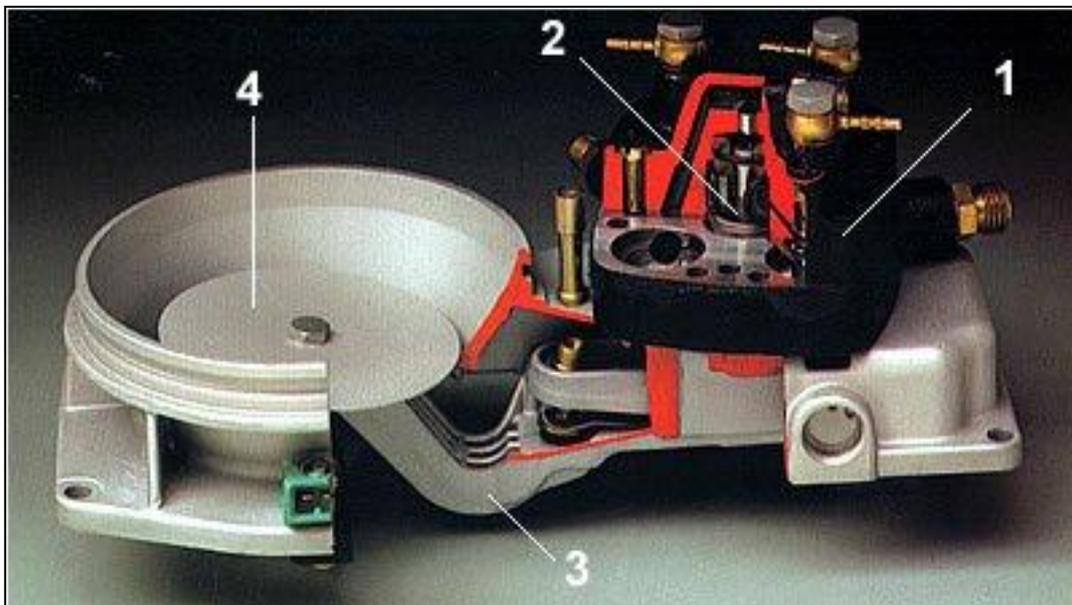


Figura 39: Dosificador-Distribuidor de combustible.

Funcionamiento de la válvula corredera

La posición del émbolo de la válvula corredera en si es determinada por la posición del plato-sonda, por lo tanto está en función del caudal de aire en el embudo del



caudalímetro. El combustible debe ser repartido uniformemente entre los cilindros del motor. El principio de este reparto descansa en el mando de la sección de paso de las "rajas de estrangulación", mecanizadas en el cilindro de la "válvula corredera". El cilindro lleva tantas aperturas (rajas de estrangulamiento) como cilindros lleva el motor. Una válvula de presión diferencial afectado a cada una de las rajas tiene la función de mantener en ellas una caída de presión de valor constante. Esta válvula está constituida por una cámara inferior y otra superior separadas por una membrana de acero. La diferencia de presión reinante entre la cámara superior y la inferior es de 0,1 bares (aproximadamente 0,2 kg/cm²). Esta diferencia de presión se produce por un muelle helicoidal incorporado en la cámara superior. Si la cantidad de combustible que pasa a través de la cámara superior, por las rajas de estrangulamiento se incrementa, la presión aumenta momentáneamente en esta cámara. La membrana de acero se encorva hacia la parte inferior y descubre la sección de salida hacia el inyector en la medida necesaria para que se establezca en la raja de estrangulamiento una presión diferencial de 0,1 bares. El embolo de la válvula corredera según su posición descubre más o menos las rajas de estrangulamiento.

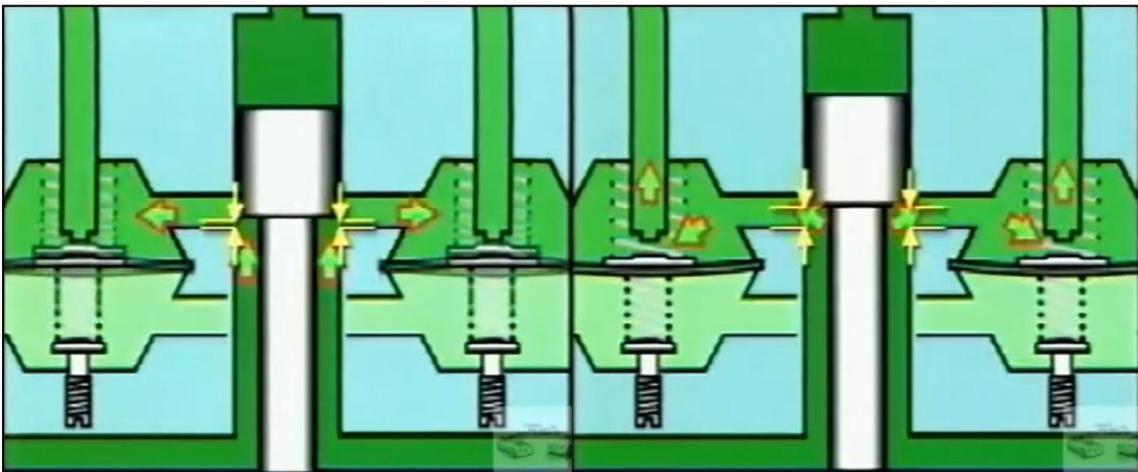


Figura 40: Válvula corredera.

El circuito de la presión de mando se deriva del circuito de alimentación por medio de un "orificio calibrado" situado en el dosificador-distribuidor. La presión de mando queda determinada por el regulador de presión de mando. El "estrangulamiento" que se sitúa por encima de la válvula corredera tiene la función de amortiguar los movimientos del plato-sonda ocasionados por las pulverizaciones de aire que se manifiestan a menudo a escasa velocidad.

Regulador de presión

Un regulador de presión de combustible situado en el regulador de mezcla (dosificador-distribuidor) mantiene una presión constante de 5 bar en la parte inferior de las válvulas



de presión diferencial cualquiera que sea la fase de utilización del motor, o las variaciones de caudal de la bomba de alimentación. El regulador de presión devuelve el combustible sobrante al depósito con la presión atmosférica. También el regulador de presión devuelve al depósito el combustible que le llega del "regulador de fase de calentamiento" a través de la entrada (8) y pasando por la válvula de aislamiento (5).

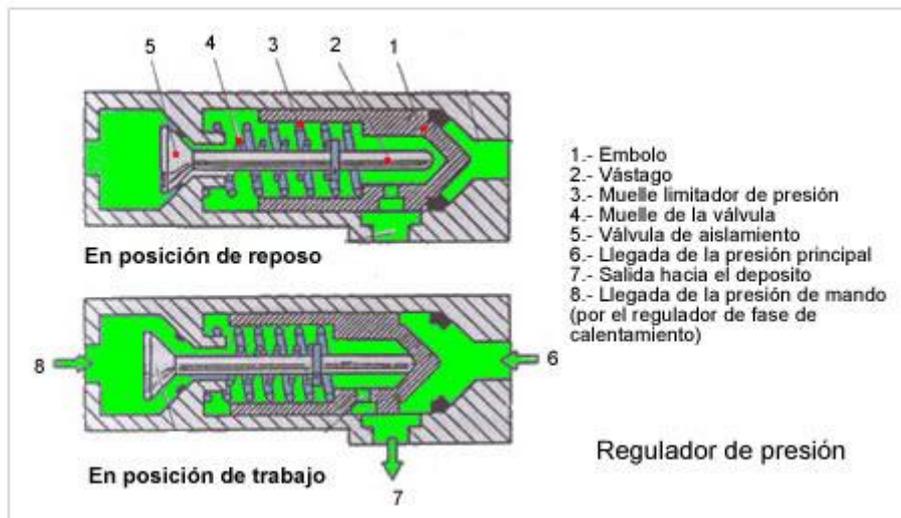


Figura 41: Regulador de Presión.

Arranque en frío

Al arrancar en frío el motor necesita más combustible para compensar las pérdidas debidas a las condensaciones en las paredes frías del cilindro y de los tubos de admisión. Para compensar esta pérdida y para facilitar el arranque en frío, en el colector de admisión se ha instalado un inyector de arranque en frío (10), el cual inyecta gasolina adicional durante la fase de arranque. El inyector de arranque en frío se abre al activarse el devanado de un electroimán que se aloja en su interior. El interruptor térmico temporizado limita el tiempo de inyección de la válvula de arranque en frío de acuerdo con la temperatura del motor. A fin de limitar la duración máxima de inyección del inyector de arranque en frío, el interruptor térmico temporizado va provisto de un pequeño elemento caldeable que se activa cuando se pone en marcha el motor de arranque. El elemento caldeable calienta una tira de bimetálico que se dobla debido al calor y abre un par de contactos; así corta la corriente que va a él inyector de arranque en frío.

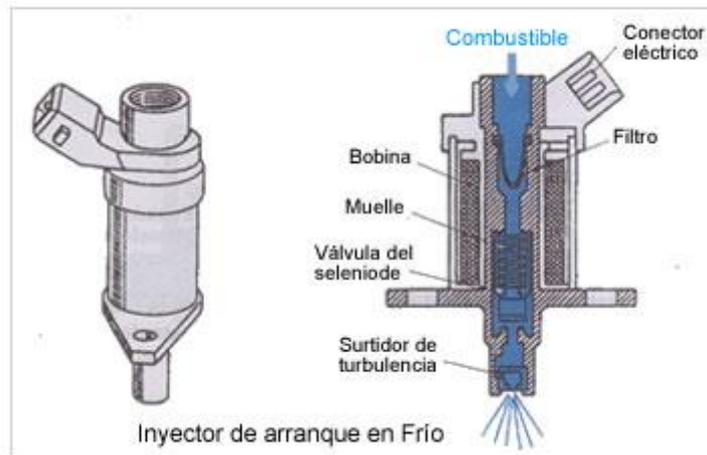


Figura 42: Inyector de arranque en frío.

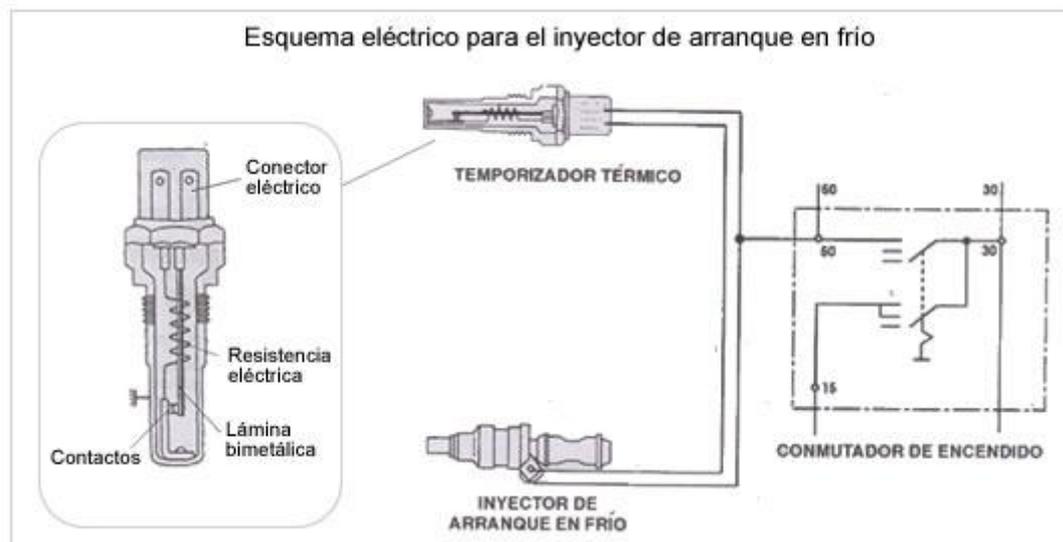


Figura 43: Esquema eléctrico para el inyector de arranque en frío.

Enriquecimiento para la fase de calentamiento

Mientras el motor se va calentando después de haber arrancado en frío, hay que compensar la gasolina que se condensa en las paredes frías de los cilindros y de los tubos de admisión. Durante la fase de calentamiento se enriquece la mezcla aire/combustible, pero es preciso reducir progresivamente este enriquecimiento a medida que se calienta el motor para evitar una mezcla demasiado rica. Para controlar la mezcla durante la fase de calentamiento se ha previsto un regulador de presión de mandos (también llamado: regulador de fase de calentamiento) que regula la presión de mando. Una reducción de la presión de mando hace disminuir la fuerza antagonista en el medidor del caudal de aire, permitiendo así que el plato suba más en el embudo, y con ello se eleve la válvula de corredera dejando pasar más combustible por las lumbreras. En el interior del regulador de presión de mando una válvula de membrana (1) es controlada por un muelle helicoidal (4) a cuya fuerza se opone una lámina de



bimetálica (3). Si el motor está frío, durante el calentamiento, la lámina bimetálica se curva hacia abajo debido a la resistencia calefactora (2) (que es alimentada durante la fase de calentamiento del motor) contrarrestando la fuerza del muelle (4) con lo que la membrana (1) se mueve de tal manera que la presión de mando sobre la válvula corredera disminuye fugándose la gasolina hacia el regulador de presión y de este al depósito, al disminuir la presión de mando sube la válvula corredera y aumenta la riqueza de la mezcla suministrada a los cilindros del motor.

Durante el arranque en frío la presión de mando es de 0,5 bar. aproximadamente mientras que en condiciones normales se alcanza el valor de 3,7 bar.

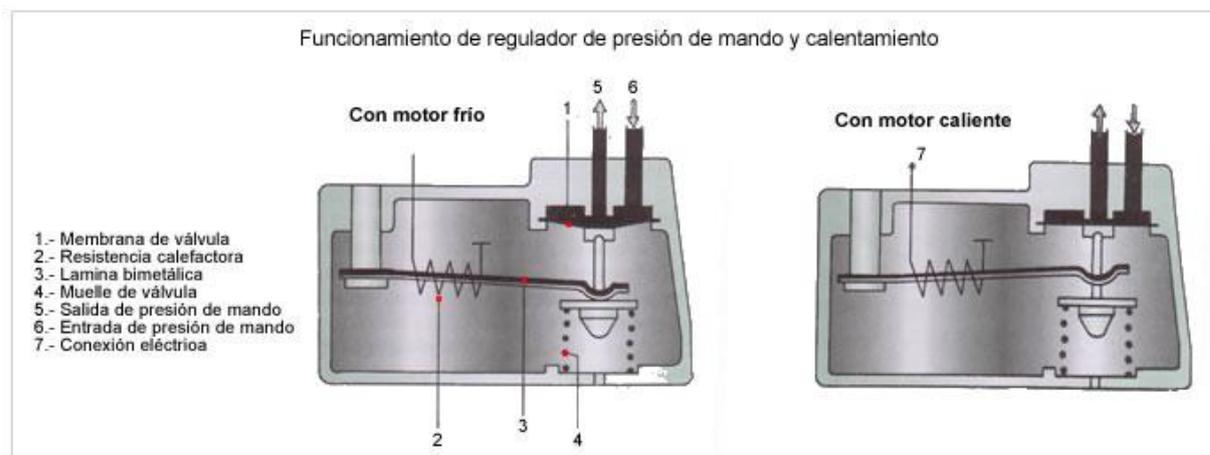
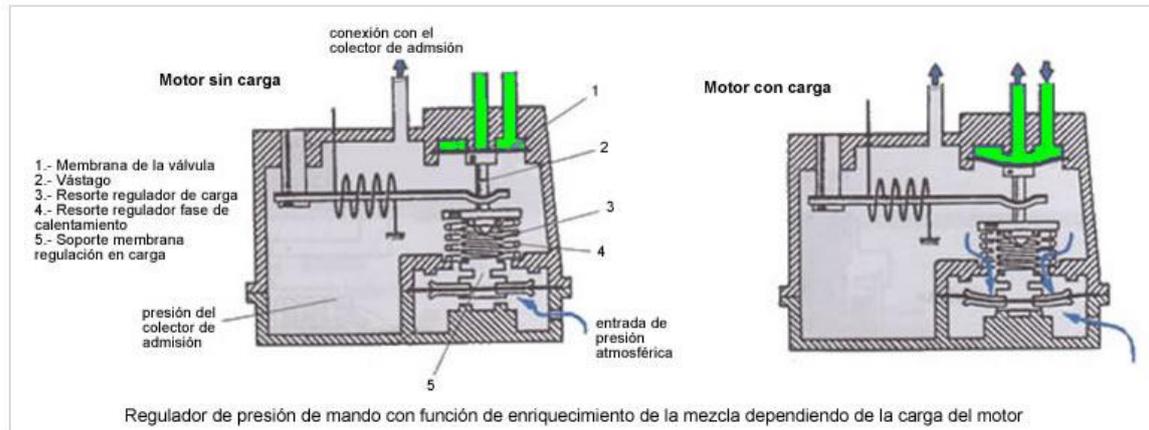


Figura 44: Regulador de presión de mando y calentamiento.

Para los motores concebidos para funcionar a carga parcial con mezclas aire/combustible muy pobres, se ha perfeccionado el regulador de la fase de calentamiento equipándolo con un empalme de depresión hacia el colector de admisión. Ello permite al regulador de la fase de calentamiento de ejercer una presión de control reducida con la correspondiente mezcla aire/combustible más rica, cuando el motor funciona a plena carga. En este estado de servicio el acelerador está totalmente abierto y la depresión del colector es muy débil. El efecto combinado de una segunda válvula de membrana y de un muelle helicoidal es de reducir el efecto de la válvula de membrana de control de presión, la cual a su vez reduce la presión de mando que provoca el enriquecimiento de la mezcla con el motor en carga. La membrana de regulación de carga (5) actúa sobre el segundo muelle (3) debido a que está sometida en su parte superior a la depresión del colector de admisión y en su parte inferior a la presión atmosférica.

Con una carga de motor intermedia la depresión en el colector de admisión es suficiente para comprimir el muelle regulador de carga por lo que la membrana de la válvula de presión de mando (1) sube aumentando la presión de mando sobre la válvula de corredera por lo que se empobrece la mezcla que inyecta en los cilindros.



.Figura 45: Funcionamiento de regulador de presión de mando y calentamiento

Válvula de aire adicional

Las resistencias por rozamiento del motor frío hacen necesario aumentar el caudal de aire/combustible mientras el motor se va calentando. Esto permite asimismo mantener un régimen de ralentí estable. La válvula de aire adicional se encarga de aumentar el caudal de aire en el motor mientras que el acelerador continúa en posición de ralentí. La válvula de aire adicional abre un conducto en bypass con la mariposa; como todo el aire que entra ha de pasar por el medidor del caudal de aire, el plato sube y deja pasar una cantidad de combustible proporcional por las lumbreras del distribuidor-dosificador de combustible. Una tira de bimetálica controla el funcionamiento de la válvula de aire adicional al regular la sección de apertura del conducto de derivación. Al arrancar en frío queda libre una sección mayor que se va reduciendo a medida que aumenta la temperatura del motor, hasta que, finalmente, se cierra. Alrededor de la tira de bimetálica hay un pequeño elemento caldeable que se conecta cuando el motor entra en funcionamiento. De este modo se controla el tiempo de apertura y el dispositivo no funciona si el motor está caliente porque la tira recibe la temperatura del motor.

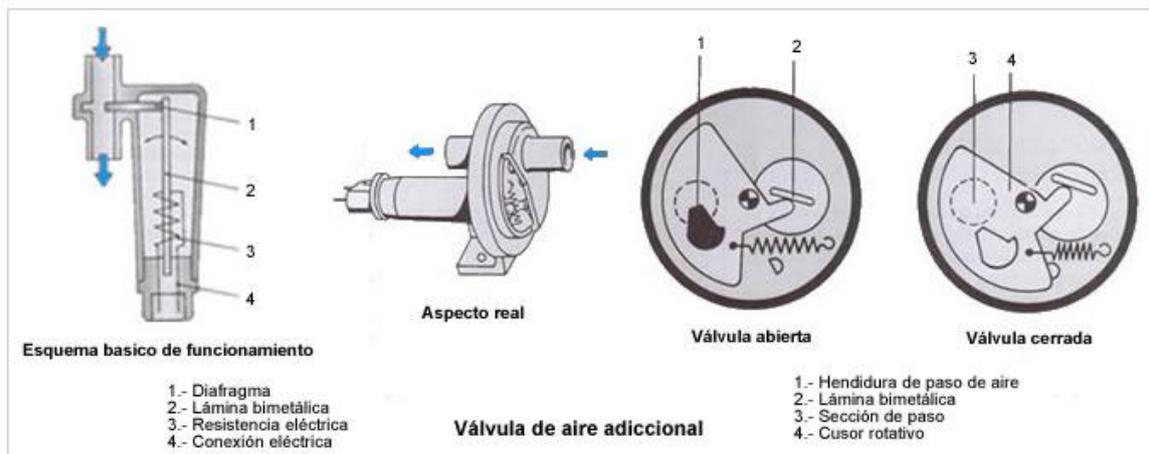


Figura 46: Válvula de aire adicional.

