

2 | Sistemas de inyección a gasolina

2.1. Sistemas de alimentación de combustible

2.1.1. La inyección de combustible

Las emisiones contaminantes producidas por los motores de combustión interna generan efectos negativos en la salud y el medio ambiente [1], por lo cual se han implementado sistemas que mejoren la dosificación del combustible y otras condiciones de operación para reducir las emisiones de contaminantes producidas por los vehículos propulsados con motores de combustión interna. Por estas razones, sistemas como el carburador han sido sustituidos por sistemas de inyección de combustible, capaces de regular la dosificación del combustible en función de las variables de funcionamiento del motor, que son adquiridas mediante sensores, y por intermedio de una unidad de control electrónico (ECU) determinar en qué instante y que cantidad de combustible se debe aportar a cada cilindro en cada ciclo.

En esta sección se explican los sistemas de inyección indirecta desde un punto tecnológico y constructivo, para la mayoría de los ejemplos se usa un motor de cuatro tiempos con un orden de encendido (1-3-4-2) como se observa en la Figura 2.1, obteniéndose la siguiente clasificación de los sistemas de inyección.

- **Inyección simultánea:** la ECU gestiona la inyección de combustible en un mismo instante de tiempo en todos los cilindros, esto es 4 veces por cada ciclo de trabajo, es decir una inyección cada 180° .
- **Inyección semisecuencial:** el combustible es inyectado en dos ci-

lindros al mismo tiempo, a esta pareja de cilindros se la denomina como cilindros compañeros (1-4; 2-3), se generan dos inyecciones por cilindro por ciclo.

- **Inyección secuencial:** el sistema inyecta combustible (cada 720°) en un cilindro a la vez, durante la apertura de la válvula de admisión.

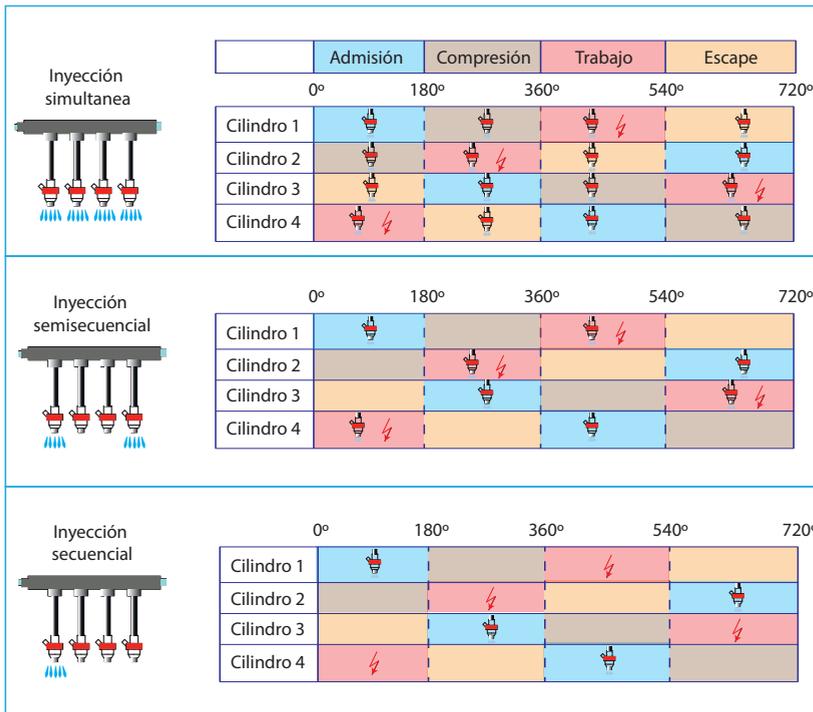


Figura 2.1. Clasificación de los sistemas de inyección

2.1.2. Constitución y funcionamiento de componentes.

Circuito de alimentación de combustible

El circuito de alimentación mostrado en la Figura 2.2 es el encargado de trasladar el combustible desde el depósito hasta el inyector y generalmente se constituye por:

- Depósito de combustible
- Prefiltro
- Bomba
- Filtro
- Conductos
- Regulador de presión
- Riel de inyectores
- Inyectores

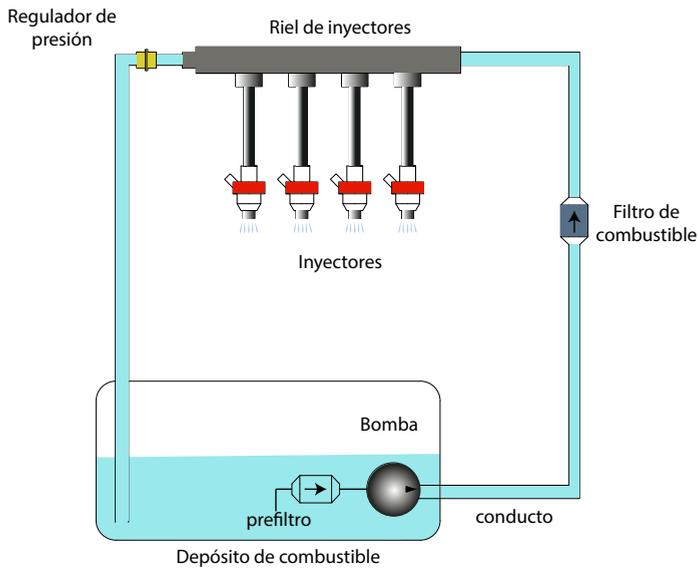


Figura 2.2. Componentes del sistema de inyección

Depósito de combustible

El depósito de combustible tiene por objeto almacenar combustible para brindar una autonomía de circulación de 400 a 500 km. Generalmente son constituidos de un polímero (polietileno HDPE), aunque en la antigüedad eran fabricados de acero, pero su uso fue discontinuado debido al proceso de oxidación.

Prefiltro

El prefiltro se sitúa en la toma de combustible de la bomba, su objetivo es impedir que partículas extrañas ingresen a la misma, se recomienda su cambio cada 60 000 km, debido a que su obstrucción genera un fenómeno conocido como cavitación (esta acción produce un leve vacío y es más notorio con cantidades bajas de combustible en el depósito, debido a la formación de burbujas de vapor en líquidos con presión reducida, donde las pequeñas burbujas producidas implosionan en el acto y pueden destruir ciertas partes del mecanismo de bombeo) que disminuye drásticamente la vida útil de la bomba de combustible.

Bomba de combustible

Es un elemento fundamental dentro del sistema de inyección, encargada de trasladar el combustible desde el depósito hasta el riel de inyectores. Al contrario de las creencias comunes no genera presión sino caudal, el incremento de presión se produce por la oposición al paso del caudal en su recorrido a través del regulador de presión, cuya calibración depende de cada fabricante.

La bomba de combustible puede estar ubicada en el exterior del depósito de combustible o sumergida dentro del mismo (son las más utilizadas en la actualidad).

Se compone de un motor eléctrico que trabaja con el voltaje de alimentación del sistema de inyección y de un impulsor (elemento de bombeo) que puede estar formado por: álabes, engranes o paletas. Dentro de la bomba se encuentran diferentes válvulas, las cuales tienen su función específica:

- **Válvula de liberación:** esta válvula se abre cuando el sistema se estanca y excede la presión máxima permitida, de esta manera evita que el motor de la bomba sufra daños por sobrecalentamiento disminuyendo la probabilidad de ignición y riesgo de incendio.
- **Válvula *check*:** evita que el combustible regrese al tanque cuando

se apaga el motor y de esta manera se mantiene presurizado el sistema.

La configuración de la bomba de combustible se puede ver en la Figura 2.3.

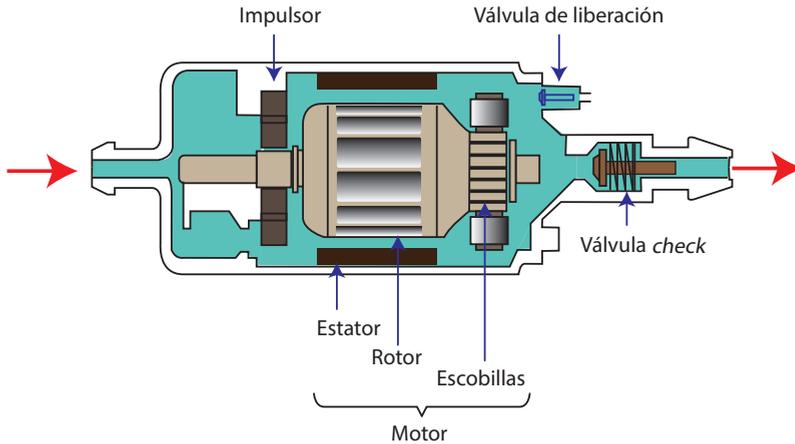


Figura 2.3. Esquema de funcionamiento de una bomba de combustible

Las bombas sumergidas vienen incorporadas con un prefiltro y son las más utilizadas actualmente por presentar ventajas como:

- La gasolina refrigera y lubrica la bomba.
- La gasolina retorna más fría al circuito de alimentación debido a las pérdidas por convección y conducción en las cañerías de combustible.

La corriente que consume la bomba es directamente proporcional a la presión de trabajo, como se muestra en la Figura 2.4, mientras se tiene mayor oposición al giro de la bomba mayor es el consumo energético como se aprecia en la Figura 2.5. Por lo tanto, el valor de la corriente es un excelente indicador del estado físico de la misma. El comportamiento de la corriente se analizará en apartados posteriores.

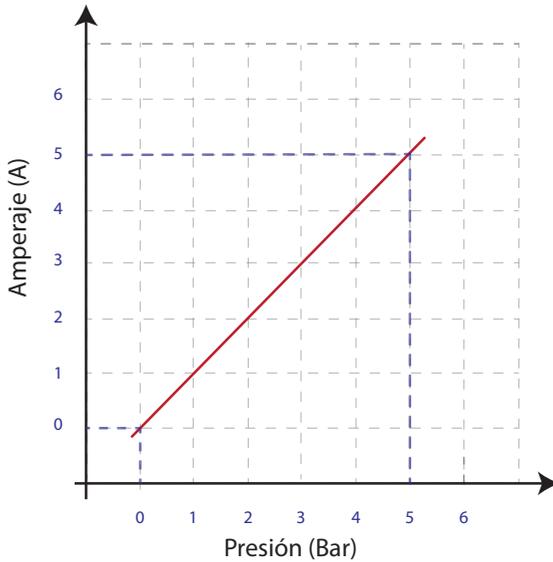


Figura 2.4. Relación presión-amperaje

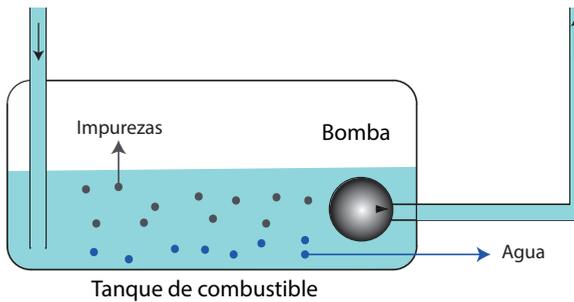


Figura 2.5. Combustible con impurezas

Una bomba de combustible en condiciones normales de funcionamiento presenta una vida útil de entre 120 000 y 150 000 km, siempre que el filtro de combustible haya sido sustituido periódicamente acorde a las recomendaciones del fabricante.

Disposición eléctrica

La unidad electrónica de control (ECU) gobierna la bomba de combustible por medio de un relé, cuyo bobinado se alimenta desde el interruptor de encendido mediante el terminal 86 y se aterriza al interior de la ECU a través del terminal 85, de esta forma la ECU controla el paso de corriente entre los terminales 30 y 87. El terminal 87 se conecta al borne positivo de la bomba, que se mantiene aterrizada de forma permanente, como se muestra en la Figura 2.6.

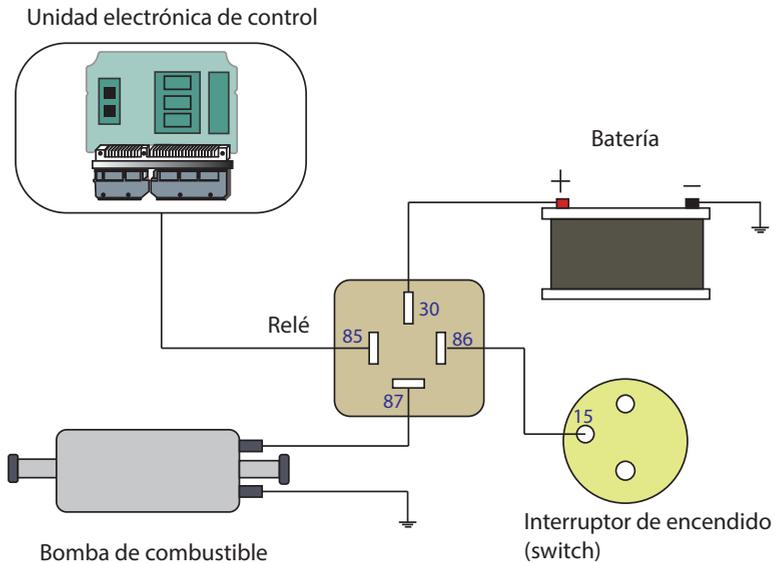


Figura 2.6. Diagrama de control de la bomba de combustible

La bomba de combustible se enciende únicamente cuando el motor de combustión interna se encuentra girando, esto puede ser durante el arranque o cuando el motor está encendido, si el interruptor de encendido se encuentra activado y el motor no está girando la bomba se activa por un lapso aproximado de 3 segundos, para garantizar que la presión de trabajo alcance su valor nominal, luego de este periodo la bomba se desactiva hasta que la ECU detecte el giro del motor de combustión interna.

