

INYECCION ELECTRONICA

Los sistemas de inyección surgieron previamente con la inyección mecánica. Luego de éstos, aparecieron los llamados sistemas electromecánicos basando su funcionamiento en una inyección mecánica asistida electrónicamente. Por último aparecieron 100% electrónicos.

La inyección electrónica se basa en la preparación de la mezcla por medio de la inyección regulando las dosis de combustible electrónicamente.

Presenta grandes ventajas frente a su predecesor el carburador. Al basar su funcionamiento en un sistema exclusivamente mecánico, y no brindar una mezcla “exacta” a la necesitada en diferentes marchas, presenta irregularidades, principalmente en baja vueltas. Esto determina un consumo excesivo de combustible además de una mayor contaminación.

Otra situación que se presenta con el sistema mecánico es la desigualdad de mezcla que entran a los cilindros cuando hablamos de motores con más de uno. En cambio en la inyección electrónica tenemos un inyector por cilindro, con lo cual cada cilindro tendrá la mezcla en la proporción adecuada.

Con la inyección electrónica se logra una dosificación de mezcla exacta, con lo cual teniendo en cuenta la temperatura y régimen del motor permite además un arranque en frío mas corto y una marcha eficiente en la fase de calentamiento.

Estas razones anteriormente citadas permiten además una de las ventajas más buscadas en esta última década, la reducción de la contaminación del medio ambiente. La inyección electrónica posibilita la entrada del combustible exacto que se necesita, en el momento exacto en que es requerido. Esta proporción de combustible y aire ajustada en todo momento durante cualquier marcha del motor hacen posible la reducción de gases contaminantes. Todo esto se traduce en un aumento de potencia con un mejor rendimiento térmico. La proporción exacta se denomina MEZCLA ESTEQUIOMETRICA.

Además estos sistemas nos dejan la posibilidad de optimizar la forma de diseño de los conductores de admisión, los cuales se realizan buscando el aprovechamiento de corrientes aerodinámicas, permitiendo así llenar de una forma mas eficiente los cilindros logrando así una mayor potencia.

En resumen, vemos que las principales ventajas de los sistemas de inyección electrónica son: reducción de gases contaminantes, más potencia con un menor consumo y un mejoramiento de la marcha del motor en cualquier régimen de éste. Por otro lado, permite el potenciamiento del motor para distintas aplicaciones.

Podemos clasificar los sistemas de inyección, en función de la cantidad de inyectores, con lo cual nos quedan **SISTEMAS MONOPUNTOS** y **MULTIPUNTOS**.

En los sistemas de inyección **monopunto** se presenta únicamente 1 solo inyector, el cual proporciona combustible en el colector de admisión. Los sistemas **multipunto** en cambio tienen 1 inyector por cada cilindro.

Otras clasificaciones consisten según el lugar donde se inyecten (**inyección directa** o **indirecta**), según el número de inyecciones (**continua**, **intermitente**) y según su tipo de funcionamiento (**inyección mecánica**, **electromecánica** y **electrónica**).



La **inyección indirecta** es la generalmente usada, hace referencia al sistema mediante el cual el combustible es introducido en el **colector de admisión** sobre la **válvula de admisión**, mientras que la **inyección directa** basa su funcionamiento en la inyección de combustible directamente en el **cilindro**. Esta última es más nueva y se está extendiendo en cada vez más modelos.