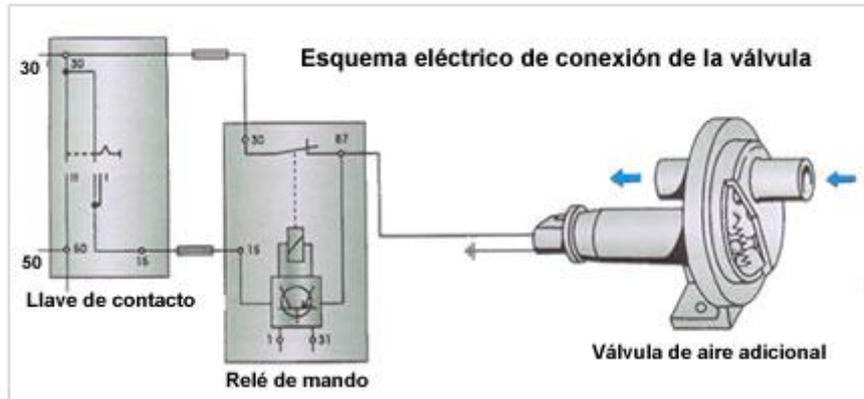


Figura 47: Esquema eléctrico de conexión de la válvula.

Injectores

El combustible dosificado por el dosificador-distribuidor, es enviado a los inyectores y de estos se inyecta en los diversos conductos de admisión antes de las válvulas de admisión de los cilindros del motor. Los inyectores están aislados del calor que genera el motor evitando la formación de pequeñas burbujas de vapor en los tubos de inyección después de parar el motor. La válvula (1) responde incluso a las cantidades pequeñas, lo cual asegura una pulverización adecuada incluso en régimen de ralentí

Los inyectores no contribuyen en la dosificación. Las válvulas de inyección se abren automáticamente cuando la presión sobrepasa un valor fijado (3,3 bar) y permanecen abiertas; inyectando gasolina mientras se mantiene la presión. La aguja de la válvula oscila a una frecuencia elevada obteniéndose una excelente vaporización. Después del paro del motor los inyectores se cierran cuando la presión de alimentación es inferior a los 3,3 bar. Cuando se para el motor y la presión en el sistema de combustible descende por debajo de la presión de apertura de la válvula de inyección un muelle realiza un cierre estanco que impide que pueda llegar ni una gota más a los tubos de admisión.

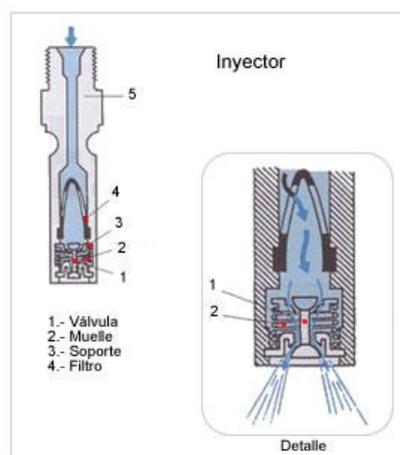


Figura 48: Inyector.



2.1.5.3. Sistema Ke-Jetronic

El **KE-Jetronic** de Bosch es un sistema perfeccionado que combina el sistema K-Jetronic con una unidad de control electrónica (ECU). Excepto algunos detalles modificados, en el sistema KE-Jetronic encontramos los principios de base hidráulicos y mecánicos del sistema K-Jetronic. La diferencia principal entre los dos sistemas es que en el sistema KE se controlan eléctricamente todas las correcciones de mezcla, por lo tanto no necesita el circuito de control de presión con el regulador de la fase de calentamiento que se usa en el sistema K-Jetronic. La presión del combustible sobre el émbolo de control permanece constante y es igual a la presión del sistema. La corrección de la mezcla la realiza un actuador de presión electromagnético que se pone en marcha mediante una señal eléctrica variable procedente de la unidad de control. Los circuitos eléctricos de esta unidad reciben y procesan las señales eléctricas que transmiten los sensores, como el sensor de la temperatura del refrigerante y el sensor de posición de mariposa. El medidor del caudal de aire del sistema KE difiere ligeramente del que tiene el sistema K. El del sistema KE está equipado de un potenciómetro para detectar eléctricamente la posición del plato-sonda. La unidad de control procesa la señal del potenciómetro, principalmente para determinar el enriquecimiento para la aceleración. El dosificador-distribuidor de combustible instalado en el sistema KE tiene un regulador de presión de carburante de membrana separado, el cual reemplaza al regulador integrado del sistema K-Jetronic.

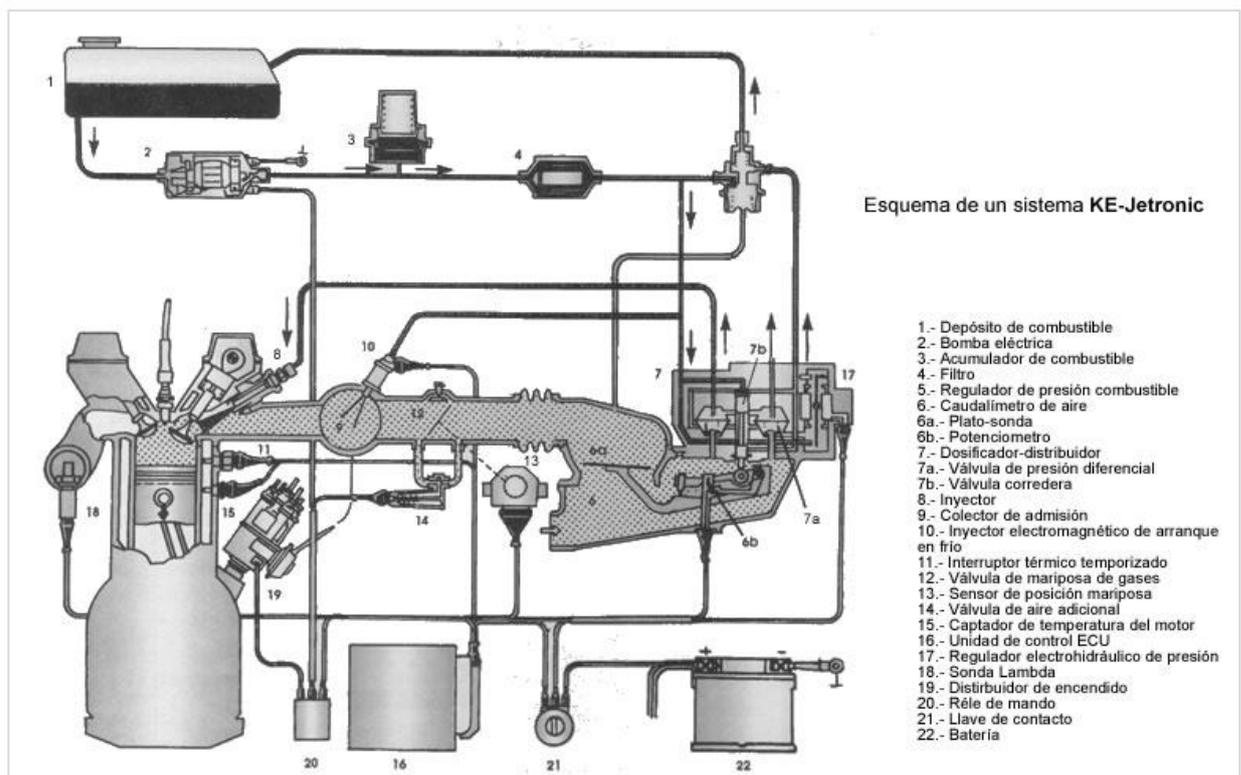


Figura 49: Esquema del sistema KE-Jetronic.

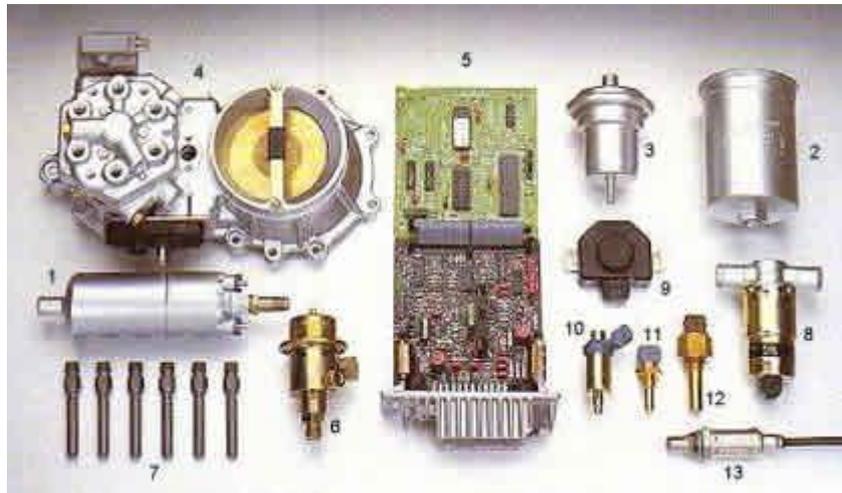


Figura 50: Elementos del sistema KE-Jectronic.

- 1.- Bomba eléctrica de combustible
- 2.- Filtro
- 3.- Acumulador de presión
- 4.- Dosificador-distribuidor
- 5.- ECU
- 6.- Regulador de presión
- 7.- Inyectores
- 8.- Regulador de ralentí
- 9.- Sensor posición de mariposa
- 10.- Inyector de arranque en frío
- 11.- Sensor de temperatura
- 12.- Termocontacto temporizado
- 13.- Sonda lambda.

Actuador electrohidráulico o regulador de presión

El funcionamiento de este actuador puede describirse teniendo en cuenta el funcionamiento del sistema K-Jetronic, partiendo de que la alimentación a los inyectores se produce cuando las presiones en las cámaras de las válvulas de presión diferencial son diferentes. Sabiendo que la entrada de combustible a las cámaras inferiores (1) de las válvulas está controlada por una placa de rebote (3) que puede obturar o reducir el paso del combustible procedente de la bomba de combustible (4), estas variaciones de caudal pueden afectar de forma importante el dosado de la mezcla. El actuador puede, en efecto, reducir o aumentar la presión según tapone, o no, el paso de combustible (10). Consta el actuador de la citada placa de rebote (3) que se mantiene en equilibrio entre dos electroimanes y otro imán permanente.

Las señales eléctricas que activan el actuador y por lo tanto la placa de rebote vienen



proporcionadas por la centralita (ECU), de acuerdo con los datos que recoge por medio de sus sensores, y se logra así una regulación muy afinada en las presiones, y en la dosificación.

Si nos fijamos más en el funcionamiento del actuador podemos ver la distribución de los flujos magnéticos que determinan la modulación de la presión. Por (5) tenemos la entrada de combustible al actuador a la presión que envía la bomba de combustible. La placa de rebote (3) significa un freno mayor o menor según su posición. El paso de combustible hacia las cámaras del dosificador se efectúa la salida (11). El principal elemento del actuador es el conjunto de imanes. En (12) tenemos el imán permanente del que las líneas de trazos y las flechas muestran el sentido de flujo magnético. Por otra parte tenemos las bobinas magnéticas (5) de los dos electroimanes, junto con una armadura (6) unida a la placa de rebote (3) y que puede desplazarla. Aquí se forman los entrehierros (7 y 8).

Como que el flujo del imán permanente es constante y el del electroimán es proporcional a la corriente que le manda la ECU capaz de hacer regulaciones de presión de centésimas de bar.

En situación de reposo, la placa de rebote da una dosificación equivalente a 14,7/1, razón por la cual, en el caso de fallo de ECU el motor puede seguir funcionando; pero durante la marcha normal existe una gran variedad de dosificaciones que la citada UCE determina gracias a las informaciones que recibe de los sensores.

Como puede verse un tornillo de reglaje (9) permite la puesta punto del actuador.

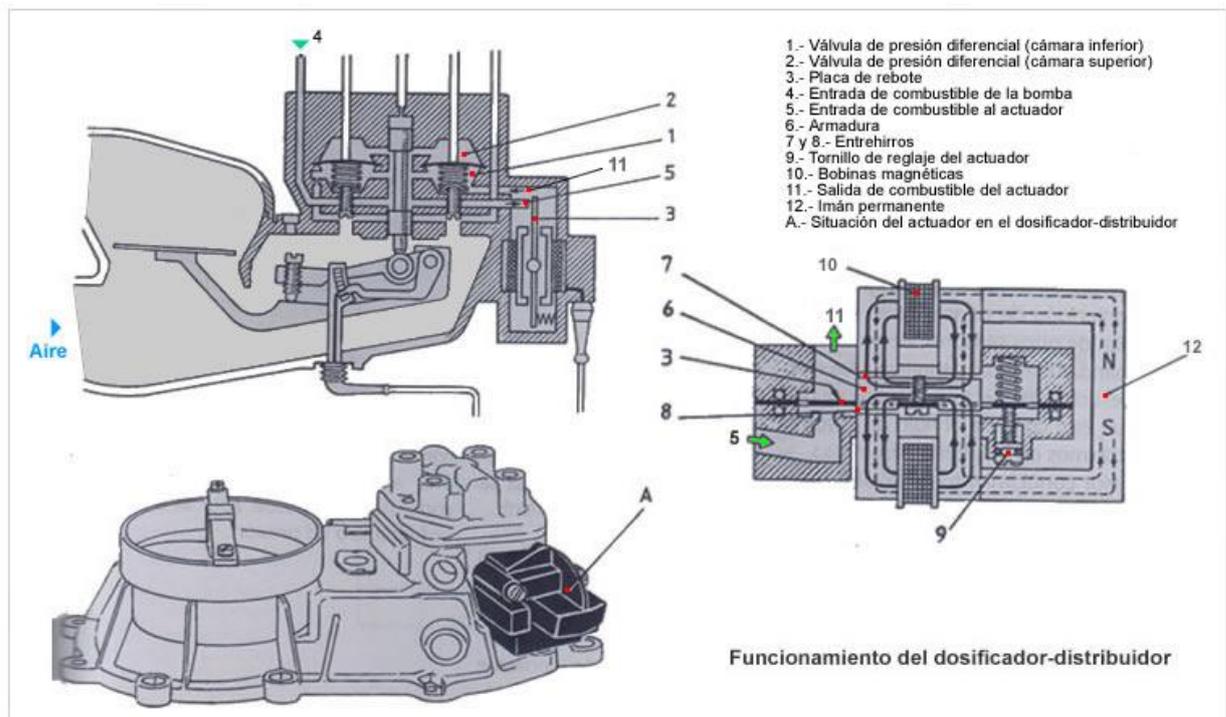


Figura 51: Funcionamiento del dosificador-distribuidor.



Regulador de presión del circuito de alimentación de combustible

Otro elemento diferencial con respecto al sistema K-Jetronic es el uso de este elemento. Su misión es mantener un valor de presión estable en el circuito aun cuando el consumo sea elevado o se observen valores irregulares en la presión proporcionada por la electrobomba.

En cuanto la electrobomba se pone en marcha, el combustible pasa a llenar la cámara de presión (1) gracias a su entrada por (2). El valor de esta presión está calculado para que venza la presión que ejerce el muelle (3) que empuja una membrana (4), con un plato central (5) que a su vez actúa sobre la válvula principal (6).

La válvula principal al moverse la membrana por los efectos de la presión abre el conducto (7) dejando una vía de descarga, entre (8 y 9), a la gasolina que proviene del actuador y, en general, del distribuidor-dosificador. En este momento, la presión general puede descender pero se autocorrigie de inmediato por la posición de la membrana (4) y de la válvula principal (6). Un tornillo de ajuste (10) completa el equipo.

En el gráfico se representa los estados de presión que se producen en el regulador. Mientras la electrobomba funciona tenemos un valor de presión descrito por el punto (1) del gráfico. Cuando la electrobomba se para, la membrana cierra inmediatamente el paso de la válvula principal (6), pero la presión desciende hasta el punto (2) del gráfico. Acto seguido, al hacerse sensible está pérdida de presión en todo el circuito, el acumulador suelta el combustible retenido y, como consecuencia de ello, la presión asciende hasta el punto (3) del gráfico, ligeramente por debajo del valor de inyección que está representado por (4). De esta forma y con el motor parado, el circuito se mantiene bajo presión.

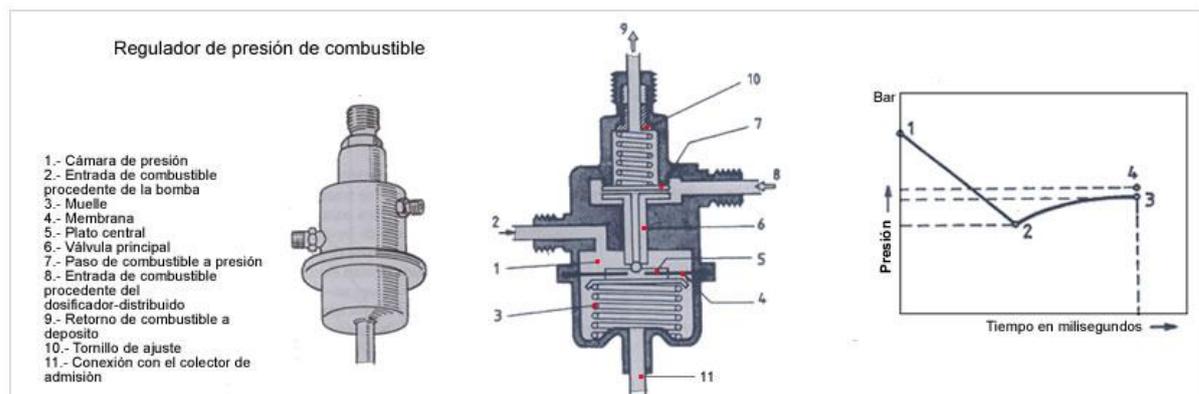


Figura 52: Regulador de presión de combustible.

El regulador también está en contacto con el estado de depresión del colector de admisión (11) que actúa sobre la membrana en ciertos momentos, dependiendo del estado de carga del motor. Cuando el motor funciona a medias cargas la depresión en el colector de admisión es grande por lo que se transmite a través de (11) al regulador tirando de la membrana hacia abajo para abrir la válvula principal (6) y así hacer disminuir la presión en el circuito de alimentación lo que se traduce en un



empobrecimiento final de la mezcla que se inyecta en los cilindros. A plena carga de funcionamiento del motor no hay apenas depresión en el colector de admisión por lo que no afecta para nada en la posición de la membrana y así se aumenta la presión en el circuito de alimentación que se traduce en un enriquecimiento de la mezcla precisamente cuando más falta hace.

Actuador rotativo de ralentí

Este dispositivo sustituye a la válvula de aire adicional utilizada en el sistema K-Jetronic. Está constituido por un conducto por donde pasa la corriente de aire adicional que pone en by-pass a la mariposa de aceleración. Este conducto está controlado por una válvula corredera giratoria (5) que puede abrir más o menos el paso de este conducto según la posición que le imprima el inducido giratorio (4) cuya posición inicial viene controlada por el muelle espiral (2) que le sujeta por su extremo superior. El dispositivo está provisto de un bobinado (3) que recibe corriente a través de una conexión eléctrica (1).

Según el estado de saturación eléctrica a que se encuentre el bobinado se determina una variación angular (giro) del inducido. Esta variación angular del inducido arrastra a la válvula giratoria (5) lo que se traduce en diferentes posiciones de abertura para el paso del aire a través del by-pass.

El actuador rotativo es controlado por la centralita ECU. Esta tiene en cuenta los datos que le proporcionan los sensores de: temperatura motor, régimen de giro y posición de abertura de la mariposa de gases. Estos tres valores son tratados por la ECU y son comparados con los valores tipo que tiene memorizados, y de aquí se elabora una señal eléctrica que es enviada al bobinado del actuador rotativo el cual determina el ángulo de giro del inducido y con ello la abertura de la válvula corredera giratoria. De esta manera el régimen de ralentí se ajusta automáticamente no solo a la diferente temperatura del motor sino a otros estados del mismo e incluso a su desgaste ocasionado por el envejecimiento del motor.