Filtro

Es el elemento encargado de impedir que partículas contaminantes que atravesaron el pre filtro accedan al resto del sistema de inyección, los fabricantes recomiendan su sustitución cada 15 000 km para filtros montados fuera del tanque de combustible y 60 000 km para los ubicados en su interior, pudiendo disminuirse este periodo en función de la calidad del combustible, la vida útil de la bomba de gasolina depende del grado de contaminación (agua, óxido y silicio) del combustible presente en el depósito, por lo cual los filtros deben ser sustituidos periódicamente debido a que tienden a obstruirse y producen restricción al flujo de gasolina hacia los inyectores ocasionando que la bomba trabaje en exceso, aumentando su consumo energético y disminuyendo su vida útil.

Regulador de presión

El regulador mantiene la presión del combustible en el riel de inyectores según los valores especificados por el fabricante, siendo este diferente para cada sistema de inyección como se muestra en la Tabla 2.1, considerando que esta presión varía en función del incremento de la carga.

Tabla 2.1. Tipos de sistemas de inyección según la presión del sistema

Sistema	Ubicación del regulador	Presión (Bar)	Presión (psi)
Monopunto	TBI (cuerpo de aceleración)	1.37	20
Multipuerto	Depósito de combustible	2.75	40
Multipuerto	Riel de inyectores	3.45	50
Vortec	Cuerpo de inyectores	4.13	60

En el caso del sistema de inyección multipuerto con regulador de presión en el riel de inyectores, la presión de combustible siempre será constante en regímenes estacionarios de funcionamiento del motor. En estados transitorios (ver Tabla 2.2) la variación de presión en el colector de admisión durante bajos regímenes de revoluciones tira del diafrag-

ma del regulador disminuyendo la fuerza de contracción del muelle, permitiendo que más combustible regrese al depósito, mientras al abrir la mariposa de aceleración aumenta la presión en el colector, disminuye el vacío y la oposición generada por el muelle aumentará restringiendo el flujo de combustible al tanque, esto producirá el aumento en la presión del riel de combustible. La presión de combustible es dependiente de la carga del motor como se muestra en la Figura 2.7.

Tabla 2.2. Estado transitorio de la presión de alimentación de combustible

Estado	Vacío	Presión del colector	Presión de inyección
Ralentí	Alta	Baja (46 psi)	Baja (40 psi)
Plena carga	Baja	Alta (90 psi)	Alta (45 psi)

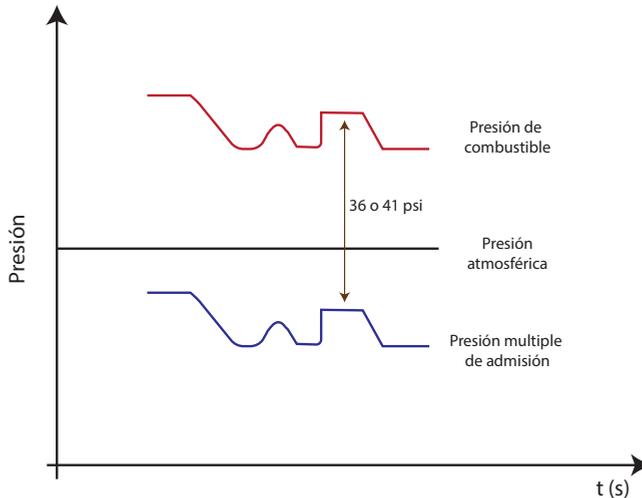


Figura 2.7. Regulador de presión de vacío [3]

Regulador de presión constante (sistema de entrega de combustible sin retorno)

El regulador de presión situado en el interior del tanque de combustible se localiza sobre la bomba (ver Figura 2.8), este tipo de regulador

mantiene una presión constante e independiente de la presión del colector de admisión, la cual está determinada por un resorte ubicado en el interior del mismo. Si el combustible impulsado por la bomba de gasolina supera la presión del resorte, el fluido regresa inmediatamente al tanque sin pasar a través de la línea de combustible. Al no existir relación del sistema con la carga del motor, el enriquecimiento de la mezcla en aceleración súbita se compensa con un mayor tiempo de apertura en el inyector.

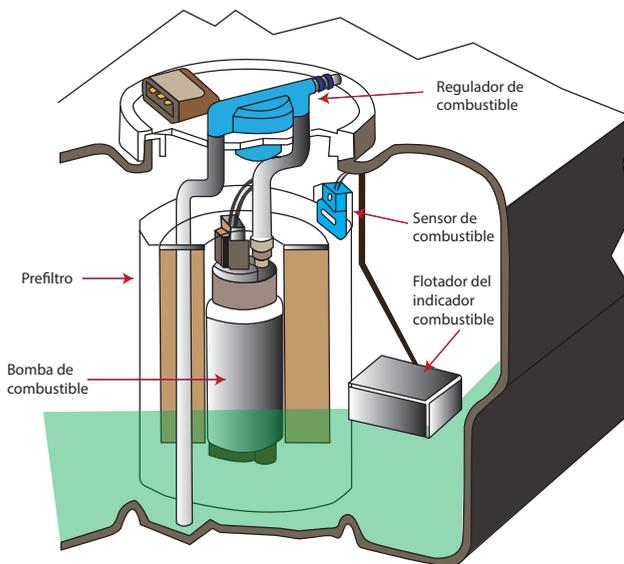


Figura 2.8. Regulador sin retorno de combustible [8]

Atenuador o amortiguador de pulsaciones

El amortiguador de pulsaciones se encuentra localizado al final del riel de inyectores y tiene por objeto suprimir los picos generados por la conmutación entre la apertura y cierre de los inyectores durante la dosificación de combustible, siendo más notorio este efecto a bajos regímenes de giro del motor [9], como se observa en la Figura 2.9.

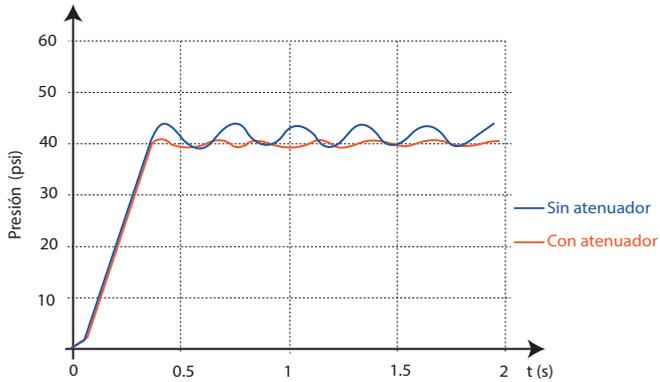


Figura 2.9. Señal del efecto de atenuación

Inyectores

Los inyectores son electroválvulas ON-OFF constituidas por una bobina, una armadura, un resorte y una válvula. Cuando una corriente eléctrica circula a través de la bobina, se induce un campo magnético que permite la apertura de la válvula (ver Figura 2.10). Los inyectores tienen dos cables, uno es de alimentación constante de 12 V y el otro es un pin de señal de activación pulsante controlado por la unidad de control la cual induce la bobina del inyector.

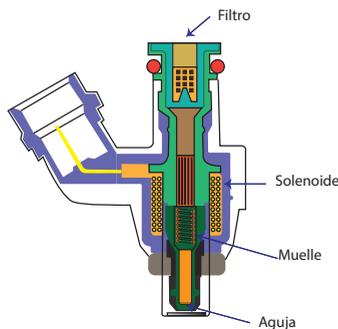


Figura 2.10. Vista seccionada de un inyector

La dosificación de combustible es dependiente del tiempo de apertura del inyector que se expresa en milisegundos (ms), al accionar el inyector por un intervalo inferior a 0.5 ms no se activa y sobre los 15 ms el cierre del inyector no puede ser controlado, como se observa en la Figura 2.11. La curva tiempo de volumen de inyección difiere entre fabricantes, pero por lo general se encuentran dentro de los siguientes valores.

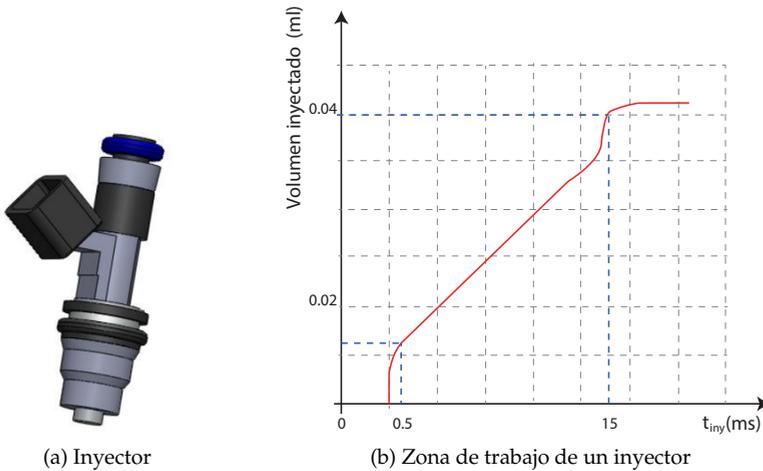
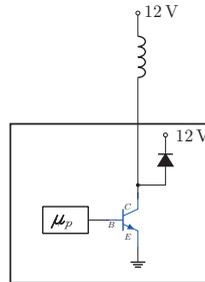


Figura 2.11. Funcionamiento de un inyector

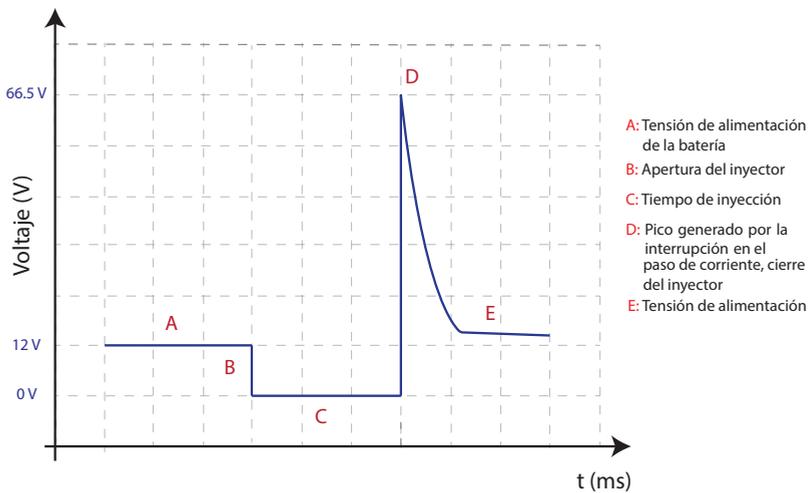
Oscilograma de inyectores

El oscilograma de un inyector permite describir las características de funcionamiento a través de la representación gráfica del voltaje frente al tiempo, como se muestra en la Figura 2.12. En la zona A puede verificarse el voltaje de alimentación, en el flanco B se observa la conmutación del transistor que produce la apertura del inyector, mientras que en el intervalo C se muestra el tiempo que el inyector permanece abierto, al que se denomina tiempo de inyección, durante este período el transistor permanece en saturación. El punto D se produce cuando el transistor pasa a la fase de corte, lo que ocasiona una autoinducción por la interrupción del paso de corriente en el bobinado, ocasionando

el cierre del inyector. El pico inductivo es atenuado por el diodo conectado en antiparalelo al inyector, como se muestra en la Figura 2.12a. Finalmente el voltaje regresa al valor de alimentación.



(a) Circuito de control del inyector



(b) Zona de trabajo de un inyector

Figura 2.12. Oscilograma de un inyector

Si el alternador entrega valores de voltajes fuera del rango (altos o bajos), los inyectores no trabajan adecuadamente sobre la dosificación de combustible, ya que el voltaje de alimentación influye sobre el tiempo de apertura real del inyector, es decir, cuando el voltaje es elevado la mezcla es enriquecida, mientras que cuando el voltaje es bajo la mezcla se empobrece.

En la Figura 2.13 se analiza la relación entre la corriente de alimentación y el tiempo de apertura del inyector. La inductancia del bobinado genera un retraso a la apertura al inyector que se produce cuando alcanza el 63.4 % del valor de la intensidad máxima, el voltaje es proporcional a la intensidad, es decir ambos aumentan o disminuyen en función del voltaje. En la Tabla 2.3 se resume el comportamiento de la corriente en cada punto del oscilograma del inyector y su relación con el dosado de la mezcla.

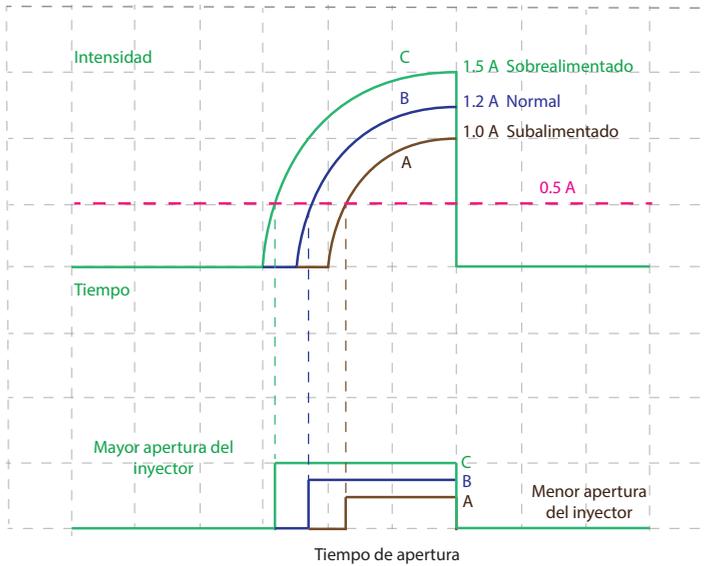


Figura 2.13. Relación alimentación-tiempo de apertura de un inyector.

Tabla 2.3. Relación intensidad-mezcla

Punto	Intensidad	Descripción	Mezcla
A	Disminuye	Intensidad disminuye, tiempo de inyección disminuye	Pobre
B	Normal	Intensidad normal, tiempo de inyección normal	Estequiometrica
C	Aumenta	Intensidad aumenta, tiempo de inyección aumenta	Rica

Para poder estimar la corriente que circula por un inyector se puede hacer uso de la ecuación 2.1.

$$I = \left(\frac{\frac{1}{R}}{\frac{L}{R} \cdot s + 1} \right) V \quad (2.1)$$

Donde:

- I = corriente eléctrica
- R = resistencia
- s = sección del núcleo
- V = voltaje
- $\frac{L}{R}$ = constante de tiempo del inyector

Mantenimiento de los inyectores

Por los inyectores fluye constantemente combustible, pero partículas de dimensiones reducidas atraviesan los filtros previos de la línea de alimentación, por lo cual estos tienden a acumular impurezas en su boquilla, para remover los contaminantes se emplean técnicas comunes de limpieza como: diálisis y lavado por ultrasonido.

- **Diálisis:** este método consiste en reemplazar el combustible del motor por un solvente cuyo objetivo es disolver las impurezas acumuladas en la tobera del inyector; por lo que no es recomendable debido a que al aplicar el solvente se puede reducir drásticamente las propiedades del aceite del motor, además, de eliminar la carbonilla alojada en la cabeza del pistón. Por otro lado, las partículas desprendidas por el inyector pueden adherirse a las paredes del cilindro y los asientos de las válvulas, disminuyendo la hermeticidad en los cilindros.
- **Lavado por ultrasonido:** esta técnica consiste en retirar los inyectores de la riel y exponerlos a un lavado sobre una batea de acero inoxidable con líquido limpiador de base alcalina por 15 minutos aproximadamente. La onda de ultrasonido generada por un transductor piezoeléctrico elimina los residuos alojados en el inyector. Posteriormente se colocan en un banco de pruebas para

determinar el volumen inyectado por cada inyector y comprobar que no exista una diferencia superior al 5 % entre inyectores, algunos fabricantes recomiendan esta limpieza cada 50.000 kilómetros (ver Figura 2.14).

Ultrasonido

El ultrasonido genera ondas de entre 43-47 kHz que causan cavitación y producen implosiones que desintegran las impurezas del inyector.

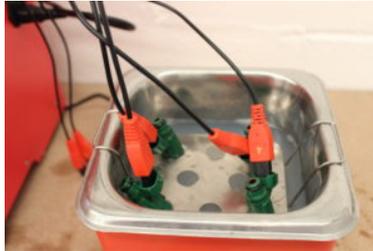


Figura 2.14. Limpieza por ultrasonido de los inyectores

2.2. Sistema de aspiración de aire

El sistema de admisión de aire está integrado por un filtro que impide el ingreso de impurezas al interior del motor y evita que este se desgaste por abrasión [4]. Además, de un colector de admisión que distribuye aire adecuadamente a cada uno de los cilindros y asegura la mayor cantidad de mezcla aire-combustible posible en el motor [5]. El colector está compuesto por un plenum que almacena aire en condiciones estables, un cuerpo de aceleración que regula el ingreso de aire al motor y unos conductos que dirigen el aire a cada cilindro como se puede distinguir en la Figura 2.15. Los conductos deben ofrecer poca resistencia al flujo de aire y no pueden ser rugosos debido a que el combustible pulverizado por los inyectores en el colector no se encuentra totalmente evaporado y parte de este se condensa formando una fina película en las paredes de los conductos [6].

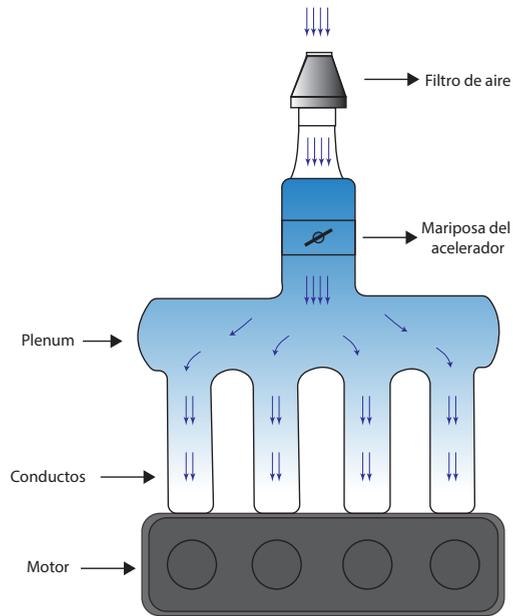


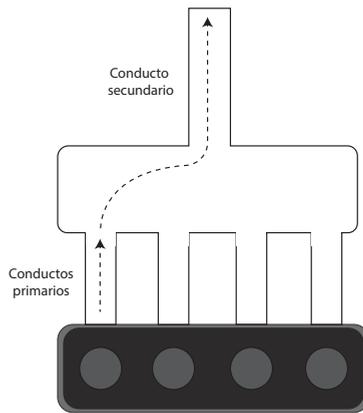
Figura 2.15. Sistema de admisión de aire

2.2.1. Geometría de colectores de admisión

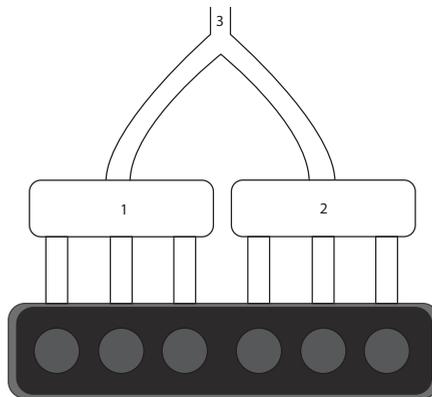
Durante el ciclo de admisión al aspirarse el aire al interior del cilindro, el motor genera una onda de rarefacción (onda depresiva) que se propaga a lo largo de los conductos hasta ser reflejada en alguna discontinuidad, esta onda se propaga a través del conducto primario hasta su extremidad, entonces, la onda de presión viaja hacia la válvula de admisión y puede llegar antes que la válvula se cierre produciendo un aumento en la presión debido a la superposición de las ondas [7]. El efecto entre las ondas incidente y reflejada es utilizado para conseguir un mejor llenado de los cilindros.

Para un motor con varios cilindros, es necesario unir todos los conductos de admisión (conductos primarios) a un colector o tubo común (conducto secundario). Para este tipo de colectores el parámetro más importante es el volumen, que determina la amplitud de onda reflejada. Con un volumen de varias veces la cilindrada del motor se puede

producir una reflexión importante, pero al aumentar el número de cilindros (motores de más de 5 cilindros), se incrementa la interferencia entre ondas debido a un importante solape en las carreras de admisión, por lo cual es difícil sintonizar las ondas y optimizar el efecto de la resonancia. En los motores de más de 5 cilindros, es habitual dividir el colector en dos partes para reducir la interferencia entre ondas y conseguir presiones importantes que aumenten el rendimiento volumétrico del motor como se puede ver en la Figura 2.16.



(a) Esquema de un colector 4-1



(b) Presión en las ramas de un colector 6-2-1

Figura 2.16. Tipos de colectores de admisión

2.2.2. Colectores de geometría variable.

Los colectores de geometría variable son usados para mejorar el llenado de los cilindros independientemente del régimen de giro del motor. Los colectores fijos entregan pares elevados a velocidades de giro bajas y potencias altas a regímenes de giro elevados, por lo cual son ineficientes en muchas zonas de trabajo [5].

Los colectores variables entregan flujo másico en función de las condiciones de trabajo del motor, usando conductos largos para situaciones de bajo régimen de giro (mayor tiempo para aprovechar el fenómeno de resonancia) y conductos cortos para regímenes altos, como se muestra en la Figura 2.17. Algunos fabricantes de vehículos optan por variar las secciones de los conductos, usando áreas transversales reducidas que aceleran el paso de aire en condiciones bajas de régimen de giro y para altos regímenes de giro se disponen de grandes secciones que disminuyen las pérdidas de carga en el llenado.

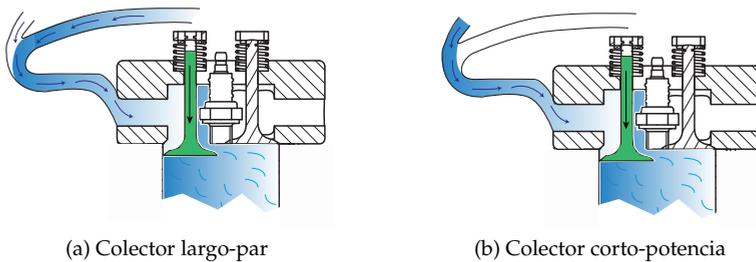


Figura 2.17. Colector de geometría variable

2.3. Central de control electrónica

2.3.1. Principio de funcionamiento de la ECU.

La introducción de la electrónica en la industria automotriz ha generado grandes avances en ahorro de combustible y eficiencia energética del motor, para este fin se han implementado diferentes recursos co-

mo sensores y actuadores que trabajan con señales eléctricas analógicas y digitales, razón por la cual se necesita de una unidad de electrónica de control (ECU) capaz de recibir las señales transmitidas por los sensores, procesar la información de acuerdo a un algoritmo cargado en su memoria interna y controlar los actuadores mediante bucles abiertos o cerrados de acuerdo a los requerimientos del motor [8].

2.3.2. Funciones de los bloques de la central de control electrónica

Bloque de entrada

Es el encargado de acondicionar las señales provenientes de los sensores previo al envío de información al bloque de procesamiento. Existen circuitos que limitan el voltaje de las señales de entrada a la unidad de control, además, de etapas de filtrado que remueven las posibles interferencias que las señales puedan contener. En otros casos las señales son amplificadas hasta voltajes requeridos por el microcontrolador (0-5 V), debido a que la unidad de procesamiento trabaja solo con señales digitales como se visualiza en la Figura 2.18.

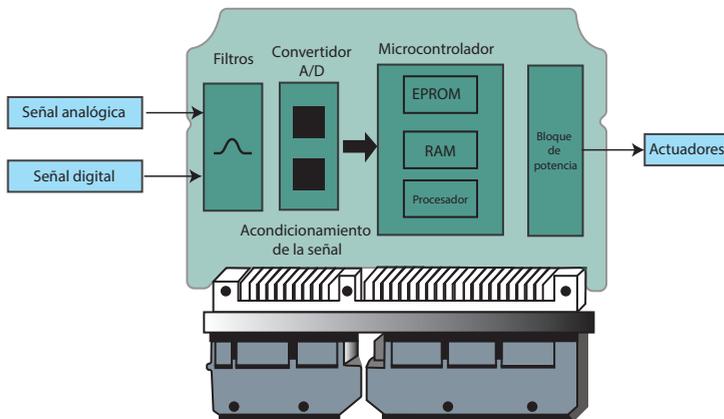


Figura 2.18. Procesamiento ECU

- **Filtro pasa bajo:** este filtro atenúa las señales cuya frecuencia es superior a un umbral denominado frecuencia de corte como se observa en la Figura 2.19.