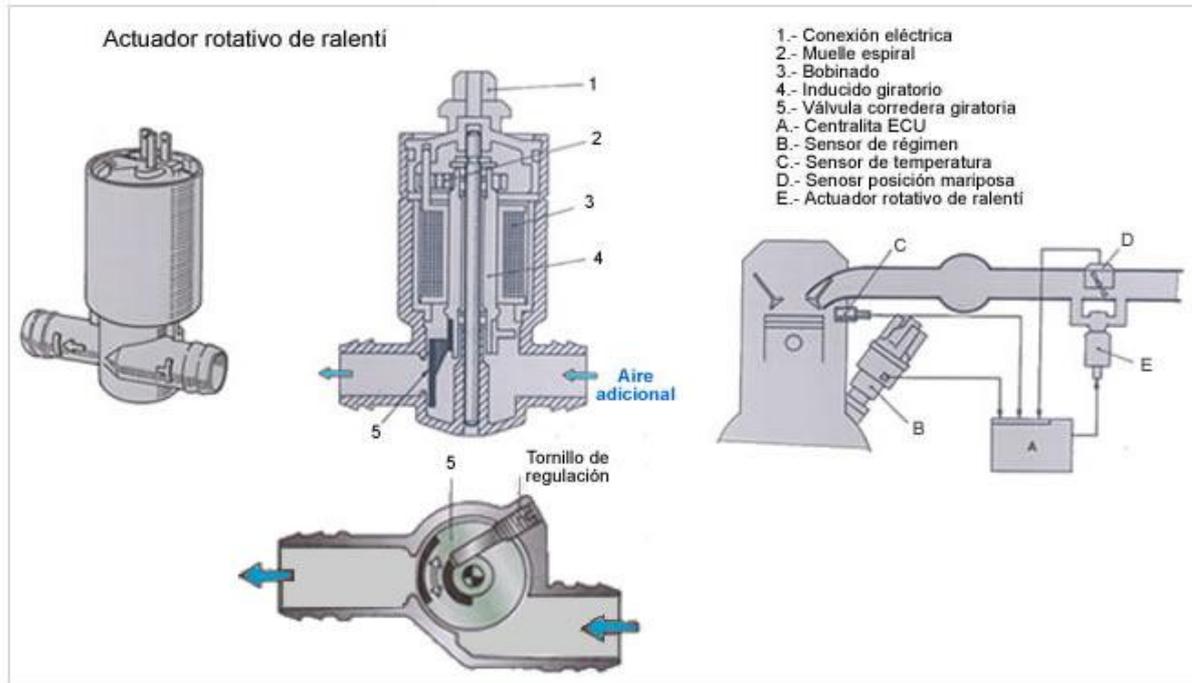


Figura 53: Actuador rotativo de ralenti.

El ángulo de giro del inducido está limitado a 60° y en caso de desconexión o de mal funcionamiento de la unidad se queda en una posición neutra, con una determinada sección de abertura, que permite el funcionamiento provisional del motor hasta el momento de la reparación del dispositivo.

Sensor de posición de mariposa

Este sensor llamado interruptor de mariposa tiene como misión informar a la unidad de control ECU de la posición en que se encuentra la mariposa de gases. En su interior incorpora dos contactos eléctricos correspondientes a la posición de ralenti y de plena carga cuando se encuentra el pedal del acelerador en reposo o pisado a fondo. La posición del interruptor de mariposa permite su graduación por medio de dos ranuras (pletinas de anclaje) donde unos tornillos la sujetan en la posición correcta.

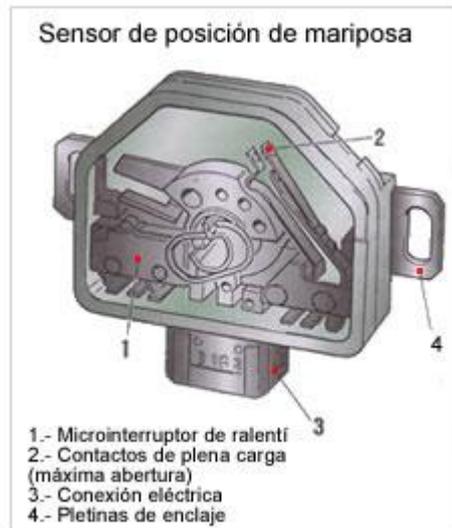


Figura 54: Sensor de posición de mariposa.

Fase de deceleración

Otra particularidad del sistema KE-Jetronic es la de interrumpir la inyección de combustible durante la fase de deceleración. Si el conductor levanta el pie del acelerador, la mariposa va a la posición cero. El sensor informa a la centralita de la posición de la mariposa, al mismo tiempo que el sistema de comando recibe información relativa al régimen de giro del motor. Si el régimen real se sitúa dentro de la zona de interrupción de inyección en fase de deceleración, el sistema invierte el sentido de corriente del mando de presión electrohidráulico en la bobina del regulador. De esta manera la presión en la cámara inferior de la válvula de presión diferencial se eleva prácticamente al valor de presión principal y el muelle de la cámara inferior cierra la salida de combustible hacia los inyectores.

Regulación Lambda

La sonda lambda transmite a la unidad de control ECU una señal característica de la composición instantánea de la mezcla (aire/gasolina). Esta sonda está montada en un punto del colector de escape donde la temperatura necesaria para su funcionamiento exista en todos los regímenes del motor. Esta señal sirve a la ECU para mantener una dosificación de la mezcla correcta en todos los modos de funcionamiento del motor y para permitir el funcionamiento correcto del catalizador que es muy sensible e ineficaz para mezclas inadecuadas al régimen de funcionamiento del motor.

La sonda lambda está en contacto en su cara exterior a los gases de escape mientras que en cara interna comunica con la atmósfera. Está constituida por dos electrodos de platino micro poroso separados por material cerámico (dióxido de circonio) que actúa como electrolito en el proceso de funcionamiento. El electrodo exterior es el negativo y



está en contacto con los gases de escape recubierto por una capa protectora de cerámica porosa. Ambos electrodos son permeables a los gases.

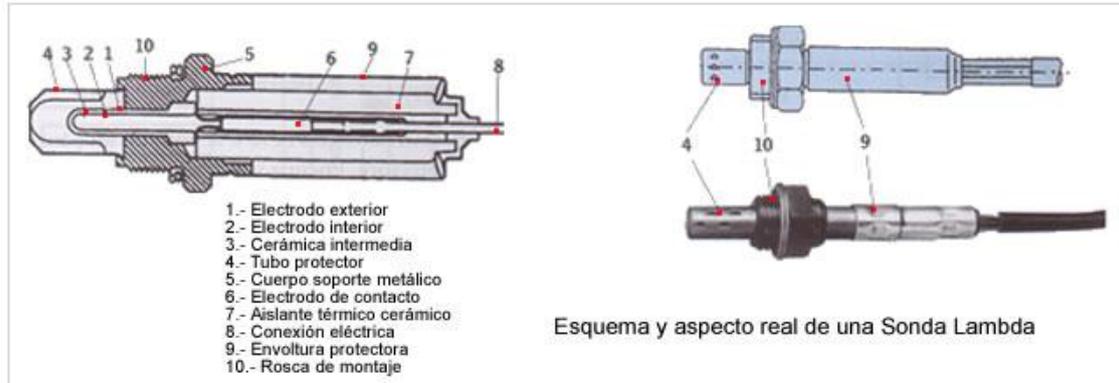


Figura 55: Esquema de Sonda Lambda.

Cuando la sonda funciona se produce una tensión entre ambos electrodos. La tensión que suministra la sonda varía entre 200 y 800 mV. Se toma como referencia lambda que es el coeficiente de aire, con valor 1, que es cuando la relación estequiometrica es la ideal con un valor de mezcla 14,7/1, si el valor es mayor de 1, se entiende que la mezcla es pobre y si es menor que 1 se entiende que la mezcla es rica.

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

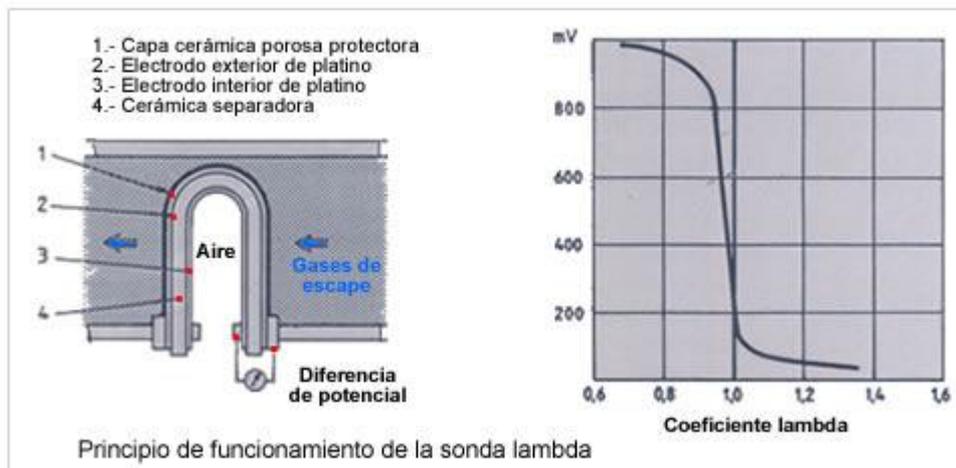


Figura 56: Funcionamiento de la Sonda Lambda.



Unidad de control

También llamada centralita o ECU (Electronic Control Unit) está concebida bajo los mismos criterios y diseño que las utilizadas en los sistemas de inyección L-Jetronic, pero como las funciones en el sistema que nos ocupa son mucho más sencillas y limitadas, se construyen en técnica analógico, preferente, aunque también pueden encontrarse en ellas circuitos que trabajan por la técnica digital.

El funcionamiento se resume diciendo que recibe las señales eléctricas que le mandan los sensores; estas señales que las compara con valores de tensión que tienen establecidos en sus circuitos-patrón, y según el resultado de esta comparación emite una señal eléctrica de control. Esta señal se manda a los electroimanes del actuador electrohidráulico de presión.

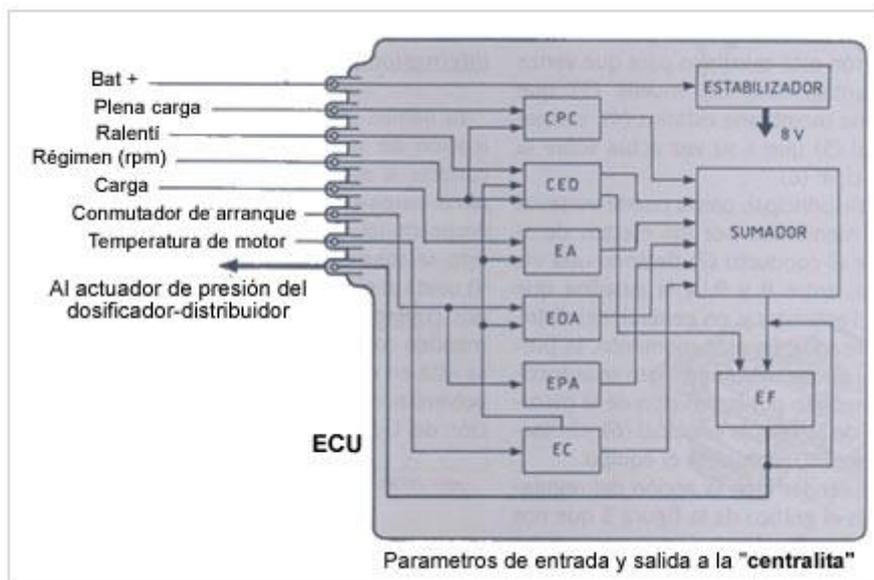


Figura 57: Unida de Control (ECU).

Para conocer el funcionamiento típico de la centralita es necesario saber cuáles son los sensores que le proporcionan información:

- Sensor de mariposa de gases: manda dos señales eléctricas diferentes según la mariposa de gases se halle en posición de plena carga o de ralenti.
- Distribuidor de encendido: desde aquí se informa del número de rpm del motor
- Arranque: esta señal indica cuando el conmutador de encendido y arranque está conectado
- Temperatura motor: informa de la temperatura del motor tomando como medida la temperatura del líquido refrigerante.

Además esta centralita puede llevar otros circuitos correspondientes a funciones de



corrección alimétrica y de análisis de la contaminación de gases de escape (sonda lambda).



Figura 58: Centralita para KE-Jetronic con regulación Lambda.

La centralita internamente cuenta con un estabilizador de tensión que mantiene un valor muy estricto de 8 Voltios, de forma que no le afecten las variaciones de tensión del circuito eléctrico general del vehículo. Luego existen los bloques de amplificación de las señales recibidas procedentes de los sensores. Estos bloques son:

Corrección de plena carga (CPC), corte en deceleración (CED); enriquecimiento para la aceleración (EA); elevación después del arranque (EDA); elevación para el arranque (EPA) y enriquecedor para el calentamiento (EC).

Todas las magnitudes recogidas en estos bloques deben pasar al sumador, en donde todas las señales son analizadas y se elabora una nueva señal que es verificada en el bloque de la etapa final (EF), la cual puede dar corriente positiva o negativa según se trate de una aceleración y una deceleración. Esta corriente se envía al actuador electrohidráulico de presión.

A pesar de la introducción de la electrónica en sus principales circuitos de mando, el KE-Jetronic puede seguir funcionando en caso de avería o incluso aunque quede inutilizada la centralita (ECU) si el motor está caliente, ventaja importante que no comparten otros sistemas electrónicos.

2.1.5.4. Sistema Mono-Jetronic

Este sistema apareció por la necesidad de abaratar los costes que suponía los sistemas de inyección multipunto en ese momento (principios de la década de los 90) y por la necesidad de eliminar el carburador en los coches utilitarios de bajo precio para 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 la



gasolina se da a impulsos y a una presión de 1 bar para sistemas Bosch o 0,7 bar para sistema General Motors.

Para las emisiones de hidrocarburos, la legislación exige en muchos países que los vapores de nafta desprendidos del tanque ingresen al motor para ser quemados. Los automóviles equipados con un sistema de control de emisión de vapores tienen el tanque de nafta permanentemente conectado con un depósito de carbón activado, que absorbe los vapores. Posteriormente, estos vapores son conducidos al motor a través de un sistema de la instalación Mono-Jetronic

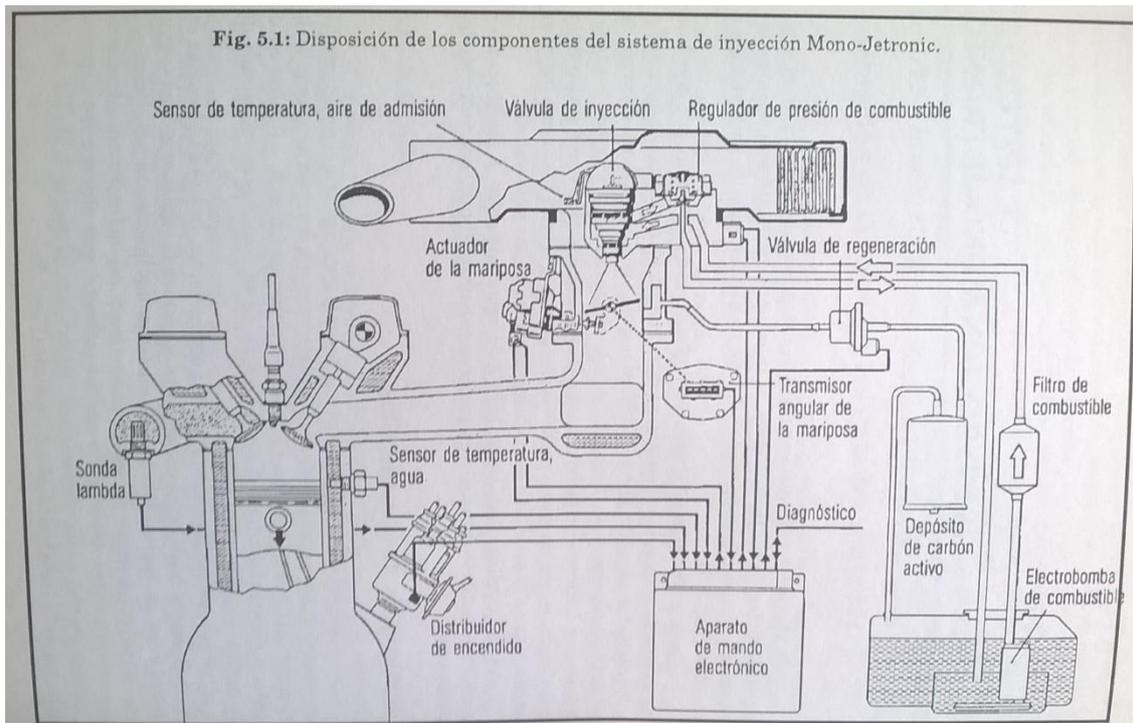


Figura 59: Disposición de los componentes del sistema Mono-Jetronic.

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 abertura del inyector para que proporcione la cantidad justa de combustible.

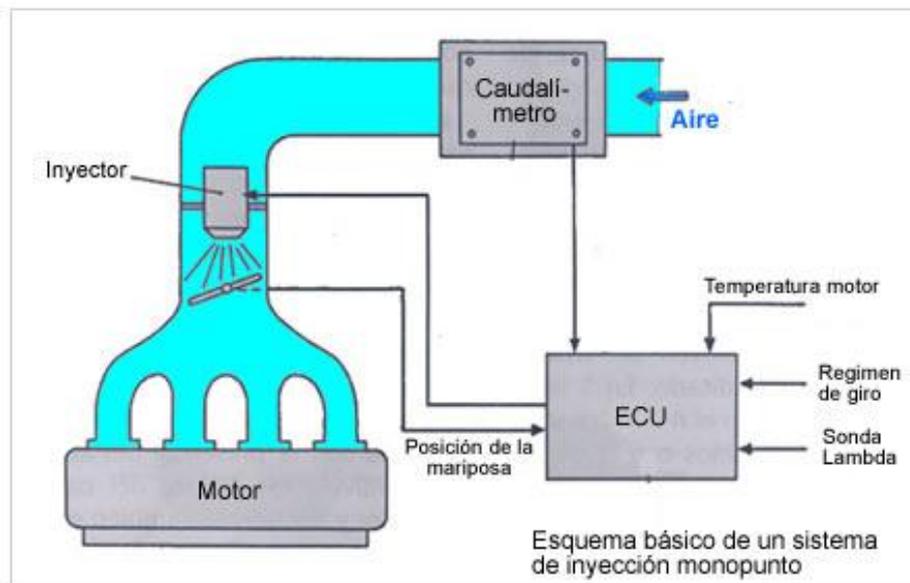


Figura 60: Esquema básico del sistema Inyección Mono-Jectronic.

Sistema de admisión

El sistema de admisión consta de filtro de aire, colector de admisión, cuerpo de mariposa/inyector y los tubos de admisión conectados a cada cilindro. El sistema de admisión tiene por misión hacer llegar a cada cilindro del motor la cantidad de mezcla aire/combustible necesaria a cada carrera de ignición del pistón.

Cuerpo de la mariposa

En el cuerpo de la mariposa, se aloja el regulador de la presión del combustible, el motor paso a paso de la mariposa, el sensor de temperatura de aire y el inyector único. La ECU controla el motor paso a paso de la mariposa y el inyector. El contenido de CO no se puede ajustar manualmente. El interruptor potenciómetro de la mariposa va montado en el eje de la mariposa y envía una señal a la ECU indicando la posición de la mariposa. Esta señal se convierte en una señal electrónica que modifica la cantidad de combustible inyectado. El inyector accionado por solenoide pulveriza la gasolina en el espacio comprendido entre la mariposa y la pared del venturi. El motor paso a paso controla el ralenti abriendo y cerrando la mariposa, ya que el ralenti no se puede ajustar manualmente.

Caudalímetro

La medición de caudal de aire se hace por medio de un caudalímetro que puede ser del tipo "hilo caliente", o también del tipo "plato-sonda oscilante". El primero da un diseño más compacto al sistema de inyección, reduciendo el número de elementos ya que el caudalímetro de hilo caliente va alojado en el mismo "cuerpo de mariposa". El



caudalímetro de plato-sonda forma un conjunto con la unidad de control EC en algunos casos.

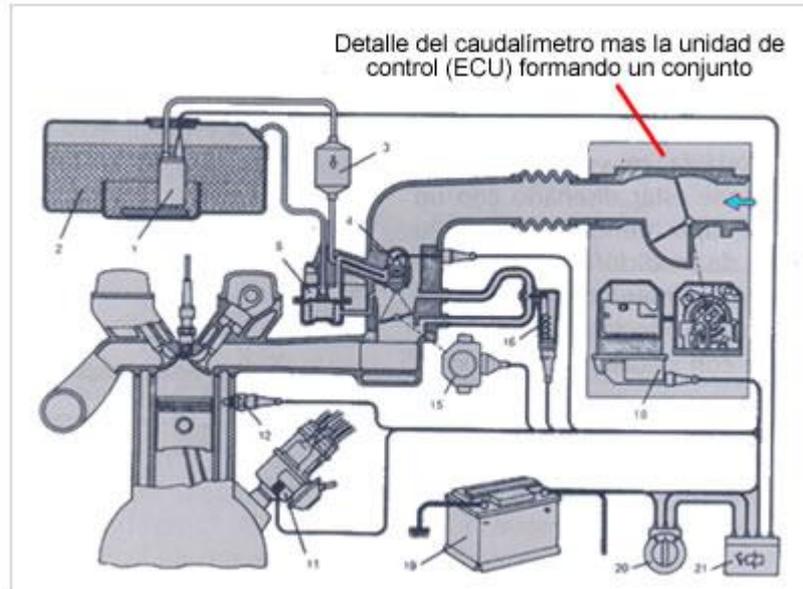


Figura 61: Destalle del caudalímetro.