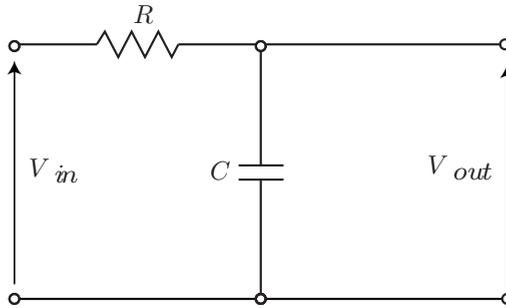


Figura 2.19. Filtro pasa bajo

- **Filtro pasa alto:** este filtro atenúa las señales cuya frecuencia es inferior a la frecuencia de corte como se visualiza en la Figura 2.20.

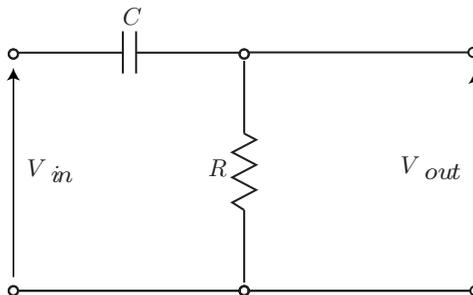


Figura 2.20. Filtro pasa alto

- **Filtro pasa banda:** este filtro permite el paso únicamente de las señales cuya frecuencia se encuentra comprendida entre dos frecuencias de corte. El diagrama de su representación se observa en la Figura 2.21

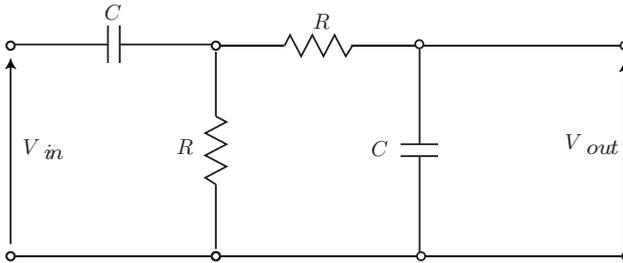


Figura 2.21. Filtro pasa banda

- Filtro supresor de banda:** este filtro atenúa las señales cuya frecuencia se encuentra comprendida entre dos frecuencias de corte como se ve en la Figura 2.22.

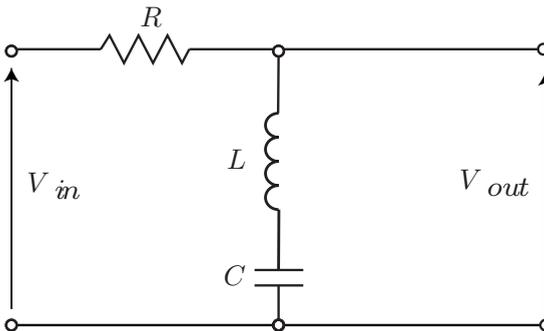


Figura 2.22. Filtro supresor de banda

Señales analógicas:

Presentan una señal de voltaje variable y continua dentro de un rango, como por ejemplo, la presión en el colector de admisión, la temperatura del refrigerante motor, etc. Estas señales necesitan pasar por un convertidor analógico/digital (A/D) para que puedan ser utilizadas por la unidad de control.

Señales digitales:

Son señales que se caracterizan por tener dos estados lógicos, conocidos como alto (1) y bajo (0). Sensores de efecto Hall generan este tipo de señales y no requieren una etapa de conversión.

Convertidor analógico/digital (A/D)

Las señales provenientes de la etapa de filtrado no pueden ser interpretadas por el microprocesador, por lo que las señales de los sensores que son análogas deben ser convertidas a digitales, esto se consigue a través de un conversor analógico digital, que es un dispositivo electrónico que se encarga de convertir una señal analógica de voltaje o intensidad a una señal digital a través de una codificación mediante código binario, utilizando microtransistores (etapa de corte/saturación). Por lo general, se utilizan convertidores de 8 bits como se ve en la Figura 2.23.

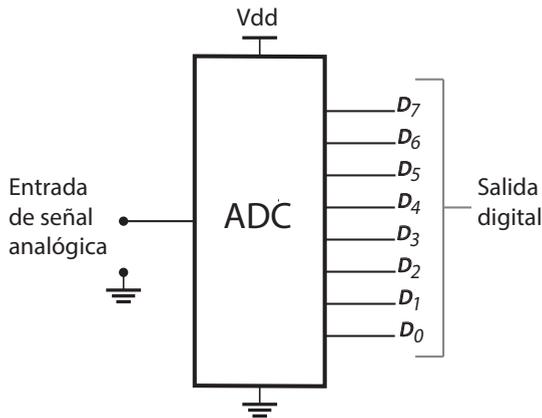


Figura 2.23. Convertidor analógico/digital

Multiplexor:

Son circuitos combinados con varias entradas y una única salida de datos. Es capaz de seleccionar una sola entrada de datos para la trans-

misión desde la entrada seleccionada hasta la salida. Su principal uso es el de reducir el uso de recursos.

Bloque de procesamiento

La ECU controla todas las funciones de gestión del motor, las señales recibidas por el bloque de entrada bien sea por los sensores o la red CAN sirven como parámetros iniciales para ejecutar los algoritmos almacenados en el microcontrolador. Para el proceso se ejecutan funciones de comprobación y respaldo de los datos para finalmente calcular y controlar los actuadores. El microcontrolador es la parte central de la unidad de control, no solo recibe las señales del bloque de entrada y ejecuta las salidas también cuenta en su interior con varios tipos de memorias como se describe a continuación:

- **ROM (Read Only Memory):** es una memoria que contiene información permanente adquirida durante el proceso de manufactura, por lo cual es inalterable. Aquí se almacenan los algoritmos de funcionamiento del sistema, los mapas de activación de actuadores como también las curvas características de los sensores.
- **EPROM (Erase Programmable ROM):** en ella se almacenan valores característicos del vehículo, como el peso y la cilindrada del motor, entre otros. Este tipo de memoria puede ser borrada al exponer el dispositivo a luz ultravioleta, la información nueva puede ser colocada a través de un conector o el BUS de datos. La información contenida no se altera durante el funcionamiento del vehículo.
- **RAM (Random Access Memory):** es una memoria de lectura y escritura de información, imprescindible para realizar los cálculos complejos del microcontrolador, se encuentra conectada permanentemente a la ECU mediante un BUS de datos, una vez que el motor se apaga la memoria RAM se borra, pero en el siguiente encendido puede adquirir la información de la unidad de control.
- **KAM (Keep Alive Memory):** la memoria KAM se relaciona con la memoria RAM y su función es la de guardar los datos de diag-

nóstico que no se pueden perder al cerrar el contacto, por ejemplo, los códigos de fallas aleatorias de sensores, a diferencia de la memoria RAM, la KAM no se borra al cerrar el contacto, pero si se borra al desconectar la batería.

Bloque de potencia

Tras el procesamiento de información por el microcontrolador (μp), se necesita activar los diferentes actuadores, grandes consumidores de potencia, por lo que se necesita usar *drivers* o transistores como elementos amplificadores para controlar estos dispositivos como se observa en la Figura 2.24.

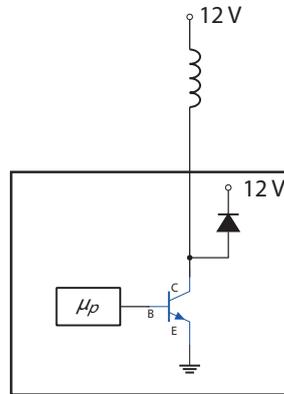


Figura 2.24. Esquema típico de la etapa de amplificación en el bloque de salida

2.4. Sensores usados en los sistemas de inyección

Todas las señales en el mundo real son de tipo analógicas por lo cual los sensores son elementos usados para convertir fenómenos físicos, químicos, ópticos en fenómenos eléctricos, que pueden ser usadas y entendidas por un ordenador previo a procesos de filtrado y digitalización de señales, con el fin de calcular las variables necesarias para

el funcionamiento de los sistemas en el automóvil. Los sensores automotrices deben ser robustos y tolerar temperaturas entre los -40°C y 140°C , impermeabilidad a los fluidos, resistentes a combustibles, lubricantes y vibraciones [1].

Transductores { **Sensores** → transforma una magnitud física (temperatura, posición, caudal, etc.) en una señal eléctrica.
Actuadores → convierte una señal eléctrica una magnitud física.

Una representación visual de las etapas de sensado, procesamiento y actuación se puede visualizar en la Figura 2.25.

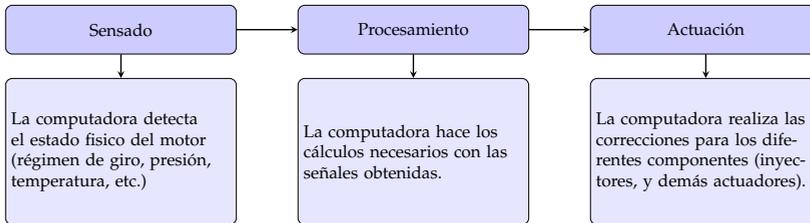


Figura 2.25. Orden lógico del tratamiento y adquisición de señales

2.4.1. Sensor de posición del cigüeñal o CKP (Crankshaft Position Sensor)

El sensor de posición del cigüeñal CKP está localizado en el bloque de cilindros próximo a una rueda dentada solidaria al eje del cigüeñal, este sensor es de tipo inductivo y permite determinar la posición del cigüeñal, utilizando el principio de inductancia magnética para generar una onda de corriente alterna. Se encuentra compuesto por una rueda dentada (rueda fónica) solidaria al cigüeñal de 60 dientes (dos dientes son retirados de la rueda) por lo general, $58 + 2$ para determinar el tiempo de encendido. El sensor dispone de dos cables, un terminal corresponde a la tierra y el otro a la señal del sensor, tiene un mallado exterior que actúa como una jaula de Faraday que elimina las interferencias permitiendo conseguir una onda estable, como se puede ver en la Figura 2.26.

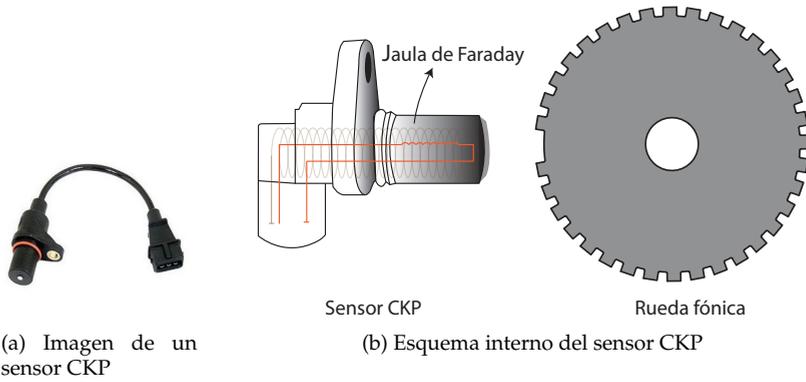


Figura 2.26. Sensor CKP

Debido al principio de inducción este sensor no necesita una señal de alimentación, por lo que se genera una onda como la que se muestra en la Figura 2.27. Con la señal analógica obtenida se puede encontrar la velocidad de giro del cigüeñal al aplicar la derivada de la posición en función del tiempo se puede encontrar la aceleración.



Figura 2.27. Oscilograma señal del CKP

2.4.2. Sensor de posición del árbol de levas o CMP (Camshaft Position Sensor)

Este sensor detecta la posición del árbol de levas y determina el instante en el cual el primer cilindro se encuentra en compresión muy cerca del PMS. En el árbol de levas se dispone de un nodo metálico magnético captado por el sensor mediante el efecto HALL. Una representación del sensor se puede ver en la Figura 2.28.



Figura 2.28. Sensor CMP

La Figura 2.29 muestra la sincronización de las señales de los sensores CMP y CKP para una rueda fónica 58+2 dientes, donde el punto muerto superior del pistón número 1 es identificado por una onda cuadrada suministrada por el sensor CMP.

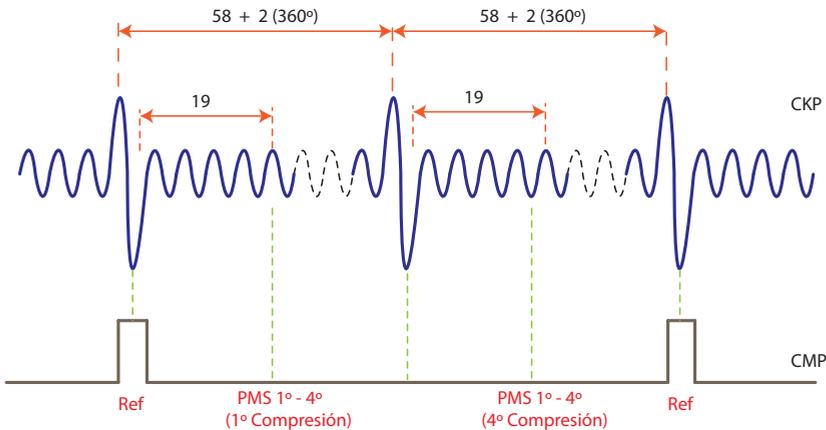


Figura 2.29. Oscilograma de la señal del sensor CMP con respecto a la posición del pistón

La computadora al detectar el diente con mayor grosor realiza un conteo de diecinueve dientes para determinar la ubicación del PMS, cada diente se encuentra separado por 6° (ver Figura 2.30). En el diente dieciséis se produce el adelanto al salto de la chispa de 18° , mientras que para un adelanto de 24° se cuentan catorce dientes.