Interruptor de la mariposa

El interruptor de la mariposa es un potenciómetro que supervisa la posición de la mariposa para que la demanda de combustible sea la adecuada a la posición de la mariposa y al régimen del motor. La ECU calcula la demanda de combustible a partir de 15 posiciones diferentes de la mariposa y 15 regímenes diferentes del motor almacenados en su memoria.

Sensor de la temperatura del refrigerante

La señal que el sensor de la temperatura o sonda térmica del refrigerante envía a la ECU asegura que se suministre combustible extra, para el arranque en frío y la cantidad de combustible más adecuada para cada estado de funcionamiento.

Sonda Lambda

El sistema de escape lleva una sonda Lambda (sonda de oxígeno) que detecta la cantidad de oxígeno que hay en los gases de escape. Si la mezcla aire/combustible es demasiado pobre o demasiado rica, la señal que transmite la sonda de oxígeno hace que la ECU aumente o disminuya la cantidad de combustible inyectada, según convenga.

Unidad de control electrónica (ECU)

La ECU está conectada con los cables por medio de un enchufe múltiple. El programa y la memoria de la ECU calcula las señales que le envían los sensores instalados en el sistema. La ECU dispone de una memoria de autodiagnóstico que detecta y guarda las



averías. Al producirse una avería, se enciende la lámpara de aviso o lámpara testigo en el tablero de instrumentos.

Sistema de alimentación

El sistema de alimentación suministra a baja presión la cantidad de combustible necesaria para el motor en cada estado de funcionamiento. Consta de depósito de combustible, bomba de combustible, filtro de combustible, un solo inyector y el regulador de presión. La bomba se halla situada en el depósito de la gasolina y conduce bajo presión el combustible, a través de un filtro, hasta el regulador de la presión y el inyector. El regulador de la presión mantiene la presión constante a 0,8-1,2 bar, el combustible sobrante es devuelto al depósito. El inyector único se encuentra en el cuerpo de la mariposa y tiene una boquilla o tobera especial, con seis agujeros dispuestos radialmente, que pulveriza la gasolina en forma de cono en el espacio comprendido entre la mariposa y la pared del venturi. El inyector dispone de una circulación constante de la gasolina a través de sus mecanismos internos para conseguir con ello su mejor refrigeración y el mejor rendimiento durante el arranque en caliente. El combustible pasa del filtro al inyector y de aquí al regulador de presión.

El Inyector

La bobina (4) recibe impulsos eléctricos procedentes de la unidad de control ECU a través de la conexión eléctrica (1). De este modo crea un campo magnético que determina la posición del núcleo (2) con el que se vence la presión del muelle (5). Este muelle presiona sobre la válvula de bola (7) que impide el paso de la gasolina a salir de su circuito.

Cuando la presión del muelle se reduce en virtud del crecimiento del magnetismo en la bobina, la misma presión del combustible abre la válvula de bola y sale al exterior a través de la tobera (6) debidamente pulverizado, se produce la inyección.

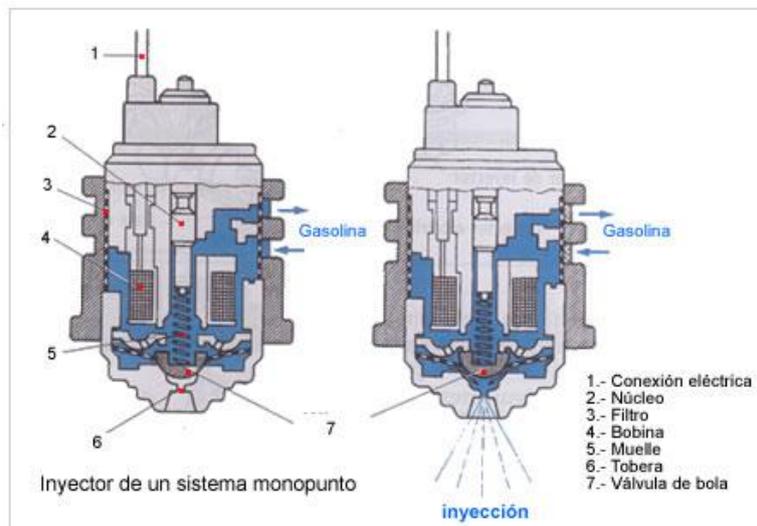


Figura 62: Inyector.



La apertura del inyector es del tipo "sincronizada", es decir, en fase con el encendido. En cada impulso del encendido, la unidad de control electrónica envía un impulso eléctrico a la bobina, con lo que el campo magnético así creado atrae la válvula de bola levantándolo hacia el núcleo. El carburante que viene de la cámara anular a través de un filtro es inyectado de esta manera en el colector de admisión por los seis orificios de inyección del asiento obturador.

Al cortarse el impulso eléctrico, un muelle de membrana devuelve la válvula de bola a su asiento y asegura el cierre de los orificios.

El exceso de carburante es enviado hacia el regulador de presión a través del orificio superior del inyector. El barrido creado de esta manera en el inyector evita la posible formación de vapores.

Unidad central de inyección

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.

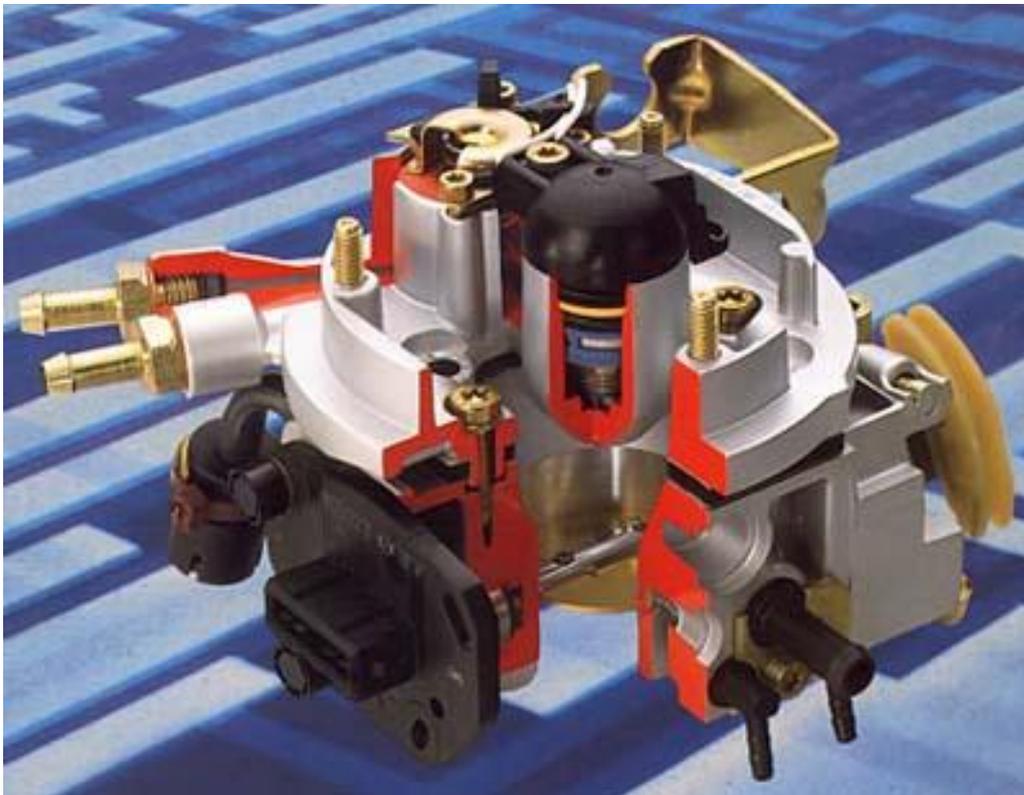


Figura 63: Unidad central de inyección.

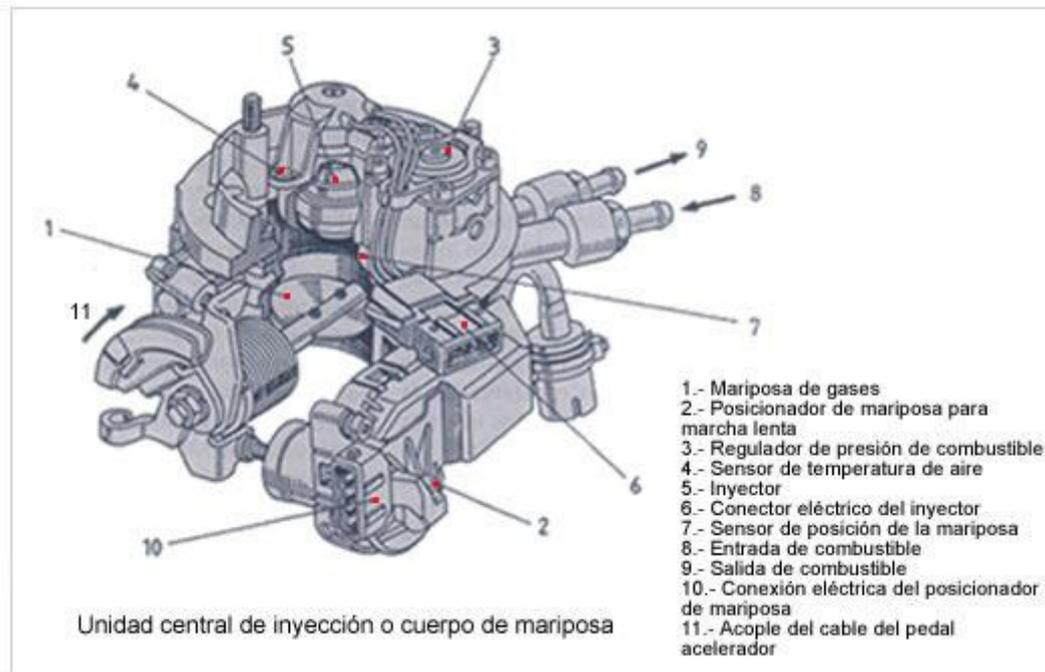


Figura 64: Descripción de los elementos de la unidad central de inyección.

El regulador de presión es del tipo mecánico a membrana, formando parte del cuerpo de inyección donde está alojado el inyector. El regulador de presión está compuesto de una carcasa contenedora, un dispositivo móvil constituido por un cuerpo metálico y una membrana accionada por un muelle calibrado.

Cuando la presión del carburante sobrepasa el valor determinado, el dispositivo móvil se desplaza y permite la apertura de la válvula que deja salir el excedente de carburante, retornando al depósito por un tubo.

Un orificio calibrado, previsto en el cuerpo de mariposa pone en comunicación la cámara de regulación con el tubo de retorno, permitiendo así disminuir la carga hidrostática sobre la membrana cuando el motor está parado. La presión de funcionamiento es de 0,8 bar a 1,2 bar

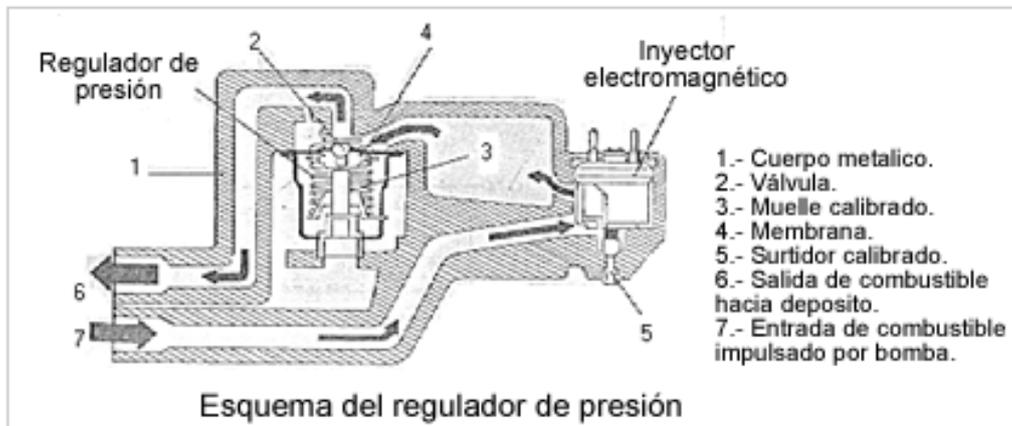


Figura 65: Esquema de regulador de presión.

El motor paso a paso o también llamado posicionador de mariposa de marcha lenta, sirve para la regulación del motor a régimen de ralentí. Al ralentí, el motor paso a paso actúa sobre un caudal de aire en paralelo con la mariposa, realizando un desplazamiento horizontal graduando la cantidad de aire que va directamente a los conductos de admisión sin pasar por la válvula de mariposa. En otros casos el motor paso a paso actúa directamente sobre la mariposa de gases abriéndola un cierto ángulo en ralentí cuando teóricamente tendría que estar cerrada.

El motor paso a paso recibe unos impulsos eléctricos de la unidad de control ECU que le permiten realizar un control del movimiento del obturador con una gran precisión. El motor paso a paso se desplaza en un sentido o en otro en función de que sea necesario incrementar o disminuir el régimen de ralentí.

Este mecanismo ejecuta también la función de regulador de la puesta en funcionamiento del sistema de climatización, cuando la unidad de control recibe la información de que se ha puesto en marcha el sistema de climatización da orden al motor paso a paso para incrementar el régimen de ralentí en 100 rpm.

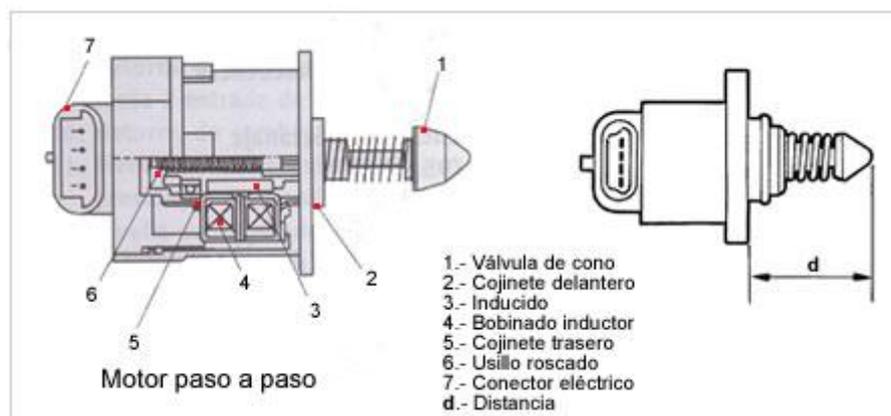


Figura 66: Motor paso a paso.



2.1.5.5. Sistema Motronic

La electrónica moderna abre una nueva perspectiva al sector del automóvil. Muchos de los requisitos contradictorios que se le exigen al motor encendido por chispa (por ejemplo: elevada potencia, consumo mínimo de combustible e ínfima emisión de elementos contaminantes, pueden ahora coordinarse entre sí de forma óptima.

Los sistemas de preparación de la mezcla y de encendido resuelven problemas parciales: el sistema de inyección controla la dosificación de combustible y la instalación electrónica de encendido son controlados mediante computadoras con arreglos a criterios comunes de rendimiento. En síntesis, el **Motronic** es un sistema electrónico integrado de control de la inyección de nafta y del encendido, y representa uno de los avances tecnológicos más importantes de los últimos tiempos aplicados en los motores a nafta.

El sistema **Motronic** combina la inyección de gasolina del L- Jetronic con un sistema de encendido electrónico a fin de formar un sistema de regulación del motor completamente integrado.

La diferencia principal con el L-Jetronic consiste en el procesamiento digital de las señales.



Sistema de encendido

A partir de las informaciones carga motriz, régimen, temperatura y posición de la mariposa, la microcomputadora calcula el ángulo de encendido para todos los estados de operaciones que se presenten. Mediante un mapa tridimensional digital memorizado en la unidad de mando puede ajustarse el ángulo de avance al encendido de forma de óptima para cada punto de trabajo.

Las informaciones sobre régimen se toman de gran exactitud en el cigüeñal, mediante un transmisor inductivo de régimen. Así se puede reducir la distancia de seguridad hasta el límite de detonación y adaptarse mejor ángulo de encendido a la curva de par motor máximo.

El mando del ángulo de cierre del interruptor es función del régimen del motor y de la tensión de la batería, y se realiza mediante un mapa tridimensional de ángulo de cierre. La alta tensión disponible reviste especial importancia en el equipo de encendido, al igual que la duración de la chispa, la intensidad de la corriente de formación de la chispa y la velocidad de subida de la alta tensión. Esta última se obtiene esencialmente de la energía almacenada en la bobina de encendido, la que está constituida por dos devanados de cobre superpuestos y bobinados alrededor de un núcleo de hierro, que están aislados recíprocamente en función de las diferencias de potencial. Una vez concluida la fase de magnetización, el circuito de corriente primaria de la bobina de encendido se interrumpe en el momento del encendido. En el mismo instante, el campo magnético desaparece induciéndose en el devanado secundario la tensión de encendido.

Sistema de inyección de nafta

La base del cálculo está constituida por la señal del medidor de caudal de aire, la señal del régimen del motor y los factores de corrección. A partir de estas magnitudes de medición de la carga del motor, se determina el tiempo básico de inyección, que todavía puede variarse mediante las correcciones de adaptación.

En el sistema de alimentación de combustibles la bomba eléctrica aspira éste del tanque. La bomba crea la presión del sistema que mantiene, mediante el regulador de presión a un valor diferencial constantes de 2,5 bar encima de la presión en el múltiple de admisión. Como la bomba transporta mas combustible del que se necesita, la cantidad sobrante fluye de regreso al tanque de nafta a través del amortiguador de oscilaciones. Los inyectores están colocados en los diferentes tubos de admisión y según el modelo de **Motronic**, puede realizar la inyección de forma simultánea o secuencial.



Al igual que el sistema L-Jetronic, el medidor de caudal de aire trabaja según el principio de la aleta-sonda. Mide el caudal de aire con gran exactitud y suministra a la unidad de control la señal de “volumen de aire por unidad de tiempo”.

Por otra parte, el interruptor térmico temporizado, controla el tiempo de apertura de la válvula de arranque en frío.

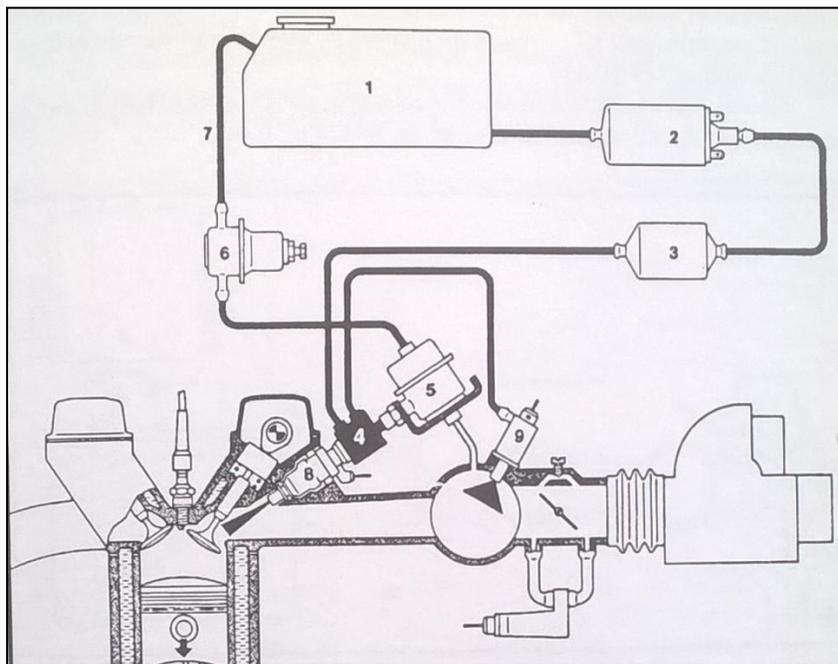


Figura 68: Esquema general del sistema Motronic.

- 1-Tanque
- 2-Bomba eléctrica
- 3-Filtro
- 4-Tubería de distribución
- 5-Regulador de presión
- 6-Amortiguador de oscilaciones
- 7-Tubería de retorno de combustibles
- 8-Inyector
- 9-Valvula de arranque en frío

Temperatura del aire aspirado

La densidad del aire aspirado es función de la temperatura. El aire frío es más denso que el caliente. Esto significa que a idéntica desviación de la aleta del medidor de caudal de aire, el caudal aspirado por el motor irá siendo cada vez más pequeño a medida que aumenta la temperatura del aire. Para compensar este error, va montada en el conductor de aspiración



del motor una sonda térmica que comunica a la unidad de control la temperatura del aire aspirado. Al calcular el tiempo de inyección, y con ello su caudal, la unidad de control tiene en cuenta la temperatura del aire aspirado mediante el factor de enriquecimiento. La unidad de control también adapta el punto de encendido para conseguir el óptimo desarrollo de la combustión.