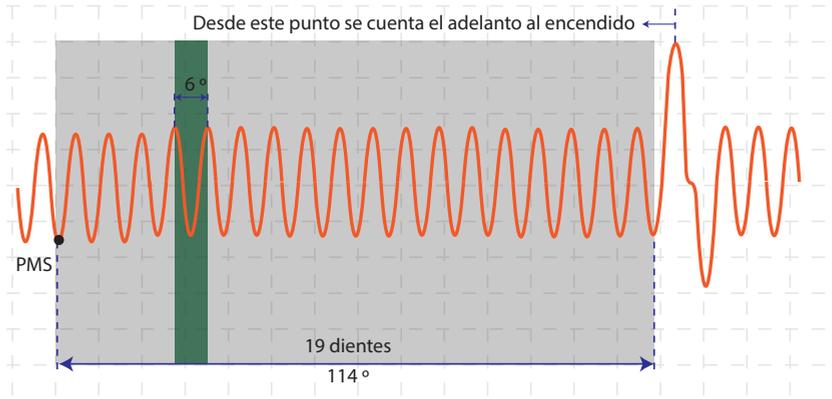


Figura 2.30. Oscilograma señal del CKP, conteo de dientes

El sensor CKP determina la posición angular del cigüeñal respecto al tiempo, su derivada proporciona el régimen de giro y su segunda derivada la aceleración, mientras la señal del sensor CMP indica únicamente que el pistón del primer cilindro está próximo al PMS en compresión como se muestra en la Figura 2.31a. En un osciloscopio se puede observar la sincronización de las dos señales siendo un defecto que estas dos se encuentren desplazadas en el tiempo.

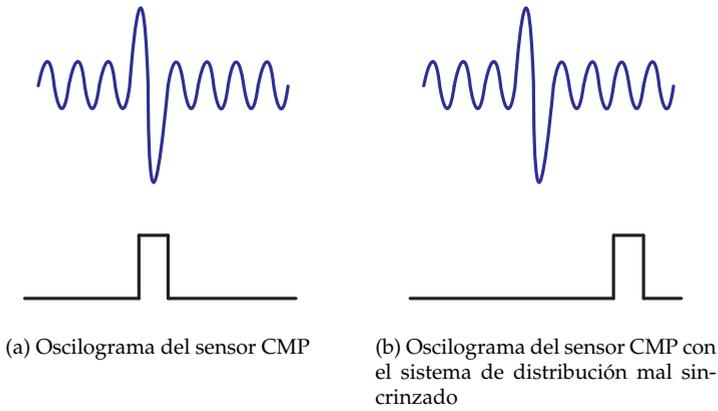


Figura 2.31. Sincronización entre sensores CMP y CKP

2.4.3. Sensor de efecto Hall

Es utilizado para determinar la posición del árbol de levas y cigüeñal, consta de una placa de silicio que corta las líneas de campo magnético e induce corriente que luego será amplificada mediante transistores como se visualiza en la Figura 2.32.

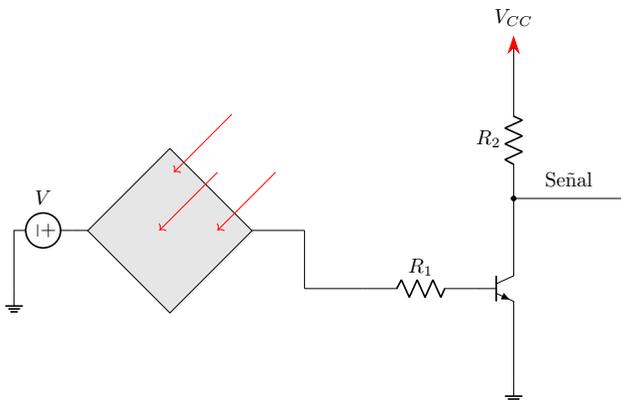


Figura 2.32. Circuito del sensor tipo Hall

En la Figura 2.33 se visualiza la onda cuadrada generada por un

sensor de efecto Hall y cómo la etapa de filtración realizada por la ECU es indispensable.

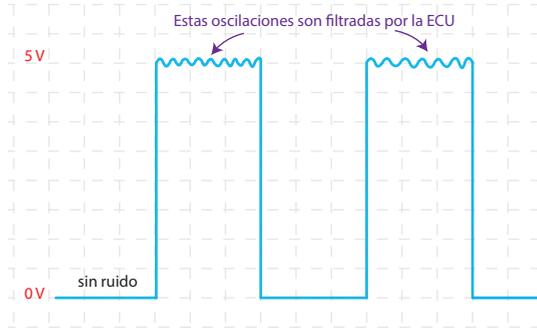


Figura 2.33. Oscilograma del ruido generado en un sensor tipo Hall

Ventajas:

- La amplitud de la señal no varía con el régimen.
- La señal generada es digital por lo que no requiere procesamiento de la misma.
- El ruido inducido es mínimo.
- La señal se genera a cualquier velocidad de giro.

Este sensor tiene tres terminales: voltaje de alimentación, masa y señal, los valores de referencia de cada terminal dependen del fabricante, pero valores comunes se pueden observar en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Configuración de un sensor de efecto Hall en función de su alimentación y señal de salida generada

Configuración	Vcc	⊥	Señal
1	5V	0V	5V
2	12V	0V	5V
3	12V	0V	12V

Sensor CAS (Crank Angle & TDC Optical Sensor)

Es un fototransistor que requiere intensidad lumínica para funcionar. El sensor de posición del árbol de levas capta el instante cuando el primer cilindro se encuentra en el PMS en la etapa de compresión y envía una señal a la ECU que cambia de estado alto a bajo o viceversa. El sensor CMP incorporado en el mismo sistema utiliza el efecto Hall y se polariza mediante varias aberturas dispuestas en la rueda fónica, como se observa en la Figura 2.34.

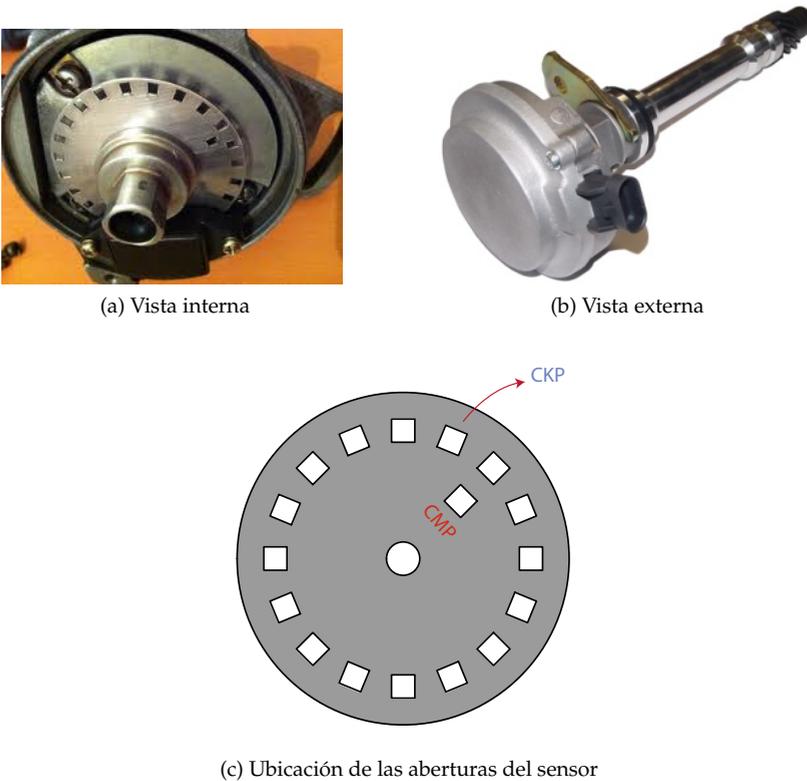


Figura 2.34. Sensor CAS

El sensor del ángulo del cigüeñal detecta la posición angular de cada cilindro y la transforma en señales de impulsos que sirven como datos de entrada a la ECU. En base a estas señales, la unidad de control cal-

cula la velocidad de giro del motor y ajusta el tiempo de inyección del combustible como el adelanto al encendido. Un esquema representativo del sistema se observa en la Figura 2.35.

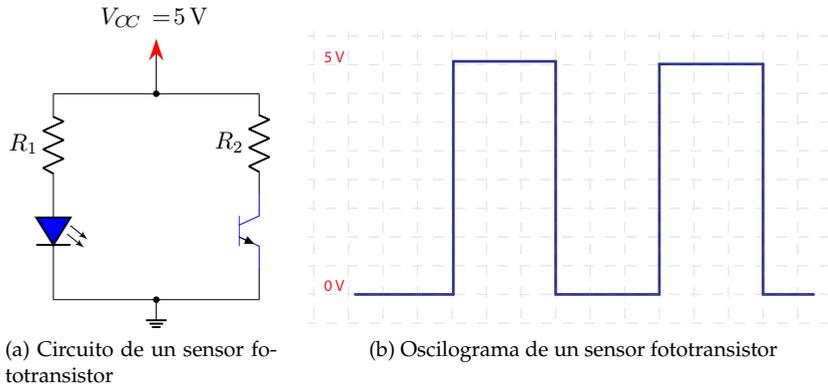


Figura 2.35. Sensor óptico

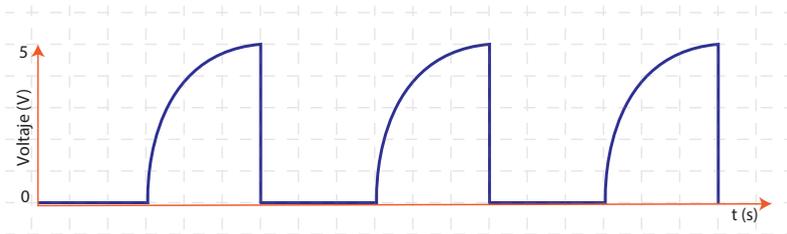
El sensor óptico posee tres cables: alimentación, salida y tierra, se encuentra por lo general ubicado dentro del distribuidor y debe estar aislado de la luz externa.

2.4.4. Sensor de velocidad del vehículo o VSS (Vehicle Speed Sensor)

El sensor de velocidad del vehículo (VSS) se encuentra situado en la caja de cambios (es de tipo Hall), genera ondas proporcionales a la velocidad del vehículo. El VSS permite a la unidad de control determinar la velocidad del vehículo y reconocer si se encuentra en movimiento o reposo. El PCM utiliza esta señal para controlar el combustible, cantidad de inyección, tiempo de ignición y la relación de transmisión (ver Figura 2.36).



(a) Imagen de un sensor de velocidad



(b) Oscilograma de un sensor VSS

Figura 2.36. Sensor VSS

2.4.5. Sensor de posición del acelerador o TPS (Throttle Position Sensor)

El sensor de posición del acelerador (TPS) se encuentra unido al cuerpo de aceleración y permite medir el ángulo de apertura de la válvula de aceleración. El TPS es un sensor de resistencia eléctrica variable cuyo valor depende de la posición de la válvula de la mariposa. La señal de salida del TPS oscila de 0.3 ~ 0.9 V cuando la aleta de estrangulación esta cerrada, y de 4 ~ 4.8 V cuando la válvula permanece totalmente abierta. La PCM utiliza el sensor MAP y TPS para: identificar cuando el motor se encuentra en ralentí, medir la carga parcial del motor en aceleración o desaceleración, calcular la cantidad de inyección de combustible y tiempo de encendido. En la Figura 2.37 se puede visualizar una representación real y esquemática del sensor.