Sonda térmica del aire aspirado

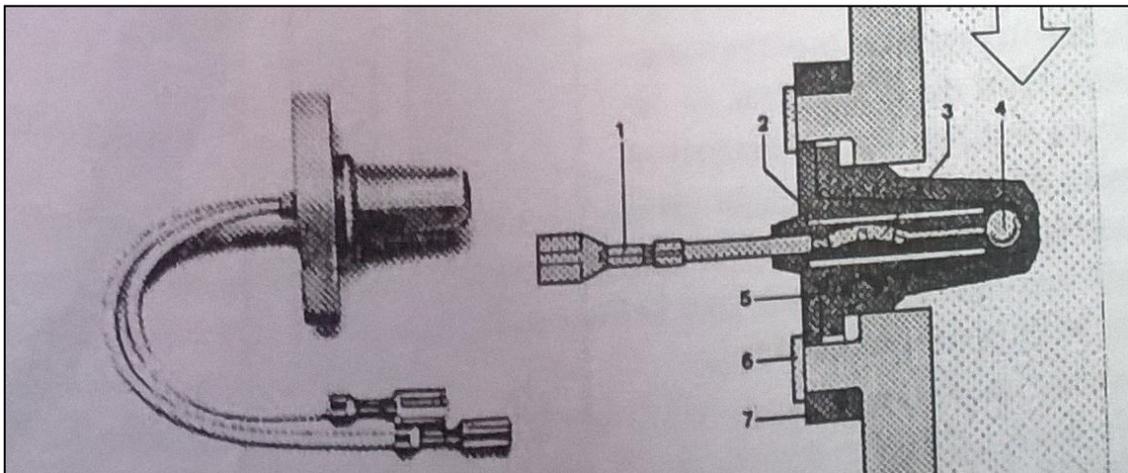


Figura 69: Sonda térmica de aire.

- 1-Conexión eléctrica
- 2-Tubo aislante
- 3-Empalmador de cables
- 4-Resistencia eléctrica NTC
- 5-Cuerpo
- 6-Perno remachado de fijación
- 7-Brida de fijación

Regulación de la combustión detónante

Los fabricantes de motores tienden a elevar la relación de compresión para así reducir el consumo de combustible y aumentar el par motor. Pero a mayor compresión, mayor es el riesgo de combustiones anormales como la detonación, que puede causar serios daños en la parte alta de la máquina.

Este tipo de combustiones anómalas va acompañado de golpeteo debido a las ondas gaseosas.



La utilización de un sensor de detonación permite determinar el punto de encendido para el caso normal y excluir, mediante la regulación, el funcionamiento detónante del motor. Esto hace posible elevar las relaciones de compresión y así mejorar considerablemente el rendimiento termodinámico.

El sensor, que consiste en un acelerómetro de cuarzo, detecta las vibraciones que se producen en el bloque del motor cuando comienza el fenómeno de la detonación, y envía datos a la unidad de control para que se retrase el encendido.

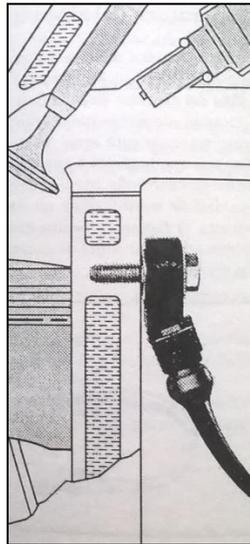


Figura 70: Sensor de detonación

Numero Octánico del Combustible

Las calidades del combustible varían de unos países a otros, por lo que es necesario introducir medidas correctoras en el **Motronic**. Por lo general, el sistema está programado de forma tal que, en el margen superior de carga parcial y en el margen de plena carga, desplaza el momento de encendido hacia “retraso”

2.1.5.6. Sistema MOTRONIC M3

El sistema Electronic de gestión de motor Motronic M3 posee una computadora 16bit y presenta la capacidad de aprender: se adapta automáticamente a las condiciones modificadas del entono, como por ejemplo desgaste del motor.

En este sistema se aplica un medidor de la masa de aire de admisión que trabaja por hilo caliente o bien de película caliente. Aquí el aire de admisión que pasa, enfría un hilo de resistencia eléctrica o una resistencia calentada de capa gruesa colocada sobre cerámica en

forma de una fina película caliente. La corriente de calefacción, que es necesaria para mantener a temperatura constante el hilo o película caliente, representa una medida para la masa de aire admitida.

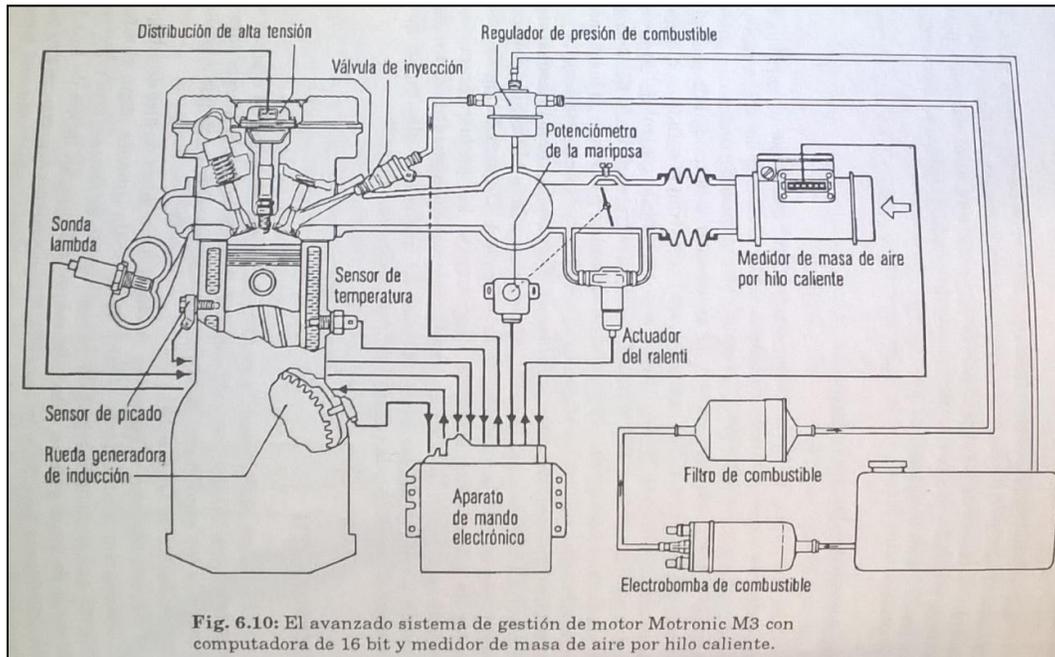


Figura 71: Esquema del sistema Motronic M3.

Es un sistema de inyección electrónico de gasolina cuya diferencia principal con el sistema L-Jetronic es la utilización de un medidor de caudal de aire distinto (medidor de la masa de aire por hilo caliente).

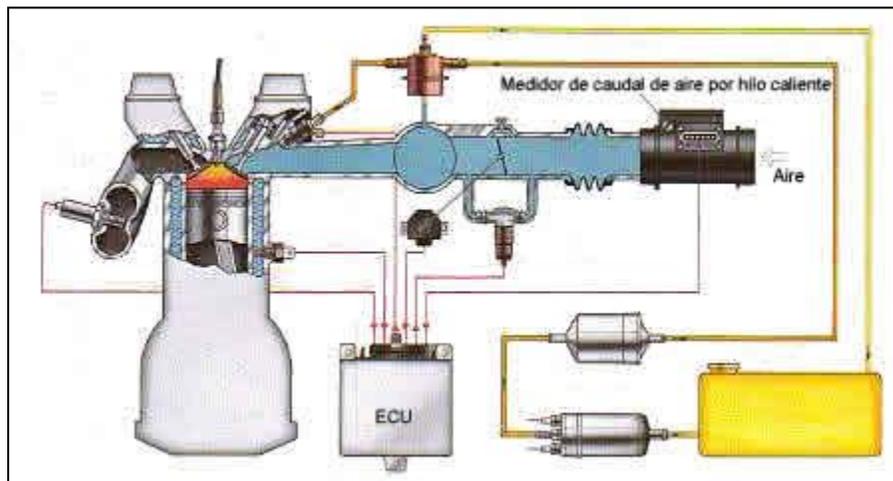


Figura 72: Diferencia del sistema Motronic M3 con el sistema L-Jetronic.



2.1.5.7. Sistemas LH-Jetronic:

Los componentes de este sistemas son los mismos que el sistema L-Jetronic con la diferencia del uso de un medidor de caudal de aire por hilo caliente (1), y un actuador rotativo de ralentí (2)

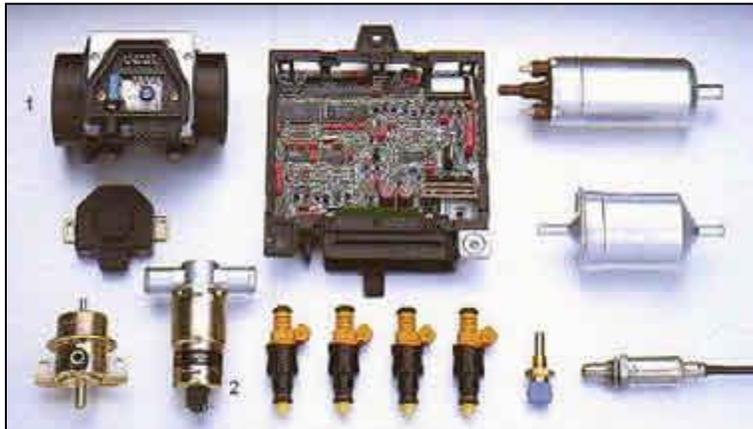


Figura 73: Componentes del Sistema LH-Jetronic.

Medidor del caudal de aire (medidor de la masa de aire por hilo caliente)

El medidor de la masa de aire por hilo caliente es un perfeccionamiento del medidor del caudal de aire clásico. En la caja tubular hay un tubo de medición del diámetro más pequeño, atravesado por una sonda térmica y un hilo. Estos dos componentes forman parte de un circuito de puente que mantiene el hilo a una temperatura constante superior a la temperatura del aire medido por el medidor. La corriente necesaria es directamente proporcional a la masa de aire, independientemente de su presión, su temperatura o su humedad. Se mide la corriente necesaria para mantener el hilo a esta temperatura superior y esta señal se envía a la unidad de control electrónica (UCE), la cual, combinada con una señal del régimen del motor, determina la cantidad de combustible necesario. Entonces la unidad de control puede modificar esta cantidad en función del estado de funcionamiento que indican los sensores adicionales. Dado que todo el aire que aspira el motor ha de pasar por el medidor de la masa de aire, una compensación automática corrige no sólo las variaciones de los estados de marcha, sino también los cambios debidos al desgaste, a la disminución de la eficacia del convertidor catalítico, a los depósitos de carbono o a modificaciones en el ajuste de las válvulas

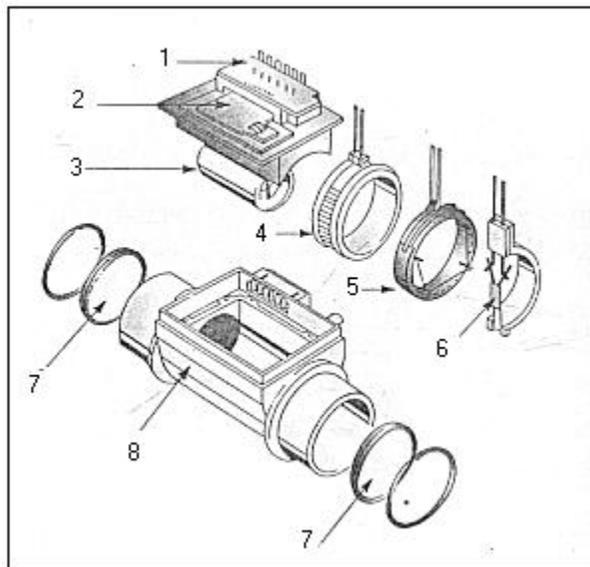


Figura 74: Medidor de caudal de aire, mediante hilo caliente.

Componentes referidos a la Figura 74:

- 1-Conexiones eléctricas
- 2-Circuito eléctrico de control.
- 3-Conducto
- 4-Anillo
- 5-Hilo caliente
- 6-Resistencia de compensación térmica
- 7-Regilla
- 8-Cuerpo principal

Arranque en frío

Otra diferencia importante del sistema LH-Jetronic con respecto al L-Jetronic es que suprime el inyector de arranque en frío. Al arrancar en frío se necesita un suplemento de combustible para compensar el combustible que se condensa en las paredes y no participa en la combustión. Para facilitar el arranque en frío se inyecta gasolina adicional utilizando la unidad de control junto con la sonda térmica del motor y los inyectores. La unidad de control prolonga el tiempo de apertura de los inyectores y así suministra más combustible al motor durante la fase de arranque. Este mismo procedimiento también se usa durante la fase de calentamiento cuando se necesita una mezcla aire/ combustible enriquecida.



2.1.6. Inyección Directa en Motores encendidos por chispa

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

Por su parte, el dióxido de carbono (CO₂) que se produce con motivo de la combustión, siendo el causante del «efecto invernadero», sólo se puede reducir a base de disminuir el consumo de combustible.

Teniendo en cuenta estos factores vemos que los sistemas de inyección con formación externa de la mezcla (inyección en el colector de admisión MPI) no sirven para cumplir estos objetivos, por eso la necesidad de desarrollar un sistema capaz de cumplir con estos compromisos. Este sistema es el motor de inyección directa de gasolina.

Con los motores de inyección directa de gasolina se consiguen dos objetivos principales que están vigentes para hoy y con vistas al futuro, estos objetivos son: reducir el consumo de combustible y con este también las emisiones contaminantes de escape.

Las diferentes marcas de automóviles cada vez más se están decidiendo por equipar sus modelos de gasolina con motores de inyección directa. Primero fue la marca japonesa Mitsubishi con los motores GDi, ahora le siguen Renault con los motores IDE, el grupo PSA con los motores HPi, y Volkswagen con los motores FSi.

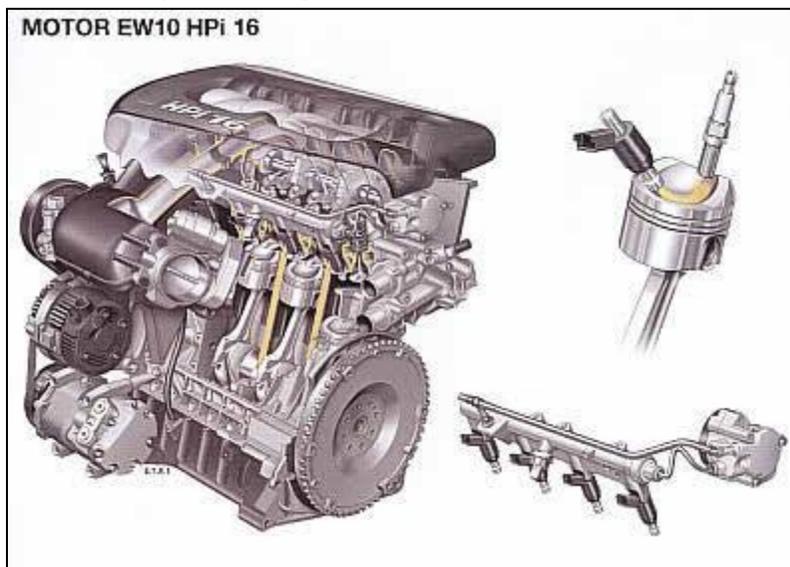


Figura 75: Motor EW10 HPi 16.

Si comparamos el sistema de inyección en los colectores (inyección indirecta también llamados MPI) con la inyección directa de gasolina, entendemos porqué esta última es superior a la primera. Los inyectores de un motor de gasolina (MPI) suelen estar ubicados en el colector de admisión, lo que explica la denominación de estos sistemas. El



combustible es inyectado por delante de una válvula cerrada o bien encima de la válvula abierta y es mezclado de forma casi completa con el aire de admisión en cada una de las toberas del colector de admisión. Pero esta mezcla de aire y neblina de combustible inyectado no permite su perfecta combustión en el cilindro si no está preparada conforme a una exacta relación estequiométrica comprendida en unos límites muy específicos (1/14,7). En el caso de los motores dotados de un catalizador de tres vías es válida la ideal ecuación de lambda igual a uno.

Esta precisa relación de aire/combustible tiene que ser ajustada durante cada uno de los ciclos del motor cuando la inyección tiene lugar en el colector de admisión. El problema de estos sistemas de inyección (indirecta) viene dado principalmente a cargas parciales del motor cuando el conductor solicite una potencia no muy elevada, por ejemplo, (acelerador a medio pisar). Los efectos se podrían comparar con una vela encendida dentro de un envase que se va tapando poco a poco por su apertura superior: la llama de la vela va desapareciendo conforme empeoran las condiciones de combustión. Esta especie de estrangulación supone un desfavorable comportamiento de consumo de un motor de ciclo Otto en los momentos de carga parcial.

Es aquí donde se declaran las grandes virtudes de la inyección directa de gasolina. Los inyectores de este sistema no están ubicados en las toberas de admisión, sino que están incorporados de forma estratégica con un determinado desplazamiento lateral por encima de las cámaras de combustión.

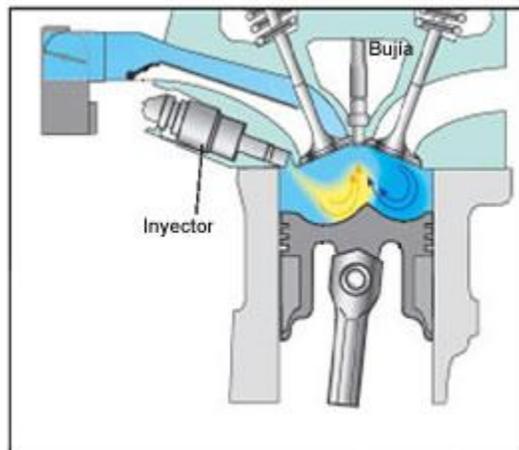


Figura 76: Lugar de Inyección.

La inyección directa de la gasolina posibilita una definición exacta de los intervalos de alimentación del carburante en cada ciclo de trabajo de los pistones así como un preciso control del tiempo que se necesita para preparar la mezcla de aire y combustible. En unas condiciones de carga parcial del motor, el combustible es inyectado muy cerca de la bujía y con una determinada turbulencia cilíndrica (efecto tumble) al final de la fase de compresión



mientras el pistón se está desplazando hacia su punto muerto superior. Está concentrada carga de mezcla puede ser quemada aunque el motor se encuentre en esos momentos en una fase de trabajo con un determinado exceso de aire (1/12.4). Su grado de efectividad termodinámica es correspondientemente más alto. Comparado con un sistema de inyección en el colector de admisión (MPI) se obtienen unas importantes ventajas de consumo de combustible merced a la eliminación de la citada estrangulación.

Ventajas

- Desestrangulación en los modos operativos con mezcla "estratificada". En estos modos operativos se trabaja con un valor lambda comprendido entre 1,55 y 3. Esto permite abrir más la mariposa y aspirar más aire, porque tiene que superar una menor resistencia que provocaba la válvula de mariposa al estar medio cerrada

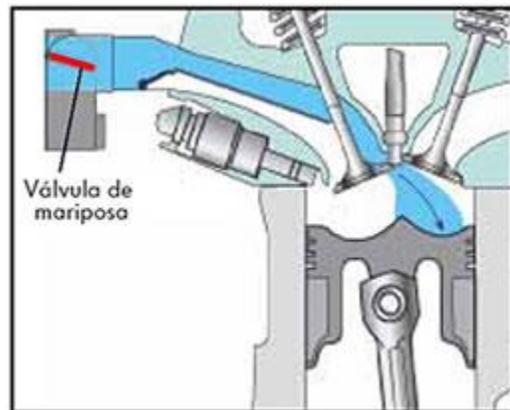


Figura 77: Apertura de mariposa.

- En el modo estratificado el motor trabaja con un valor lambda desde 1,6 hasta 3, consiguiendo una reducción de consumo de combustible considerable.
- Menores pérdidas de calor cedido a las paredes de los cilindros. Esto es debido a que en el modo de mezcla "estratificada" la combustión únicamente tiene lugar en la zona próxima de la bujía, esto provoca menores pérdidas de calor cedido a la pared del cilindro, con lo cual aumenta el rendimiento térmico del motor.

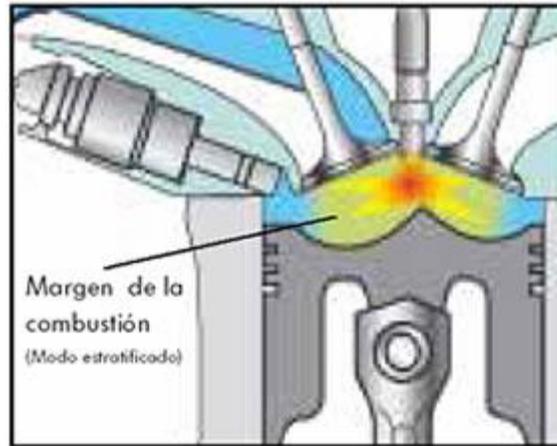


Figura 78: Dosificación estratificada

- Debido al movimiento intenso de la mezcla en el modo homogéneo, el motor posee una alta compatibilidad con la recirculación de gases de escape, equivalente hasta un 25%.

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

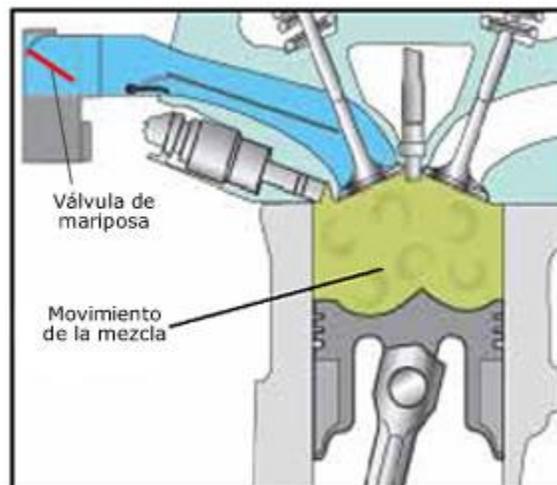


Figura 79: Mezcla Homogénea.

- Con la inyección directa del combustible en el cilindro se extrae calor del aire de admisión, produciéndose un efecto de refrigeración de éste. La tendencia al picado se reduce, lo que permite aumentar a su vez la compresión. Una mayor



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

- Es posible reducir el régimen de ralentí, y se facilita el arranque en frío debido a que al reanudar la inyección el combustible no se deposita en las paredes de la cámara de combustión.

La mayor parte del combustible inyectado puede ser transformada de inmediato en energía utilizable. El motor funciona de un modo muy estable, incluso al trabajar con regímenes de ralentí más bajos.

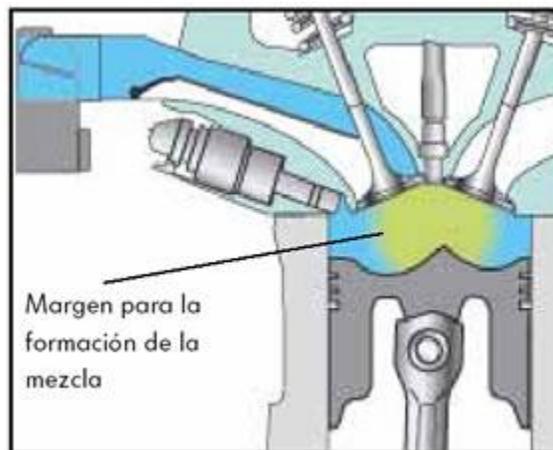


Figura 79: Margen de formación de la mezcla.

Inconvenientes

- Uno de los problemas principales que plantea la inyección directa de gasolina es el tratamiento de los gases de escape para cumplir las normativas anticontaminación. Los óxidos nítricos que se producen con motivo de la combustión en el modo "estratificado" y en el modo "homogéneo-pobre" no pueden ser transformados suficientemente en nitrógeno por medio de un catalizador convencional de tres vías. Sólo desde que ha sido desarrollado el catalizador-acumulador de NOx también se cumple la norma de emisiones de escape EU4 en estos modos operativos. Los óxidos nítricos se acumulan internamente en ese catalizador y se transforman en nitrógeno mediante medidas específicas para ello.

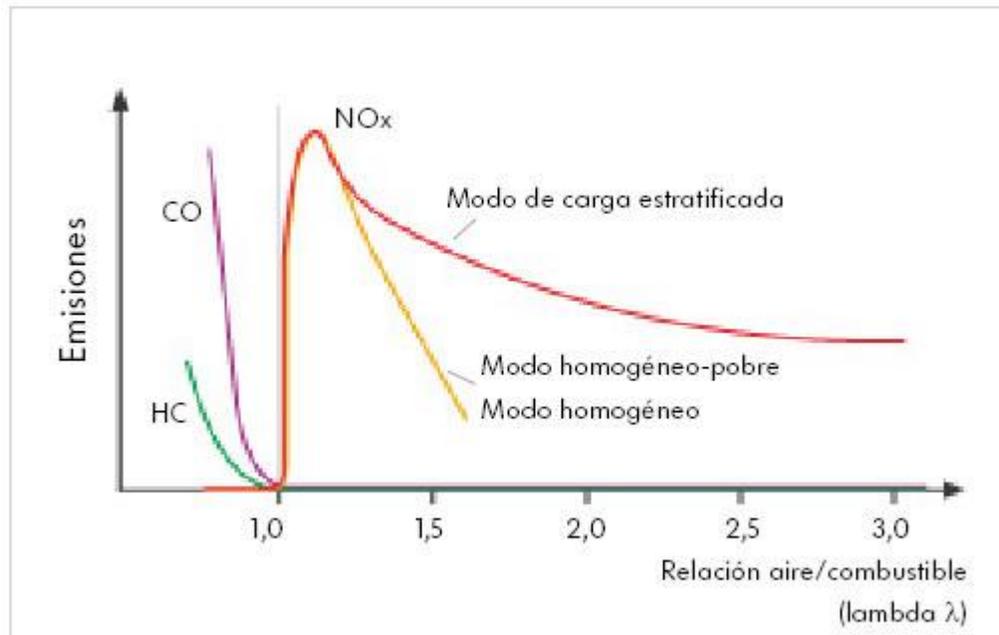


Figura 80: Niveles de NOx.

- Otro inconveniente reside en los problemas que plantea el azufre en la gasolina. Debido a la similitud química que tiene con respecto a los óxidos nítricos, el azufre también se almacena en el catalizador- acumulador de NOx y ocupa los sitios destinados a los óxidos nítricos. Cuanto mayor es el contenido de azufre en el combustible, tanto más frecuentemente se tiene que regenerar el catalizador-acumulador, lo cual consume combustible adicional. En la gráfica inferior se compara distintas clases de gasolinas que hay en el mercado y se aprecia la influencia que tiene el contenido de azufre sobre la capacidad de acumulación del catalizador-acumulador de NOx.

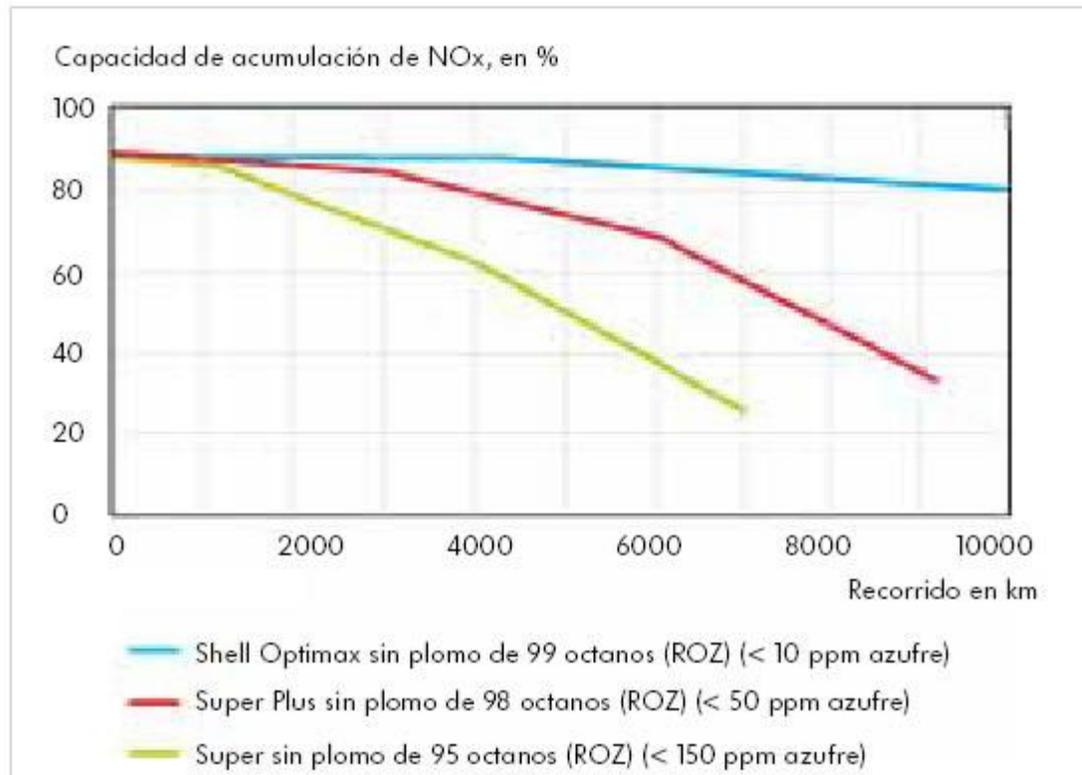


Figura 81: Capacidad de acumulación de NO_x de diferentes combustibles.

La marca Mitsubishi fue la primera en construir motores de inyección directa de gasolina. En este motor la gasolina es inyectada directamente en el cilindro, con lo que se eliminan pérdidas y se mejora el rendimiento. La cantidad exacta de gasolina se introduce con una temporización muy precisa, consiguiendo una combustión completa. Las innovaciones tecnológicas que presentan estos motores son:

- Colectores de admisión verticales.
- Pistones con una forma especial (deflector).
- Bomba de combustible de alta presión.
- Inyectores de alta presión.

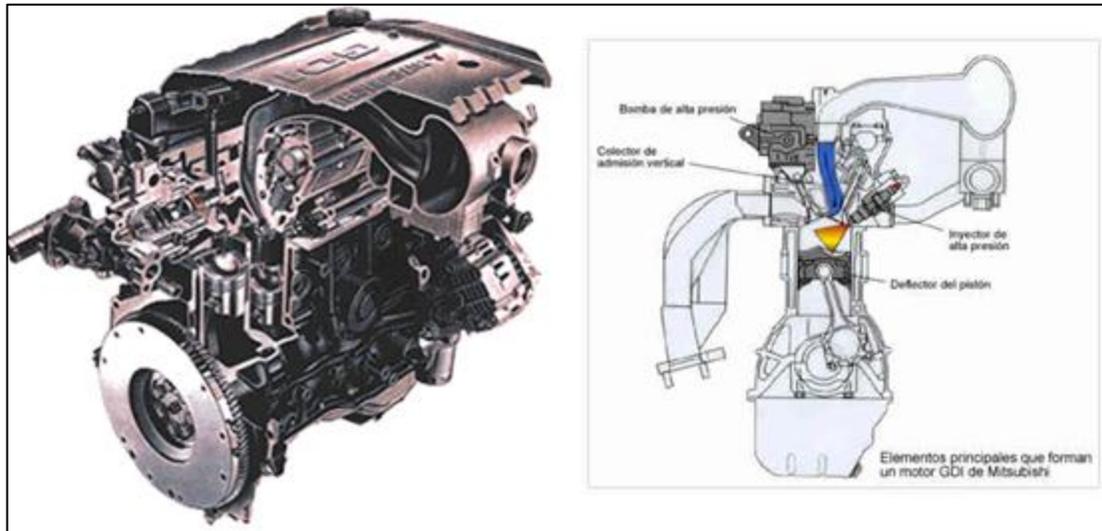


Figura 82: Motor Mitsubishi con Inyección Directa.

Esquema general de funcionamiento

En la figura inferior tenemos el esquema general de los diferentes elementos que forman el sistema de inyección directa de gasolina. En él se ve el circuito de admisión de aire y el circuito de suministro de combustible.

El circuito de admisión de aire empieza con el sensor (1) encargado de medir la cantidad de aire que, en función de la carga, entra en el motor. También dispone de unas electroválvulas colocadas en by-pass en dicho circuito y que actúan; la (2) en compensación de la necesidad de aire adicional debido al accionamiento de elementos auxiliares del motor y la (3) en caso de un control de todo o nada. La válvula reguladora de ralentí (4) es la encargada de mantener el régimen de giro del motor constante y actúa controlando el paso del flujo de aire después de la mariposa. Finalmente, la válvula EGR (5) realiza la función de recircular los gases de escape cuando las altas temperaturas y presiones de combustión provocan la aparición de los peligrosos óxidos de nitrógeno en los gases de escape.

Podemos ver también la posición vertical de los colectores de admisión que permiten, gracias a la longitud y su cuidado pulimentado, aumentar el rendimiento volumétrico. En el circuito de suministro de combustible al motor la gasolina parte del depósito (6) gracias a una bomba previa (7) de baja presión que pasa por un filtro y un regulador de presión (8) y se conduce a un conjunto hidráulico (9) que incorpora una bomba de alta presión. Un conjunto regulador de alta presión (10) mantiene la presión de inyección en su último tramo hacia el inyector (11). La bomba inyecta carburante a una presión de 50 bar y



utiliza un sensor de presión de combustible para el control preciso de la alimentación. En el escape del motor se incorpora un convertidor catalítico (12) para eliminar los restos de NOx cuando el motor trabaja con mezcla pobre o estratificada.

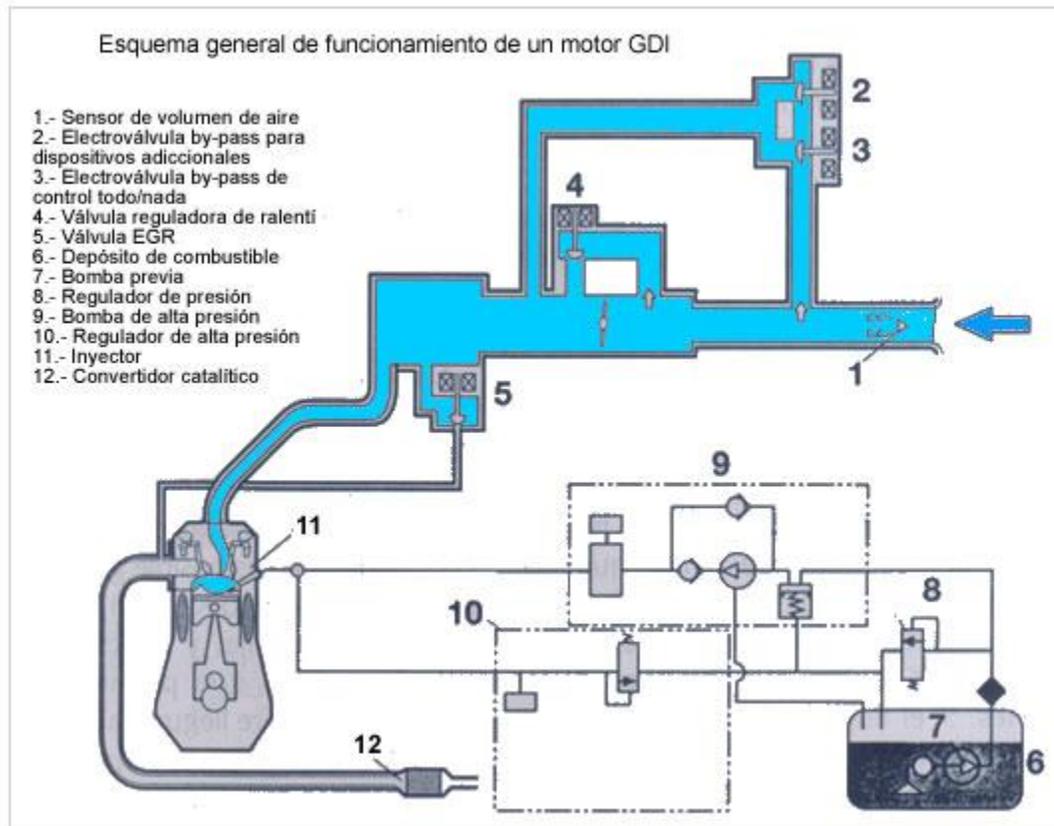


Figura 83: Esquema general del Funcionamiento Motor GDI.

El colector de admisión vertical

Con este tipo de colector se consigue crear un flujo de aire en la admisión del tipo giratorio en sentido de las agujas del reloj, con el que se consigue un mayor rendimiento. La ventaja de este sistema de flujo giratorio respecto al turbulento utilizado en la manera clásica (inyección indirecta), es que en este último tiende a concentrarse el combustible en la periferia del cilindro y por tanto alejado de la bujía, en cambio el giratorio permite concentrarlo en el lugar que más interesa para una mejor combustión: alrededor de la bujía. El hecho de que se realice siguiendo el sentido horario obedece a la necesidad de evitar que por medio de la inyección directa de gasolina choque con la bujía, ya que esto crea una acumulación de hollín que provoca falsas combustiones. Si el flujo girara hacia la izquierda no daría el tiempo suficiente para conseguir que el chorro de gasolina inyectado directamente se vaporizase.



El ángulo relativamente grande del inyector ayuda a asegurar que también tendrá tiempo suficiente para que el chorro pulverizado de combustible se vaporice, incluso cuando se inyecta durante la carrera de compresión. El deflector del pistón ayuda a concentrar la mezcla de aire/gasolina rica alrededor de la bujía.

Esta mezcla estratificada de forma ideal, rica alrededor de la bujía, pobre en la periferia, permite que el motor GDI de Mitsubishi funcione suavemente en el modo de combustión ultra-pobre, con la asombrosa relación de aire 40/1, con lo cual se consigue una importante economía de combustible.

Los motores de inyección directa gasolina funcionan con dos tipos de mezcla según sea la carga del motor: mezcla estratificada y mezcla homogénea.

Mezcla estratificada: el motor es alimentado con una mezcla poco enriquecida cuando el vehículo se desplaza en unas condiciones de carga parcial (pedal del acelerador a medio pisar). Para poder conseguir una mezcla pobre para alimentar el motor, éste debe ser alimentado de forma estratificada.

La mezcla de aire y combustible se concentra en torno a la bujía ubicada en una estratégica posición central en las cámaras de combustión, en cuyas zonas periféricas se acumula prácticamente sólo una capa de aire. Con esta medida se consigue la eliminación de la mencionada estrangulación para proporcionar un importante ahorro de combustible. La positiva característica de economía de consumo es también una consecuencia de la disminuida dispersión de calor. El aire concentrado de la manera comentada en la periferia del espacio de combustión mientras se produce el quemado de la mezcla en la zona central de la cámara proporciona una especie de aislamiento térmico. Con esta estratificación específica de la carga, el valor Lambda en el área de combustión oscila entre 1,5 y 3. De este modo, la inyección directa de gasolina alcanza en el campo de carga parcial el mayor ahorro de combustible frente a las inyecciones convencionales: en marcha de ralentí incluso un 40%.

Durante la fase de admisión (1) Figura 84, el volumen de aire procedente de los colectores de admisión verticales recorre la superficie curvada del pistón (2) y refluye hacia arriba creando un potente flujo giratorio en el sentido de las agujas del reloj. El control del flujo es posible gracias a sensores de flujo de aire de tipo Karman, que controlan la contrapresión baja, y a dos solenoides de la válvula by-pass que permiten que grandes cantidades de aire lleguen al cilindro con suavidad, lo que es importantísimo cuando se trata de funcionar con relaciones de aire/combustible extremadamente pobres de hasta 40/1.

En la carrera de compresión del pistón la forma giratoria se descompone en pequeños y numerosos torbellinos. A continuación, en la última fase de la carrera de compresión, el inyector de turbulencia de alta presión pulveriza el combustible (3) siguiendo una espiral muy cerrada. Este movimiento de turbulencia junto con la elevada densidad del aire



comprimido y los pequeños torbellinos, mantienen compacto el chorro pulverizado de combustible. El combustible se concentra alrededor de la bujía. La estratificación es muy buena: la mezcla aire/combustible es rica en el centro y pobre en la periferia. Finalmente salta la chispa en la bujía (4) y el potente producto de la combustión es controlado por la cavidad esférica del pistón que se va extendiendo mediante una reacción en cadena. El resultado de todo este proceso es una mejora del 20% en el ahorro de combustible.