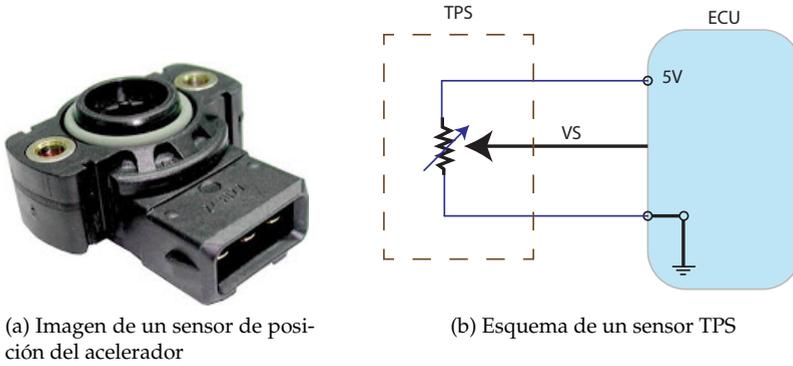


Figura 2.37. Sensor TPS

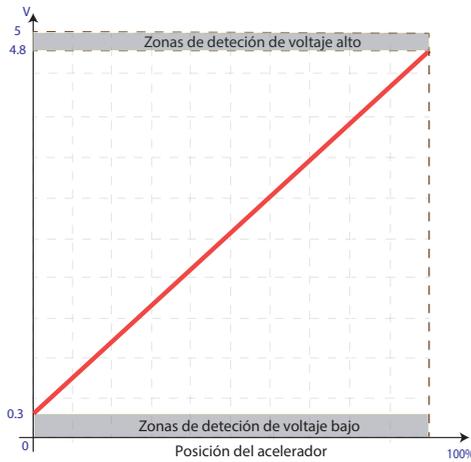


Figura 2.38. Diagrama de la señal de salida del sensor TPS

$0.3 \text{ V} \rightarrow 0\%$ $4.8 \text{ V} \rightarrow 100\%$	Datos correctos	$0 \text{ V} \rightarrow 0\%$ $5 \text{ V} \rightarrow 100\%$	Se detecta como un error
----------------------------------------------------------------------	------------------------	------------------------------------------------------------------	---------------------------------

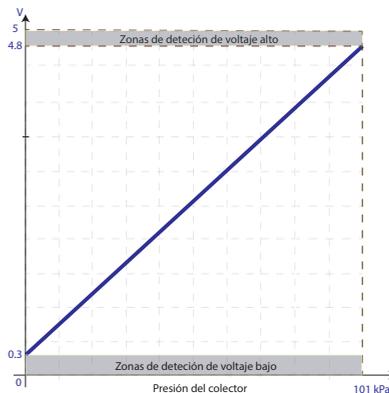
La Figura 2.38 se representa la señal del sensor en función del porcentaje de apertura y voltaje esperado.

2.4.6. Sensor de presión absoluta o MAP (Manifold Absolute Pressure)

El sensor de presión absoluta se encuentra ubicado en el colector de admisión, el voltaje de su señal es directamente proporcional a la presión, esto significa que para presiones absolutas bajas se obtendrán valores bajos de voltaje, y para valores altos de presión se obtienen voltajes mayores. La lectura del MAP es importante para determinar la carga del motor y por intermedio de este valor de presión predecir la masa de aire que está ingresando al cilindro. Con este valor la unidad de control calcula el tiempo de inyección de combustible como se ve en la Figura 2.39. El valor máximo de presión absoluta que mide el sensor MAP es de una atmósfera, aproximadamente un bar, pero en vehículos turbo alimentados se obtienen medidas de hasta 2 bar o más.



(a) Imagen del sensor MAP



(b) Diagrama de la señal de salida del sensor MAP

Figura 2.39. Sensor MAP

2.4.7. Sensor de detonación o KS (Knock Sensor)

El sensor KS es un dispositivo utilizado en los sistemas de inyección de los motores, encargado de detectar la auto detonación del combustible en la cámara de combustión, tal fenómeno es conocido como pistoneo o cascabeleo. Su funcionamiento se basa en el principio piezoeléctrico, donde la resistencia eléctrica varía en función de la presión. Este sensor se ubica en el centro acústico del bloque motor, donde la captación de las vibraciones en el bloque motor son consecuencia de los cambios repentinos en el número de revoluciones, provocados por la auto ignición del combustible en los cilindros. El sensor KS capta estas vibraciones y genera una tensión de salida que es procesada por la unidad de control del motor con la finalidad de retardar o adelantar el tiempo de ignición, como se observa en la Figura 2.40.

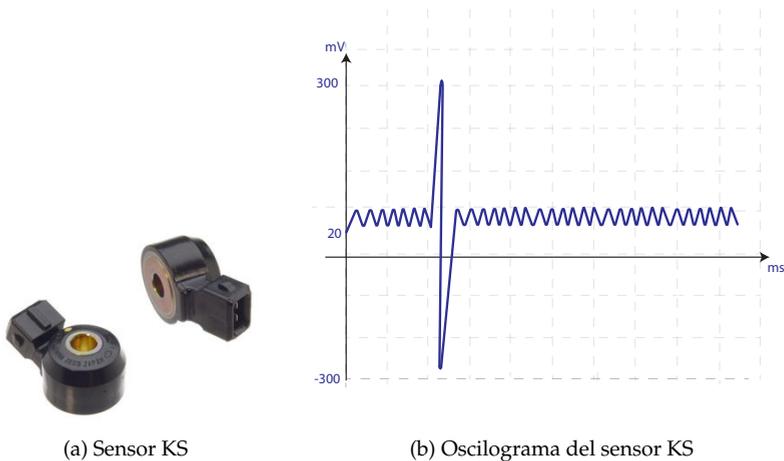


Figura 2.40. Sensor de detonación

La Figura 2.41 muestra un oscilograma representado por el comportamiento del sensor de detonación en un motor. En los primeros tres intervalos de la señal, se observa una combustión controlada, conocida como deflagración, donde la amplitud de la onda es relativamente estable. Sin embargo, en la última etapa de la señal, se aprecia un incremento significativo en la amplitud de la onda, lo que indica la presencia

de una detonación en uno de los cilindros del motor. La detonación es un fenómeno de una combustión no controlada producido por varios frentes de onda en la cámara de combustión.

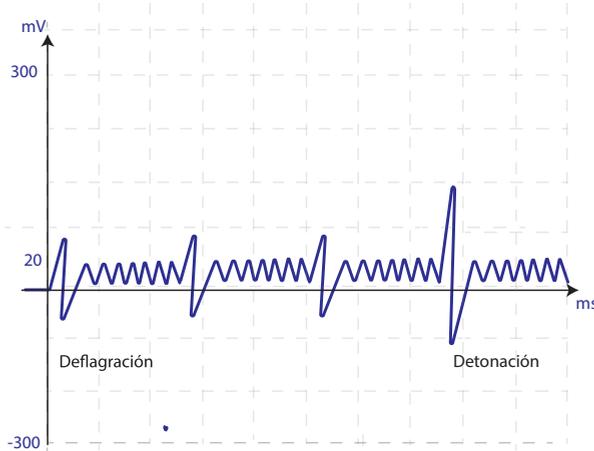


Figura 2.41. Oscilograma de deflagración y detonación del sensor KS

2.4.8. Sensor de temperatura del refrigerante del motor o ECT (Engine Coolant Temperature)

El sensor de temperatura del refrigerante es de tipo NTC, detecta la temperatura del refrigerante del motor, y emite una señal eléctrica que es usada como dato de entrada de la unidad de control para aumentar o disminuir la cantidad de combustible y controlar la activación y desactivación del ventilador. La representación física del sensor se puede ver en la Figura 2.42.



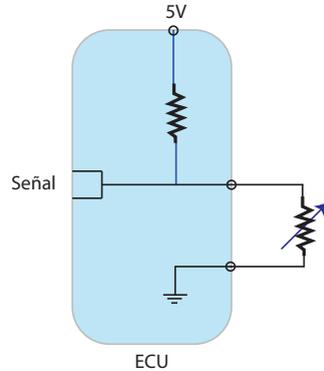
Figura 2.42. Sensor ECT [4]

2.4.9. Sensor de temperatura del aire de admisión o IAT (Intake Air Temperature)

Es un sensor de tipo NTC ubicado a la entrada del colector de admisión, de funcionamiento similar al sensor ECT, se compone de un termistor que tiene una resistencia variable a los cambios de temperatura del aire en la admisión. La resistencia es inversamente proporcional a la temperatura, esta señal es utilizada por la unidad de control para ajustar la cantidad de combustible inyectada y ajustes en el sistema de ignición (ver Figura 2.43).



(a) Imagen sensor IAT [4]



(b) Circuito del sensor IATS

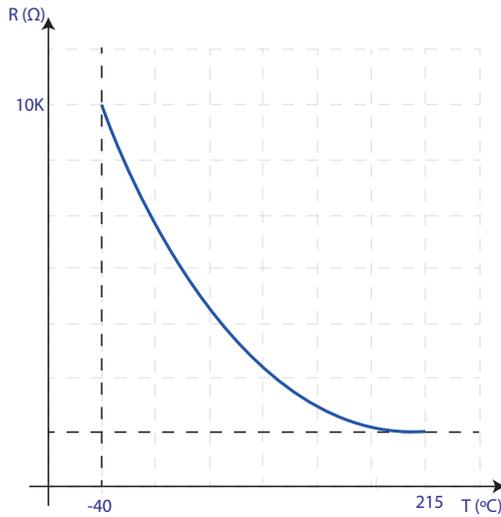
Figura 2.43. Sensor IAT

2.4.10. Sensor de temperatura del aceite o OTS (Oil Temperature Sensor)

El sensor OTS es un termo resistor de tipo NTC montado en las cercanías del sistema de lubricación, este sensor utiliza un termistor cuyos valores de resistencia están determinados por los cambios en la temperatura del aceite como se puede observar en la Figura 2.44.



(a) Imagen sensor OTS



(b) Diagrama del sensor OTS

Figura 2.44. Sensor OTS

2.4.11. Sensores de temperatura

Los parámetros de funcionamiento del motor dependen de condiciones atmosféricas como la temperatura, por lo cual los motores de encendido provocado están dotados de un sensor de temperatura del aire situado en el colector de admisión usado para calcular el tiempo de inyección y otro sensor ubicado en el bloque del motor usado para correcciones de combustible en condiciones de arranque en frío.

Partidor de tensión

Es el circuito base utilizado en el interior de los sensores de temperatura como el mostrado en la Figura 2.45, son sensores termo-resistentes, es decir, su resistencia varía en función de la temperatura.

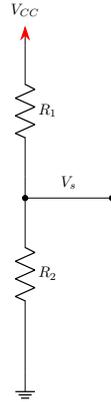


Figura 2.45. Circuito de un partidor de tensión

Si suponemos que R_1 es constante, y su valor es mayor que R_2 , se obtiene una variación de voltaje. La relación entre el voltaje y la temperatura es aproximadamente lineal. Para valores bajos de temperatura, el voltaje resultante es bajo como se expresa en la ecuación 2.2.

$$V_s = \frac{5V \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.2)$$

Sensor NTC (coeficiente negativo de temperatura)

La resistencia eléctrica de los sensores de coeficiente negativo de temperatura (NTC) es inversamente proporcional a la temperatura, por lo tanto, al aumentar la temperatura disminuye la resistencia, como se puede ver en la Figura 2.47 [3]. Asimismo, a menor temperatura aumenta el tiempo de inyección como se ve en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Relación temperatura-tiempo de inyección

Temperatura	Tiempo de inyección
-10 °C	12 ms
0 °C	10 ms
50 °C	5 ms
80 °C	3 ms



Figura 2.46. Sensor NTC

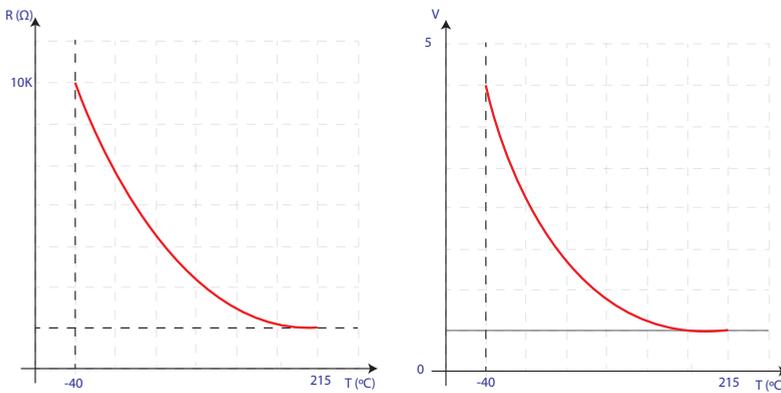


Figura 2.47. Diagrama voltaje-resistencia-temperatura NTC

¿Por qué utilizar un sensor NTC? Mientras más baja sea la temperatura, más alto es el voltaje y por ende el tiempo de inyección se incrementa para aumentar la temperatura de funcionamiento del motor.

2.4.12. Sensor de flujo másico de aire o MAF (Mass Air Flow Sensor)

Este sensor mide el flujo másico (\dot{m}) que atraviesa el sistema de admisión y dependiendo del fabricante se pueden encontrar tres tipos: hilo caliente, película caliente y Karman Vortex.



Figura 2.48. Diferentes tipos de sensores MAF

MAF: hilo caliente

El sensor MAF de hilo caliente, se encuentra ubicado después del depurador como se observa en la Figura 2.49. La intensidad de corriente de un filamento fabricado de platino varía de acuerdo al flujo de aire que pasa a través del conducto, una disminución en la temperatura del hilo causara un aumento en la corriente para mantener la temperatura constante del filamento (aproximadamente 300 °C), con este cambio en corriente la unidad de control determina cuanta masa por unidad de tiempo ingresa al cilindro, es común que el sensor IAT se encuentre incorporado dentro del mismo componente.

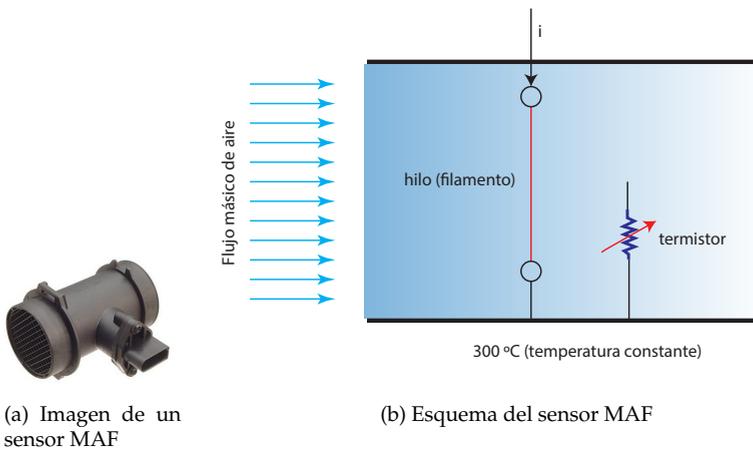


Figura 2.49. Sensor MAF

La Figura 2.50 muestra esquemáticamente un ajuste de curva que predice la variación de flujo másico en función de la intensidad de corriente.

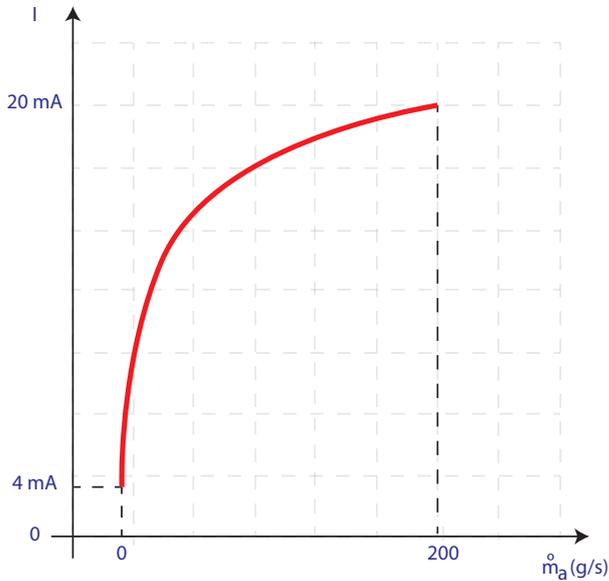


Figura 2.50. Diagrama señal sensor

Al apagar el vehículo la temperatura del hilo aumenta a 800 °C aproximadamente para auto limpiarse, pero esto no es suficiente, el mantenimiento del sistema debe complementarse con un adecuado control y cambio periódico del filtro de aire.

MAF: película caliente

Este sensor tiene un funcionamiento similar al descrito anteriormente, la diferencia radica en que la celda no mide intensidad sino voltaje, está situado entre el filtro de aire y el cuerpo del acelerador para medir la cantidad de aire inducido en el motor. Típicamente mide la cantidad de aire que ingresa por el vórtice generado por el flujo de aire, una gran

cantidad de afluencia de aire significa que el motor está en aceleración o carga pesada, y un caudal bajo de aire significa que el motor está en reposo o en desaceleración. En base a estas señales, el módulo de control del motor ajusta la cantidad de combustible que se inyecta para una proporción ideal de aire y combustible controlando el tiempo de ignición para mejorar la respuesta del motor, como se visualiza en la Figura 2.51.

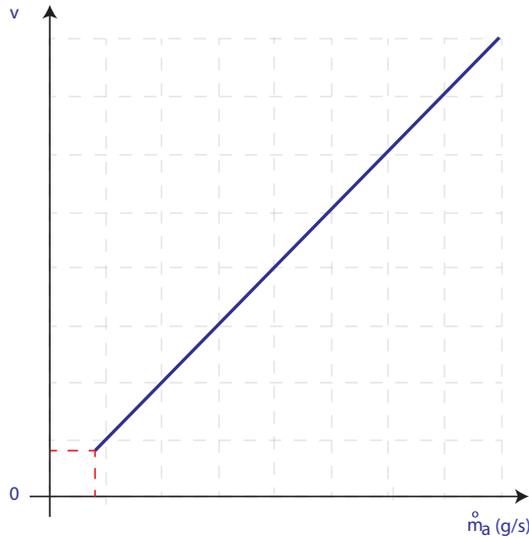


Figura 2.51. Sensor MAF película caliente

MAF: Karman Vortex

Este sensor se compone de un emisor y un receptor ultrasónico, para valores bajos de gasto másico de aire se obtiene una señal digital de baja frecuencia y a medida que aumenta el flujo de aire la frecuencia es incrementada. La unidad de control interpreta los valores de frecuencia mas no los de amplitud (valores de amplitud entre 1.5 V a 5 V) como se observa en la Figura 2.52.

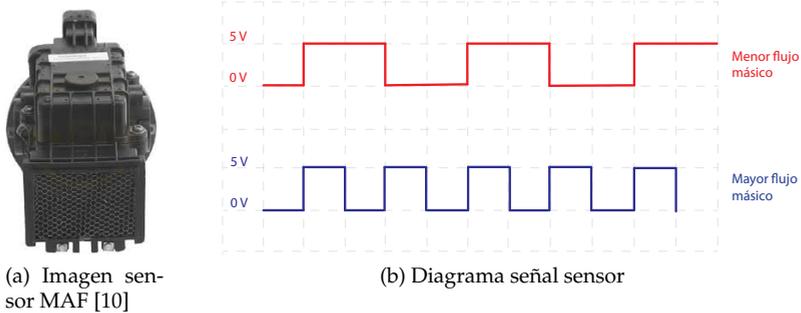


Figura 2.52. Sensor Karman Vortex

En la Figura 2.53 se observa el principio de funcionamiento del sensor, donde el flujo de aire al circular por la admisión crea vórtices denominados Karman. Estos vórtices son detectados por sensores ópticos o ultrasónicos que estiman la frecuencia de los vórtices, la cual es proporcional a la velocidad del flujo de aire.

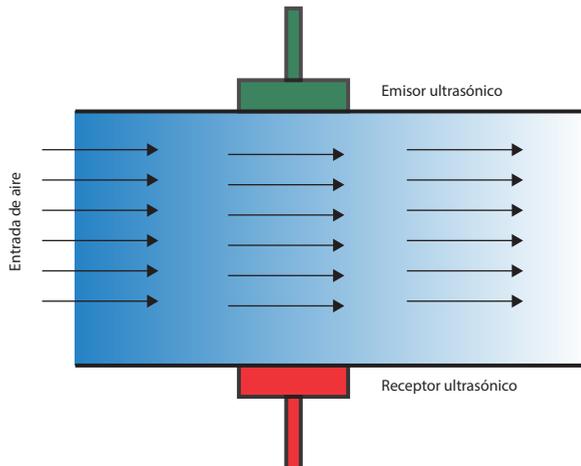
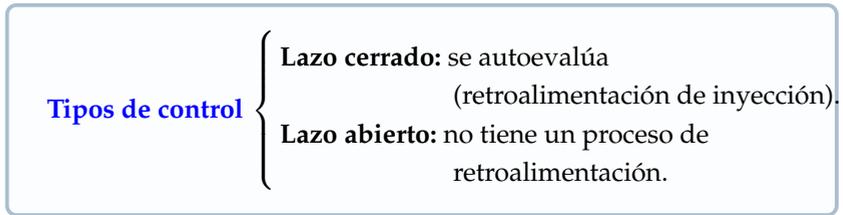


Figura 2.53. Principio de funcionamiento sensor Karman Vórtex

2.4.13. Sensor de oxígeno

El sensor de oxígeno es el encargado de medir el contenido de oxígeno en los gases de escape (mide la diferencia de potencial existente de oxígeno en el interior del ducto de escape con respecto al exterior) y producir una señal proporcional al contenido, por lo cual se obtiene un voltaje alto (alrededor de 0.9 V debido a la gran diferencia de concentraciones de oxígeno entre el interior del tubo de escape y el ambiente exterior) con una mezcla rica $\lambda < 1$ y un voltaje bajo con una mezcla pobre $\lambda > 1$ [18].

Es común encontrar vehículos con un solo sensor de oxígeno en el colector de escape y trabajan con un sistema de control de lazo abierto, mientras que los vehículos que poseen dos sensores de oxígeno, uno ubicado en el colector de escape y otro después del catalizador, realizan procesos de control de lazo cerrado (ver Figura 2.54) como se explicará a continuación.



Operación de retroalimentación (lazo cerrado)

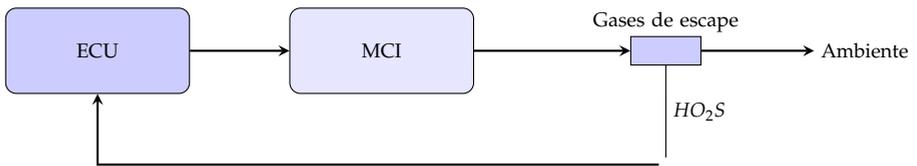


Figura 2.54. Ciclo cerrado de un sensor de oxígeno

El sensor de oxígeno no influye directamente sobre el cálculo inicial del tiempo de inyección en el motor, pero es usado como un parámetro de corrección, la señal obtenida por el sensor es de tipo analógica. La unidad de control en base a esta señal determina si la mezcla es rica

o pobre pero no cuantifica el valor de estequiometría como se puede verificar en la Figura 2.55.

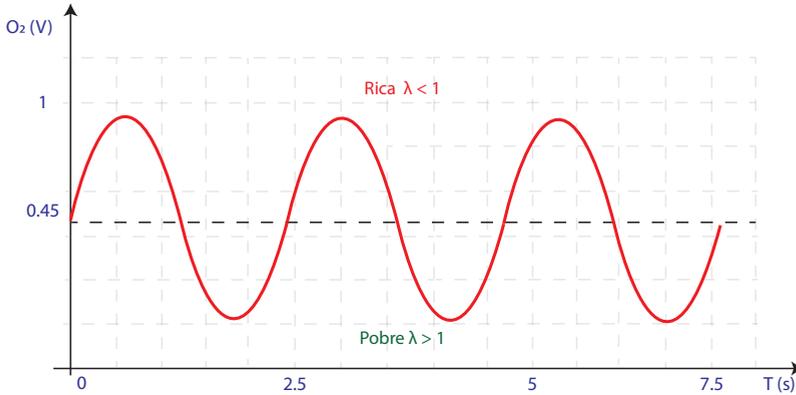


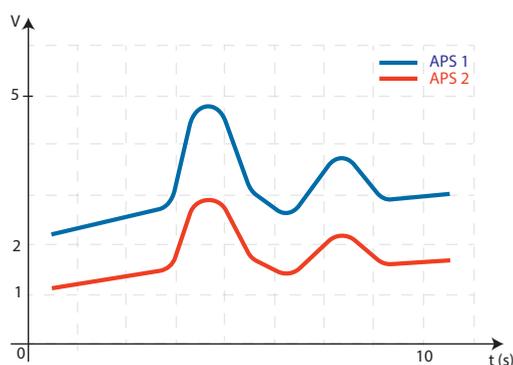
Figura 2.55. Oscilograma de un sensor de oxígeno

2.4.14. Sensor de posición del acelerador o APS (Accelerator Position Sensor)

El sensor de posición del acelerador detecta la posición absoluta del pedal del acelerador, es un sensor redundante del cual se obtienen 2 señales, que sirven entre otras funciones, para controlar el cuerpo motorizado de aceleración, usado para limitar el control absoluto del conductor sobre el motor, protegiéndolo de elevados regímenes de giro, y disminuir el consumo y las emisiones contaminantes generadas, como se visualiza en la Figura 2.56. En el interior del sensor se localizan dos potenciómetros AP_1 y AP_2 , unidos solidariamente al eje del pedal del acelerador; ambos generan una señal sincronizada de la posición del mismo, cada potenciómetro cuenta con alimentación y tierra independientes con el objetivo de que cada señal generada sea independiente entre sí.



(a) Imagen sensor APS



(b) Diagrama del sensor APS

Figura 2.56. Sensor APS

2.5. Subsistemas y actuadores usados en el sistema de inyección

2.5.1. Sistema de control de emisiones evaporativas (EVAP)

El sistema de emisiones evaporativas es el encargado de tomar los vapores generados en el tanque de combustible (hidrocarburos ligeros), filtrarlos y depositarlos en el colector de admisión para su posterior combustión. Se compone de un depósito con un filtro de carbono activo denominado cánister, que evita la salida de los vapores del tanque de combustible al exterior, enviándolos al sistema de admisión por intermedio de una válvula solenoide controlada por la ECU que la activa en

determinadas condiciones de funcionamiento del motor como se puede observar en la Figura 2.57 [12].