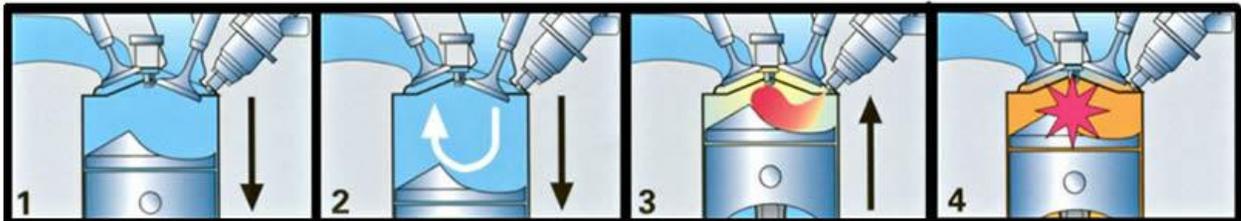


Figura 84: Diagrama de fases de la Inyección Directa estratificada.

Mezcla homogénea: El control inteligente de la inyección permite disponer asimismo de una mezcla homogénea en los regímenes más elevados (cuando se exige potencia al motor). La inyección es adaptada de forma automática y el combustible no es inyectado en las fases de compresión sino en las de admisión. Unas determinadas leyes de la termodinámica imponen, no obstante, un aumento del llenado de los cilindros y una disminución de la temperatura de compresión en estas condiciones. Estos ajustes tienen unos efectos secundarios también muy positivos que se manifiestan en forma de unos elevados valores de potencia y par motor. Con una relación de compresión alta por encima de 11 (11,5:1) ofrece un valor significativamente más alto que un motor dotado de un sistema de inyección MPI (indirecta).

Con mezcla homogénea el combustible se inyecta durante la carrera de admisión para crear un efecto de refrigeración, el inyector de alta presión cambia la forma de funcionar en este modo para alimentar el combustible mediante un chorro largo en forma de cono, con objeto de conseguir una dispersión en el cilindro. El efecto de refrigeración evita las detonaciones o combustión espontánea en el cilindro que pueden producirse cuando el motor tiene una relación de compresión alta y con un elevado calentamiento.

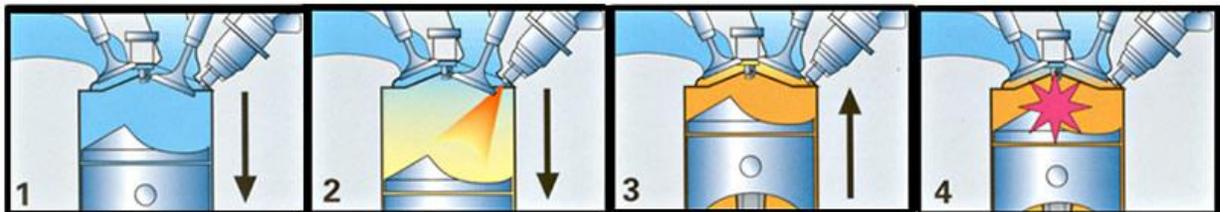


Figura 85: Efecto refrigerante de la mezcla.



Reducción en las emisiones de gases contaminantes

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

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

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

El fabricante Bosch lleva tiempo aplicando sus sistemas de inyección a los motores de inyección directa. Hace más de 60 años en los motores de aviación y también en el renombrado Mercedes 300 SL del año 1954, con las puertas abatibles en forma de alas de mariposa. Este sistema de inyección funcionaba igual que el utilizado por los motores Diesel, es decir, estaba dotado de una bomba de inyección en línea que tiene tantos elementos de bombeo como cilindros tiene el motor y accionados por un árbol de levas sincronizado con el cigüeñal. La presión de inyección con la que trabajaba este sistema es de 15 a 20 kp/cm², la cual si la comparamos frente a un Diesel (150 a 400) es muy baja, lo que hace que la precisión del equipo de bombeo no sea muy grande. Pero tenía el enorme inconveniente de la lubricación, ya que la gasolina no es lubricante, implica la necesidad de lubricar la bomba lo que encarece su fabricación. También los inyectores deben lubricarse, lo cual lo complica en extremo. Los inyectores que están en contacto con las altas presiones y la temperatura que se alcanza en la cámara de combustión del motor hacen que se deterioren rápidamente y requieren un gran mantenimiento por ello esta inyección directa solo se usaba en vehículos muy exclusivos o deportivos.

Por las razones expuestas anteriormente Bosch aparcó el desarrollo de esta tecnología, hasta que la utilización masiva de la electrónica hizo más fácil desarrollar un sistema lo suficientemente fiable y a un precio ajustado.



Figura 86: Corte de motor con tecnología de Inyección Bosch.

El sistema de inyección directa de gasolina Bosch denominado MED trabaja según el principio de funcionamiento del Common Rail utilizado para la inyección diesel. Es decir, un conducto o regleta distribuidora común, de alta presión, alimenta con carburante todas las válvulas de inyección; la presión regulada en el conducto distribuidor de combustible la origina una bomba de alta presión que puede alcanzar presiones de hasta 120 bar. Con las válvulas de inyección accionadas de forma electromagnética, el inicio y la duración del proceso de inyección es variable dentro de amplios límites. El caudal de inyección se mide exactamente, mientras que la geometría del chorro está sincronizada con las exigencias del motor. La forma y el ángulo el chorro, así como el tamaño de las gotitas pulverizadas, constituyen también parámetros importantes para la formación de la mezcla y determinar valores de emisión bajas y consumos favorables.



Figura 87: Sistema DI- Motronic segunda generación.



2.2. Inyección de Motores Encendidos por Compresión

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, como:

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

2.2.1. Clasificación de los Sistemas de Inyección Diesel

Los sistemas de inyección de motores encendidos por compresión se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Según el lugar donde es inyectado**
- **Según su forma de general la inyección**

2.2.1.1. Según el lugar donde es Inyectado

Dependiendo de la manera en que se realice la inyección se pueden clasificar en:

- **Inyección Directa**
- **Inyección Indirecta**

Inyección Directa

También conocidas como cámaras abiertas, en ellas el combustible es inyectado directamente en la parte superior del cilindro.

Se utilizan valores moderados para la relación de compresión, en motores aspirados lo común es emplear valores entre 14:1 y 18:1



Su diseño permite trabajar con bajas relaciones S/V, situación que minimiza las pérdidas de calor, facilitando el arranque en frío.

La turbulencia obtenida está limitada a un adecuado diseño del conducto de admisión y/o la eventual presencia de un deflector en la válvula de admisión.

Para conseguir una buena penetración y dispersión de las gotitas de combustible se requiere una alta presión de inyección y un inyector con múltiples toberas.

Estas cámaras de combustión fueron históricamente propuestas para los grandes motores diesel de operación lenta con prolongados periodos de inyección, empleando combustibles de baja calidad con mayor retraso de encendido.

Para uso vehicular y por mucho tiempo se utilizaron las denominadas cámaras de inyección indirecta

En la actualidad, los sistemas de inyección de alta presión y la electrónica aplicada a la gestión de inyección ha permitido el empleo de cámaras de inyección directa en motores de uso vehicular con muy buenos resultados, tanto económicos como de control de emisiones.

El consumo específico de combustible que puede obtenerse con este tipo de cámaras en motores aspirados está comprendido entre 160-190gr/CVh

En los grandes motores diesel de 2T se utilizan con frecuencia cámaras talladas en la culata como muestra la figura siguiente.

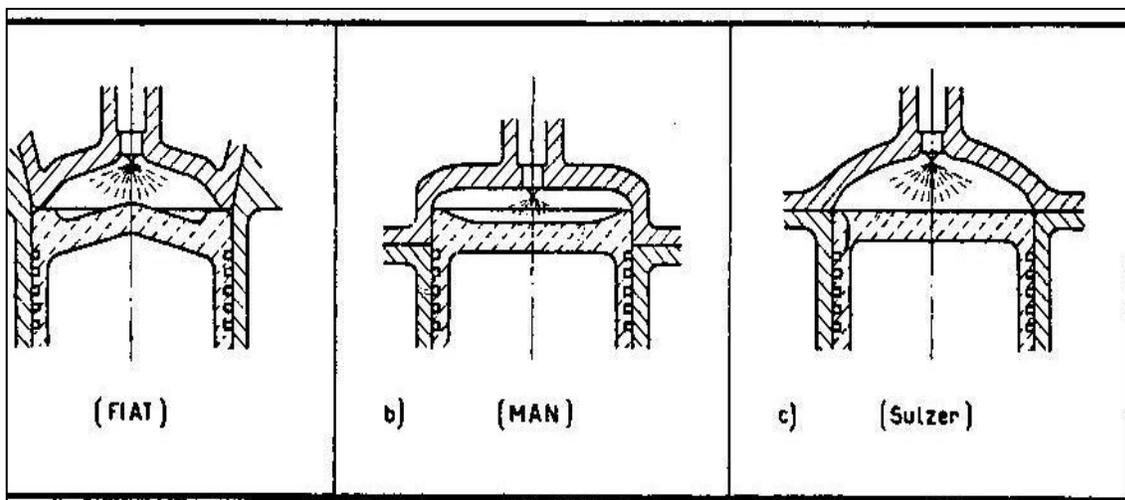


Figura 88: Disposición de Inyección Directa en motores Diesel.

En los motores de 4T se utilizan cámaras labradas en la cabeza de pistón, siendo esto una consecuencia de disponer el cielo plano de la tapa de cilindros para alojar las válvulas.

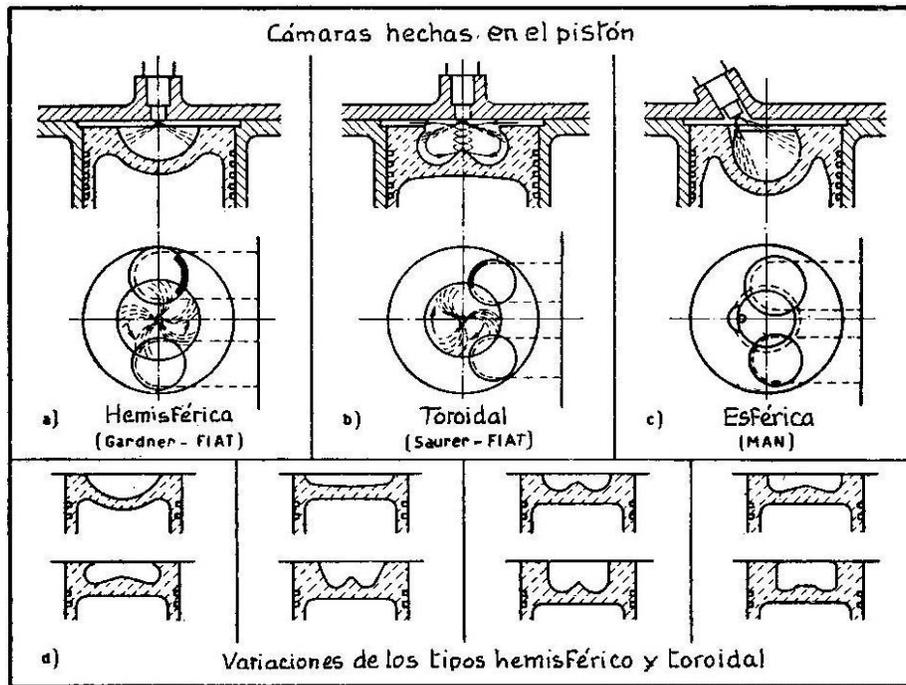


Figura 89: Variaciones de los tipos Hemisféricos, Toroidal y Esféricos.

Inyección Indirecta

En el caso de la inyección indirecta, esta tiene lugar en un recinto anticipado, entre el pistón y la culata, conocido como antecámara. Por lo tanto el lugar donde se tiene la combustión está formado por dos cámaras.

La principal, está comprendida entre el pistón y la culata, y la otra (antecámara) está toda ella comprendida en la culata.

Las dos cámaras están comunicadas entre sí por orificios de sección relativamente pequeñas.

Las precámaras de alta turbulencia se distinguen por presentar una tendencia a la esfericidad y el canal de comunicación con el cilindro, debidamente orientado para inducir movimientos rotatorios muy intensos al fluido.

Lo verdaderamente distintivo de este tipo de cámaras es la altísima turbulencia que se obtiene como consecuencia de la transferencia de gases desde y hacia el cilindro en distintos tiempos del ciclo.

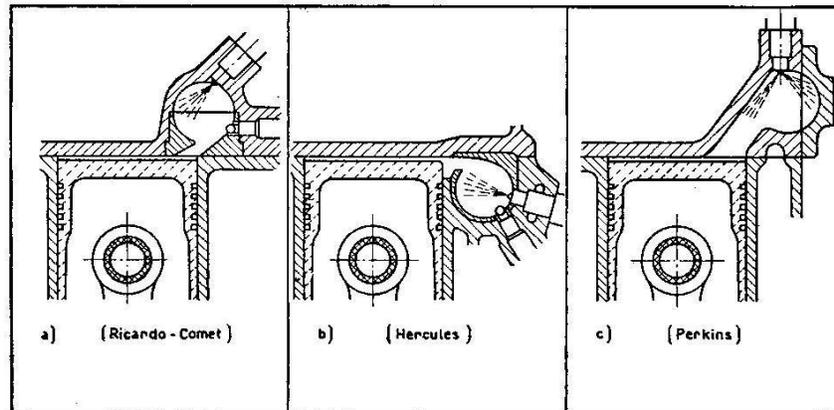


Figura 90: Variaciones de Inyección Indirecta.

2.2.1.2. Según su forma de general la Inyección

El combustible (con una presión elevada), es el que penetra en la cámara de combustión donde se encuentra con el aire produciéndose la combustión.

Existen varios métodos, a saber:

- Sistema de bomba individual
- Unidad bomba-inyector UIS
- Unidad bomba-tubería-inyector UPS
- Sistema de conducto común (**Common Rail**).

2.2.1.2.1. 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.**

2.2.1.2.1.1. 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, su peso y sus limitaciones a grandes números de revoluciones que las hacen aptas para vehículos pesados, pero no para 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.

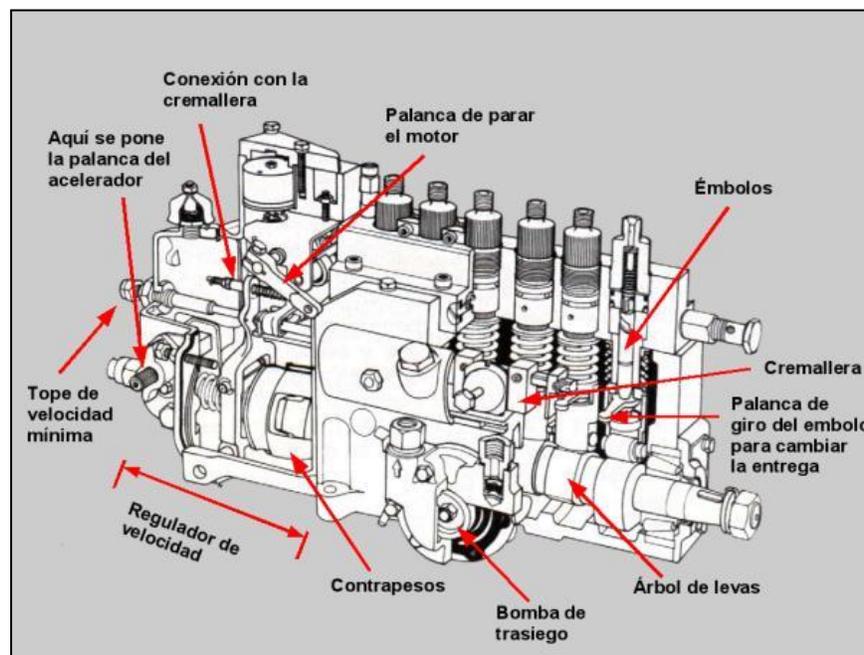


Figura 91: Bomba de Inyección en línea.

2.2.1.2.1.2. 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.

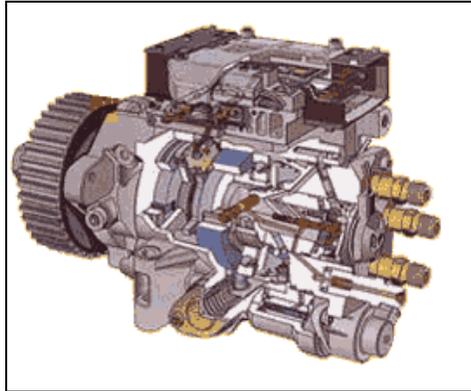


Figura 92: Bomba Rotativa de émbolos radiales.

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 embolo distribuidor, aunque el motor sea de varios cilindros. Una lumbrera de distribución asegura el reparto de combustible, entre las diferentes salidas correspondientes a cada uno de cilindros del motor, alimentado por el embolo 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.

El movimiento rotativo del eje de accionamiento, se transmite al embolo distribuidor por medio de un acoplamiento. Las garras del eje de accionamiento y del disco de levas engranan en el 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 embolo distribuidor es solidario del disco de levas por medio de una pieza de ajuste, y está coordinado por un arrastrador. El desplazamiento del embolo distribuidor hacia el punto muerto superior (PMS) está asegurado por el perfil del disco de levas. Los dos muelles antagonistas del embolo, dispuestos simétricamente, que reposan sobre la cabeza distribuidora y actúan sobre el embolo distribuidor a través de un puente elástico, que provocan el desplazamiento del embolo 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 embolo 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 embolo que están perfectamente coordinados.

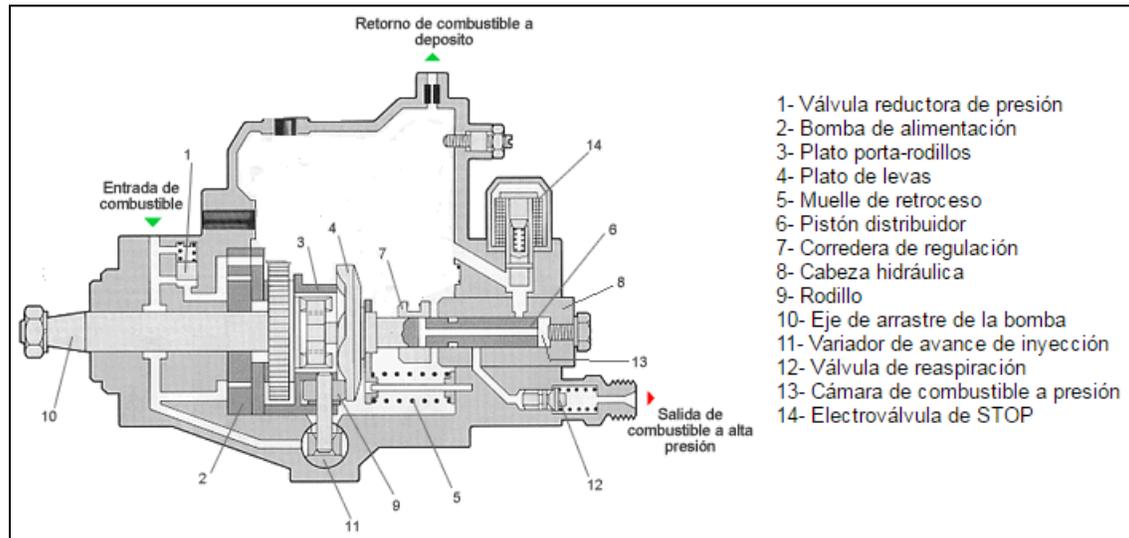


Figura 93: Corte de Bomba rotativa y sus partes.

2.2.1.2.2. Unidad bomba-inyector UIS

La bomba de inyección y el inyector constituyen una unidad. Por cada cilindro del motor se monta una unidad en la culata que es accionada bien directamente mediante un empujador, o indirectamente mediante balancín, por parte del árbol de levas del motor.

Debido a la supresión de las tuberías de alta presión, es posible una presión de inyección esencialmente mayor (hasta 2000 bar) que en las bombas de inyección en línea y rotativas. Con esta elevada presión de inyección y mediante la regulación electrónica por campo característico del comienzo de inyección y de la duración de inyección (o caudal de inyección), es posible una reducción destacada de las emisiones contaminantes del motor diesel.

2.2.1.2.3. Unidad bomba-tubería-inyector UPS

Este sistema trabaja según el mismo procedimiento que la unidad de bomba-inyector. Se trata aquí de un sistema de inyección de alta presión estructurado modularmente. Contrariamente a la unidad bomba-inyector, el inyector y la bomba están unidos por una tubería corta de inyección. El sistema UPS dispone de una unidad de inyección por cada cilindro del motor, la cual es accionada por el árbol de levas del motor.



Una regulación electrónica por campo característico del comienzo de inyección y de la duración de inyección (o caudal de inyección) aporta una reducción destacada de las emisiones contaminantes del motor diesel. En combinación con la electro-válvula de conmutación rápida, accionada electrónicamente, se determina la correspondiente característica de cada proceso de inyección en particular.

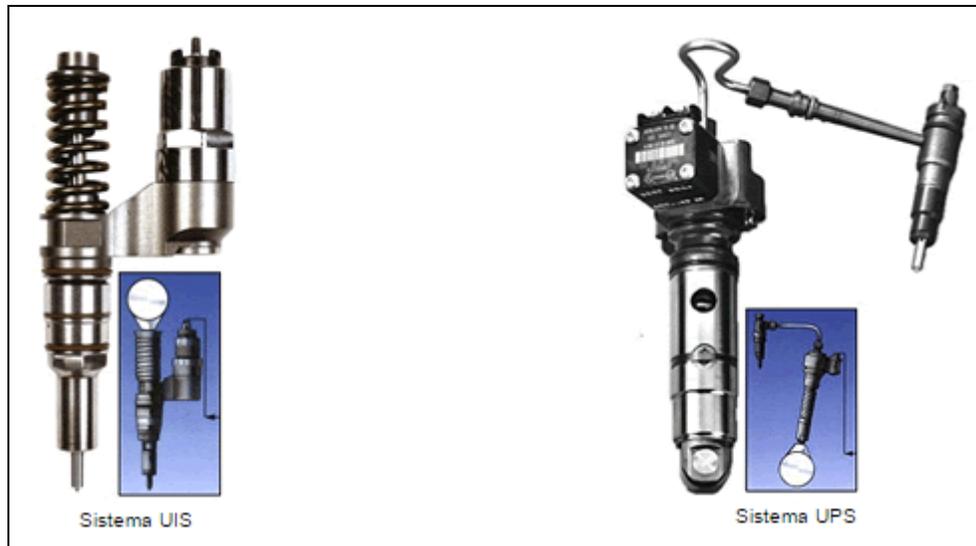


Figura 94: Sistema UIS y Sistema UPS.

2.2.1.2.4. Sistemas de Inyección Electrónica de Conducto Común **(Common Rail)**

Introducción 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 además aporta 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 (Nox) y monóxidos de carbono. Esto es posible porque la unidad de mando, además de gestionar la 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.

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 carter.



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 esta 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 riel 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.

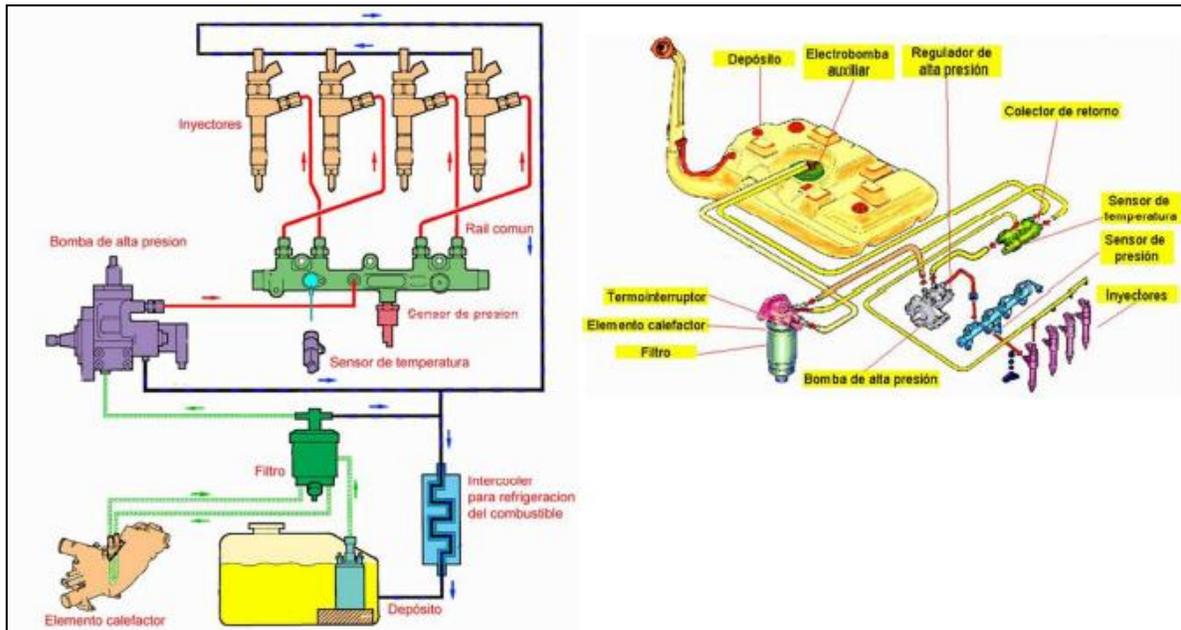


Figura 95: Elementos y descripción del Sistema Common Rail.

Partes constituyentes del sistema Common Rail

Circuito de Baja Presión

1. Depósito 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 volumétrica 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 relee de bomba. Este relee 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 alveolos 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 anti-retorno, impidiendo que el circuito se vacíe cuando el sistema este parado.

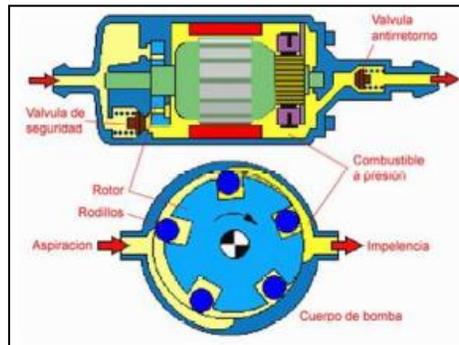


Figura 96: Bomba de Cebado

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 (conocido como trampa de agua). 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 termointerruptor situado en el mismo filtro. Este elemento, deja alimentado 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 bimetal que se deforma en función de la temperatura del combustible. Cuando es inferior a 15C°, la posición del bimetal obliga a que todo el combustible se dirija al calentador sin circular por el filtro. Para temperaturas comprendidas entre 15 C° y 25 C°, solo parte del combustible se dirige al calentador y parte circula por el filtro. Para temperaturas superiores a 25 C° la totalidad del combustible circula solo 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 este siempre a temperatura de servicio.

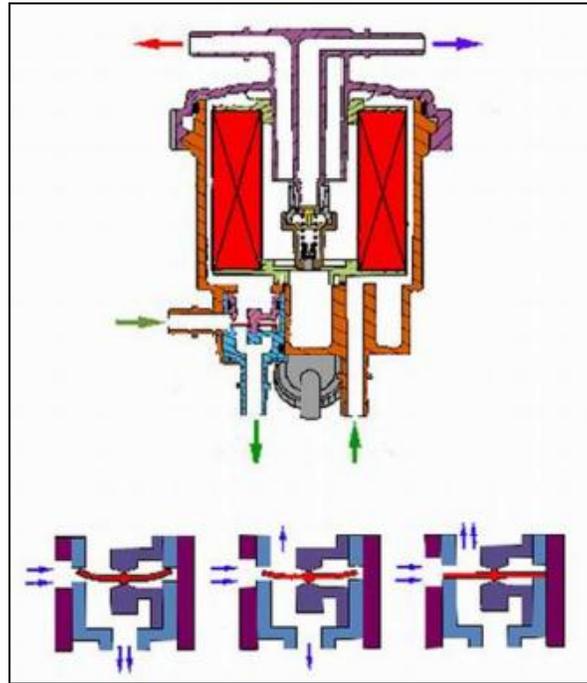


Figura 97: Filtro de Combustible y Válvula de regulación de presión.

4. Válvula de Regulación de 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 descende y la bola obtura de nuevo el paso.



Figura 98: Regulador de presión.

5. Inter-Cooler o enfriador de combustible.

El combustible sometido a altas presiones sufre un importante calentamiento que puede afectar al depósito construido de 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.

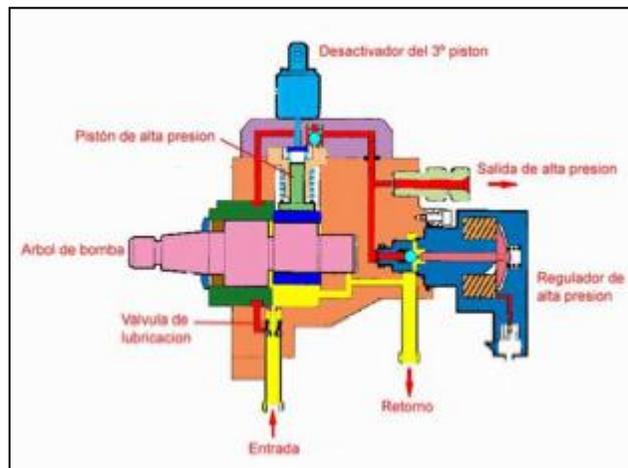


Figura 99: Inter- Cooler.

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. Este se dirige hacia la cámara de abastecimiento 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 embolo se encuentra en desplazamiento hacia abajo (carrera aspirante). Al sobrepasarse el punto muerto inferior de un embolo, 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 riel común.

2. Desactivador del Tercer del 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 este 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.

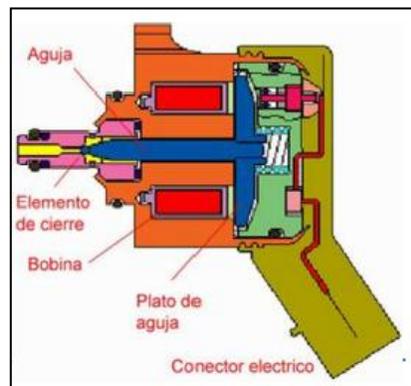


Figura 100: Desactivador del Tercer Inyector.

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 riel 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 ancla. 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 este alcance una presión de 150 bares en el riel 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 riel 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.

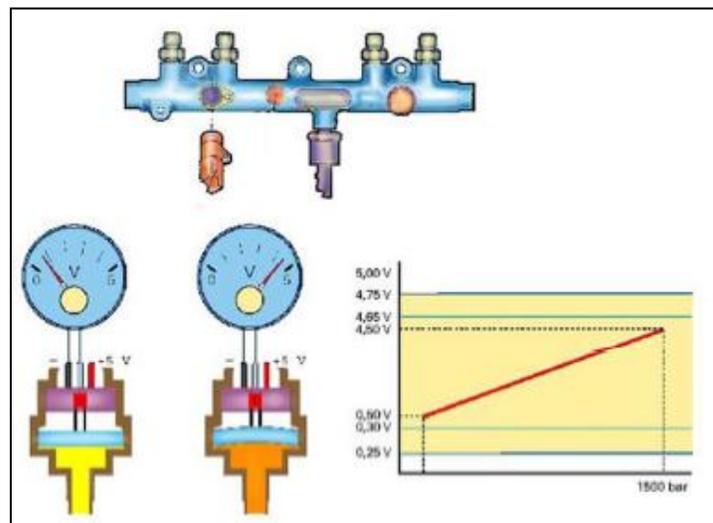


Figura 101: Regulador de Presión.

4. Sensor de Presión

El sensor de presión del combustible está ubicado en el riel 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.

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 citado con una señal de valor fijo.



Figura 102: Sensor de Presión.

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 o 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.

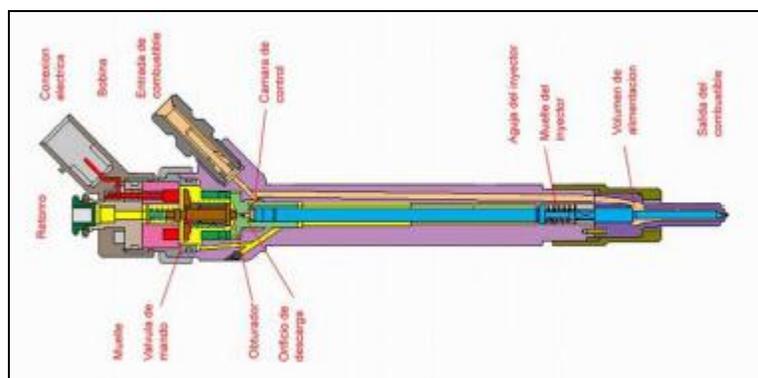


Figura 103: Inyector.



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 termino 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.



Figura 104: Sistema de control Electrónico.

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.
- Diagnóstico 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 el (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 H₂O (vapor de agua), CO₂ (dióxido de carbono) y N₂ (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 λ 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).

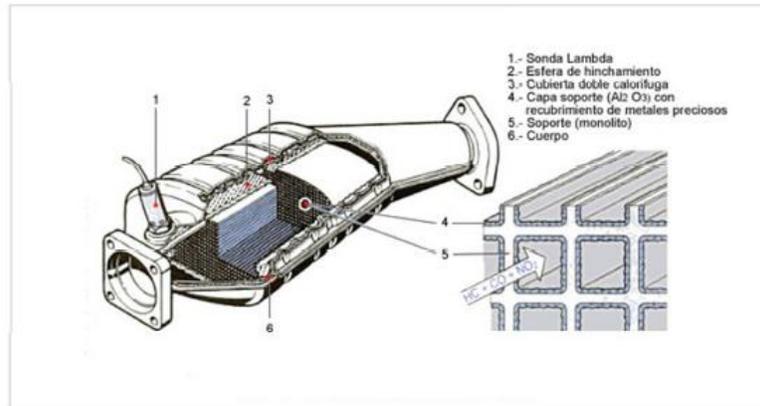


Figura 105: Esquema de Catalizador de tres vías.

Soporte

Como soporte se han impuesto dos sistemas:

- Monolitos cerámicos.
- Monolitos metálicos.

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 esferas 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.

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 sintonización 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 (por 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.

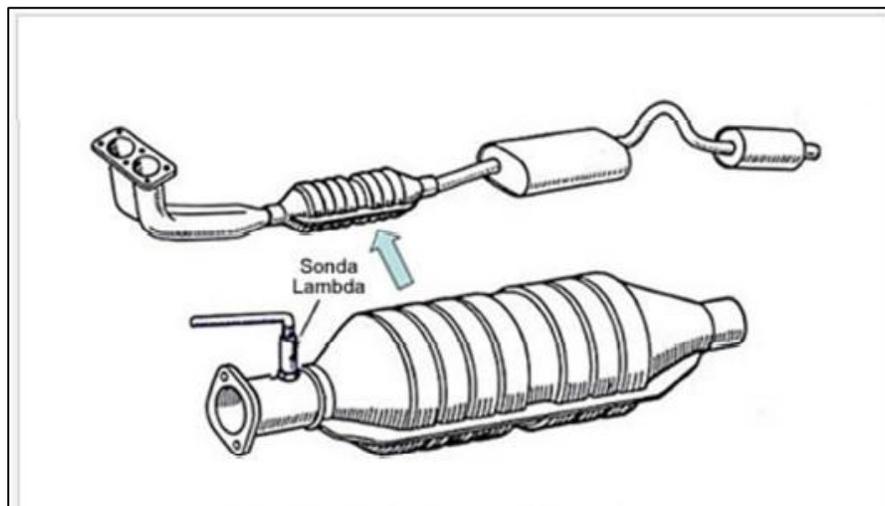


Figura 106: Disposición del catalizador en la línea de escape.

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 $\lambda = 1$. 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 estequiometrica de esta. 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 Oxígeno

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.

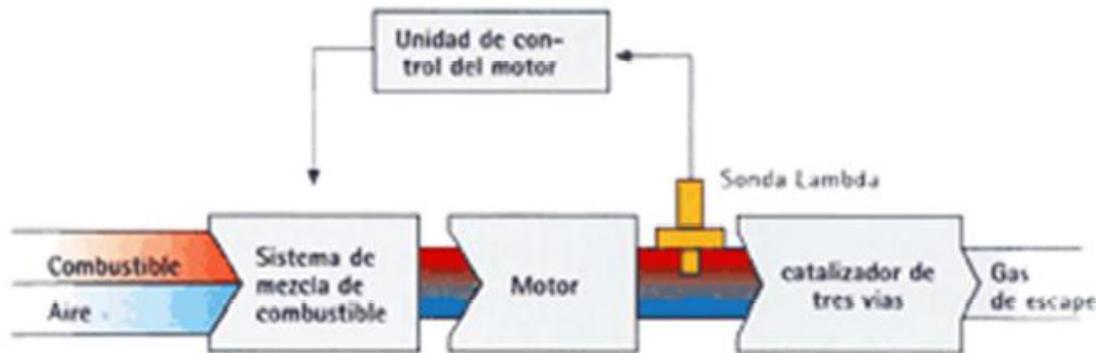


Figura 107: Esquema de distribución del sistema de control de emisiones.

B.1) Funcionamiento de la Sonda 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.

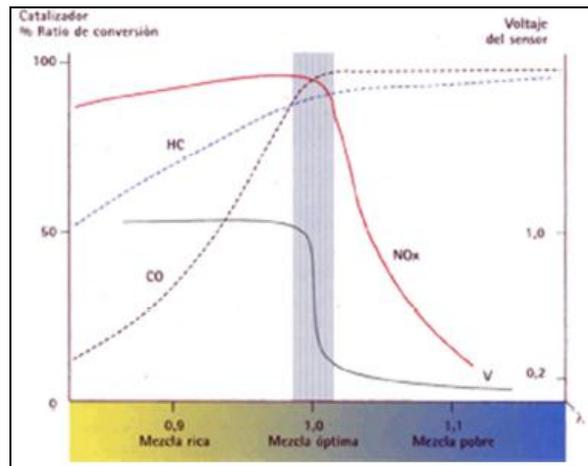


Figura 108: Variación de la tensión de Volt, en función de Lambda.

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 solo 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 o 4 hilos conductores.

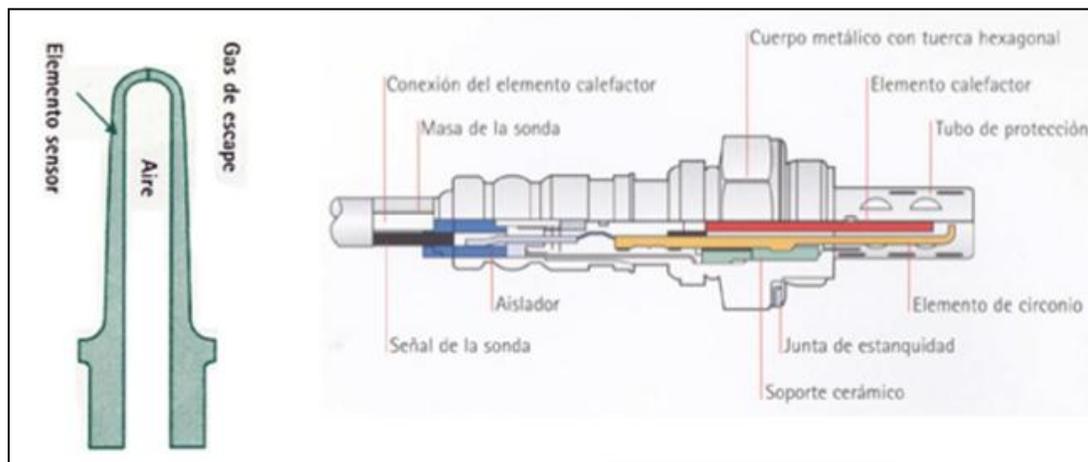


Figura 109: Sensor de Zirconio.



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 sustrato 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.

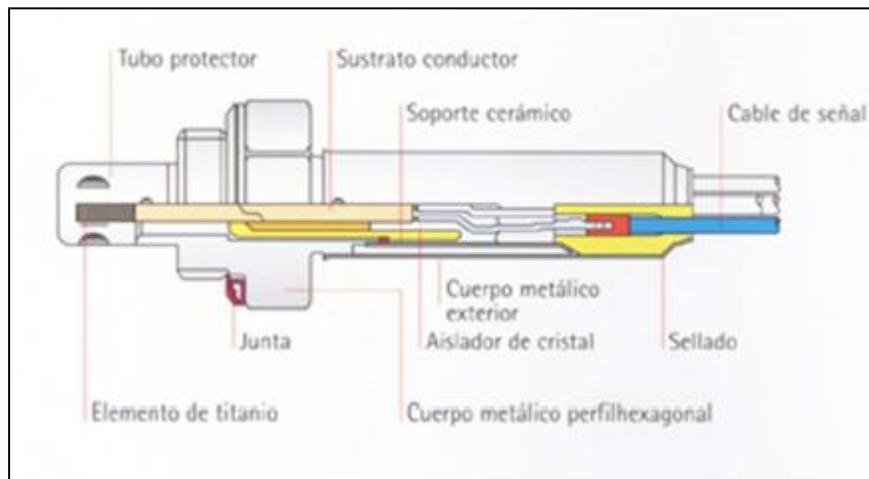


Figura 110: Sensor de Titanio.

3. Bibliografía.

- Manual de Automóviles, Arias-Paz
- Catálogo de tipos de inyectores y formas de inyección Bosch
- INYECCION ELECTRONICA de motores Nafteros y Diesel-autor: Pablo Jorge Gualtieri

Páginas web:

- <http://cise.com/>
- <http://www.aficionadosalamecanica.net> - Catalizadores
- <http://www.iresaing.com>