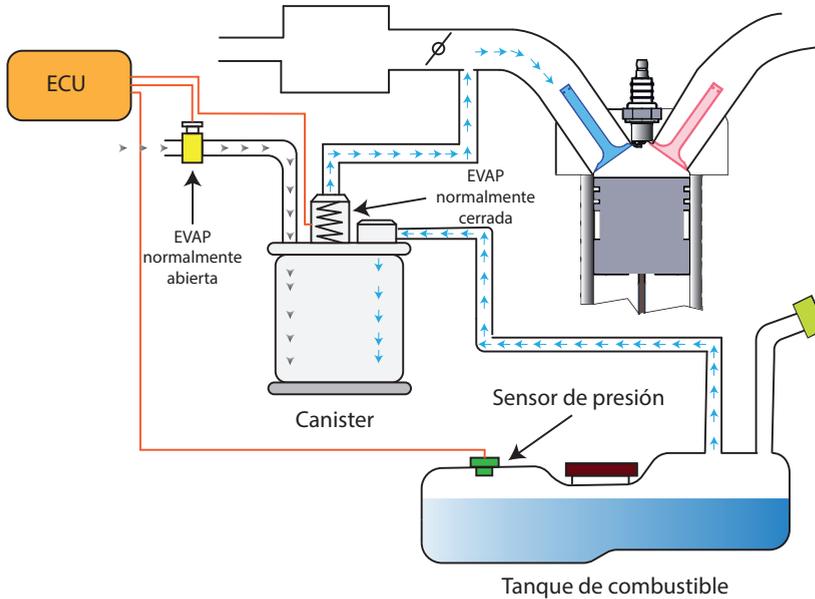


Figura 2.57. Diagrama de funcionamiento del canister

2.5.2. Sistema de ventilación positiva del cárter (PCV)

En el cárter se generan vapores producto de las elevadas temperaturas y el barboteo del aceite, estos vapores por su alto contenido de hidrocarburos no pueden ser liberados a la atmósfera debido a razones ambientales, por lo cual estos gases son reingresados al colector de admisión a través de la válvula de ventilación positiva del cárter (PCV) para ser quemados en la cámara de combustión. El mecanismo PCV cuenta con una válvula *check* que permite que el flujo de los vapores sea unidireccional desde el cárter hacia el colector de admisión, así mismo está regulado para abrirse únicamente en carga total del motor (acelerador accionado al 100%). Su representación física se puede observar en la Figura 2.58 [14].



Figura 2.58. Válvula PCV

2.5.3. Válvula de control de ralentí (IAC)

La válvula IAC regula la cantidad de aire que ingresa al motor sin accionar el acelerador con lo que consigue establecer el ralentí, es controlada por la ECU y operada por un solenoide que regula el flujo de aire. Esta válvula es un paso paralelo (*bypass*) de la mariposa de aceleración por lo que su flujo es independiente de la apertura de la mariposa de aceleración, es comandada por pulsos de voltaje para la activación del solenoide. El mecanismo de activación de la válvula se produce mediante una señal modulada por ancho de pulso (PWM), la cual es encargada de suministrar la energía a través de la variación del ancho de pulso de encendido de una señal de onda cuadrada. A continuación, se presentan los diferentes tipos de activación de válvula.

Válvula IAC de solenoide rotativo

Este sistema consta de un motor paso a paso, el cual regula el flujo de aire al variar la posición del vástago de la válvula, la ECU comanda la posición de este elemento al energizar las cuatro bobinas del motor de manera secuencial, un rotor de tipo magnético modifica la posición de la válvula en un paso por cada bobina seleccionada. En función de la ubicación del vástago de la válvula se permitirá el paso del flujo del aire, es decir, mientras mayor sea el número de pasos mayor será el flujo de aire, en la Figura 2.59 se presenta su mecanismo de funcionamiento.

Para controlar el flujo de aire generado se utiliza una señal modulada por ancho de pulso (PWM).

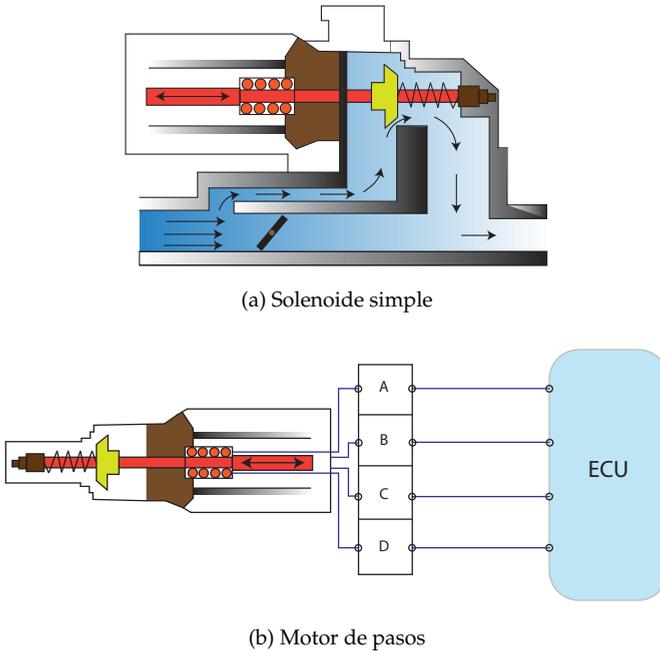


Figura 2.59. Válvula IAC

En la Figura 2.60 se presenta la señal de control de la válvula, cuando esta se encuentra activada en situaciones de alto y bajo caudal de aire.

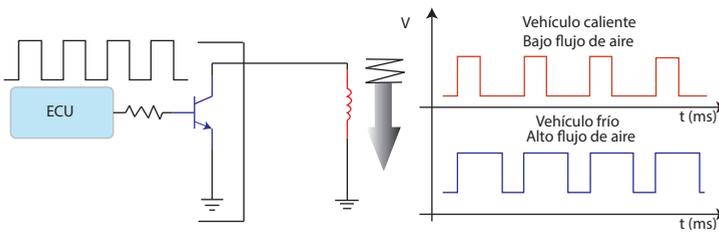


Figura 2.60. Gráfica de la alimentación de válvula IAC a diferentes temperaturas del vehículo.

Válvula IAC de paso a paso

El motor paso a paso es un tipo de motor de corriente continua que consta de cuatro bobinas, que inducen el giro del rotor al aplicar pulsos de tensión secuencialmente en cada bobina, en un ángulo y sentido preestablecido como se ve en la Figura 2.61 [20].

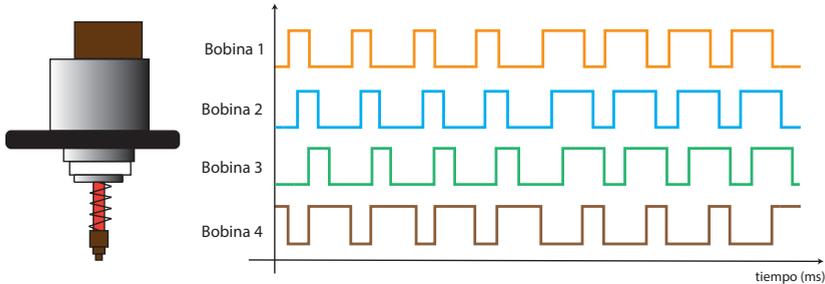


Figura 2.61. Gráfica de la alimentación de una válvula IAC con dos bobinas.

2.5.4. Sistema de recirculación de gases de escape (EGR)

El sistema de recirculación de gases de escape (EGR) es usado para la reducción de NO_x y en ciertas condiciones limitar la detonación en el motor [15]. Los gases de escape, al estar previamente combustionados, pueden considerarse inertes y, por tanto, al ser ingresados con gases frescos durante el proceso de combustión limitan la presión y la temperatura del proceso reduciendo la producción de NO_x como se puede observar en la Figura 2.62 [5]. La válvula se activa en condiciones de alta carga y elevado régimen de giro y puede ser accionada por un solenoide o un motor de paso dependiendo del fabricante.

El sistema EGR se activa únicamente a carga parcial y con la temperatura normal de funcionamiento del motor, permaneciendo desactivado en plena carga, en ralentí, durante la deceleración y cuando el motor se encuentra frío (por debajo de $35\text{ }^\circ\text{C}$) para no afectar el rendimiento. La ECU controla una electroválvula de vacío mediante una señal de voltaje variable, ajustando así el caudal de gases de escape. Se tienen dos sistemas principales: el sistema de válvula EGR neumático, el cual

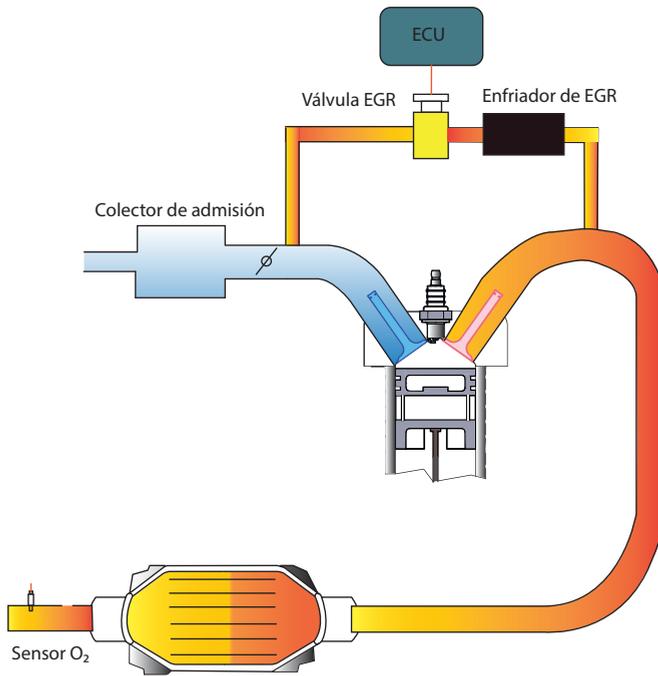


Figura 2.62. Partes y funcionamiento del sistema de recirculación de gases de escape [5]

utiliza un método de accionamiento mecánico donde la válvula se abre y cierra por el vacío generado en el motor, y el sistema de válvula EGR electrónico, donde un módulo de control integrado es activado por la ECU [13].

Bibliografía

- [1] J. Gao, C. Ma, S. Xing, L. Sun, y L. Huang, "Nanostructure analysis of particulate matter emitted from a diesel engine equipped with a NTP reactor," *Fuel*, vol. 192, pp. 35-44, 2017.
- [2] "Bombas eléctricas de carburante: Tipos de construcción, averías y causas," disponible en: https://www.ms-motorservice.com/fileadmin/media/MAM/PDF_Assets/Bombas-electricas-de-carburante-Tipos-de-construccion-averias-causas_52493.pdf. [Accedido: 06-ago-2024].
- [3] "Manual del automóvil," disponible en: https://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=259. [Accedido: 06-ago-2024].
- [4] *Manual técnica del automóvil*, Reverté, 1999.
- [5] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill Inc., 1988.
- [6] R. Carreras, J. A. Álvarez Flórez, y I. Callejón Agramunt, *Motores alternativos de combustión interna*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2015.
- [7] F. Payri *et al.*, *Motores de combustión interna alternativos*, Reverté, 2011.
- [8] K. Reif, *Gasoline Engine, Management, Systems and Components*, Springer Vieweg, 2015.
- [9] H. Gil, *Manual práctico del automóvil, reparación mantenimiento prácticas*, Madrid, 2020.

- [10] "Limpieza y comprobación de inyectores de gasolina," disponible en: <https://www.ecubitt.com/limpieza-y-comprobacion-de-inyectores-de-gasolina/>. [Accedido: 06-ago-2024].
- [11] D. Gonzales *et al.*, *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*, Paraninfo, Madrid, 2015.
- [12] J. M. Alonso Pérez, *Sistemas auxiliares del motor*, Paraninfo, 2014.
- [13] Sánchez, Enrique. *Sistemas auxiliares del motor*, Macmillan Iberia, S.A., 2009. ProQuest Ebook Central.
- [14] S. Escudero *et al.*, *Motores*, Macmillan Iberia, S.A., 2009. ProQuest Ebook Central.
- [15] H. W. *et al.*, "Gasoline engine exhaust gas recirculation – A review," *Applied Energy*, Elsevier, 2012.
- [16] M. Rodríguez, J. C. *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto (MF01332)*, IC Editorial, 2012. ProQuest Ebook Central.
- [17] J. Pardiñas, R. Feijó, *Sistemas auxiliares del motor*, Editex, 2018.
- [18] M. Concepcion, *Sensores Automotrices y Análisis de Ondas*, USA, 2004.
- [19] T. Martin, *How to Use Automotive Diagnostic Scanners*, MotorBooks International, USA, 2007.
- [20] Toyota Motor Sales, *Emission sub systems – idle air control systems*, USA.