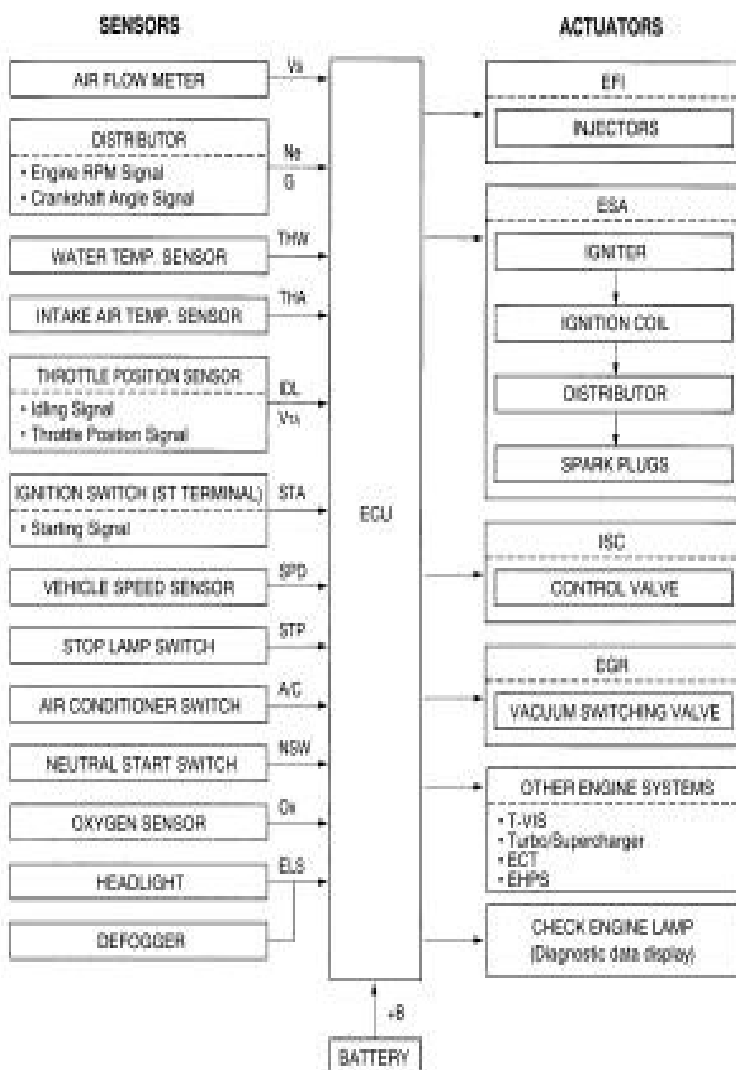
Al realizar la clasificación teniendo en cuenta el número de inyecciones nos encontramos con la **inyección continua**, en donde los inyectores proveen el combustible continuamente a los colectores de admisión. En la **inyección intermitente** se inyecta el combustible a intervalos según lo determine la central de mando.

Este último tipo se subdivide a su vez en tres categorías: **secuencial**, **semisequencial** y **simultánea**.

En la **secuencial** el combustible se inyecta con la válvula de admisión abierta presentando así los inyectores un funcionamiento sincronizado con éstas (actuando todos los inyectores en diferentes tiempos).

En la **semisequencial** el combustible se inyecta de a pares, es decir, los inyectores actúan de a dos. La **simultánea** el combustible se inyecta al unísono, actuando todos los inyectores a la misma vez.

En un sistema de inyección electrónica podemos encontrar diferentes elementos, entre ellos la **unidad electrónica de control** que es la que comanda las acciones a seguir, basando sus decisiones en la información recibida a de los **sensores**, para luego hacer funcionar los **actuadores** de forma adecuada. A la unidad de control se la suele llamar **ECU** (engine control unit) – **EFI** (electronic fuel injection).



Entre los sensores encontramos:

- Sensor de presión del aire de admisión (MAP)
- Sensor de posición de mariposa (TPS)
- Sensor de oxígeno, conocido habitualmente como sonda Lambda
- Sensor HALL del distribuidor
- Sensor de detonación
- Sensor de temperatura del motor
- Sensor de temperatura del aire
- Sensor de flujo de aire (MAF)
- Sensor detector de velocidad del vehículo
- Sensor de detección de presión de la dirección

Entre los actuadores están:

- Relay de la bomba
- Bomba de combustible
- Inyector o inyectores
- Válvula del canister
- Toma de diagnóstico
- Módulo de encendido
- Motor paso a paso

A continuación describiremos solamente los sensores asociados

SENSOR M.A.P. (Manifold Absolute Presion)



Se encuentra en la parte externa del motor después de la mariposa, presentándose en algunos casos integrado al computador.

Su objetivo radica en **proporcionar una señal proporcional a la presión existente en la tubería de admisión con respecto a la presión atmosférica, midiendo la presión absoluta existente en el colector de admisión.** Para ello genera una señal que puede ser analógica o digital, reflejando la diferencia entre la presión en el interior del múltiple de admisión y la atmósfera.

Presión de admisión, La definición de presión es: **fuerza aplicada por unidad de superficie.**

La presión de la atmósfera ejerce sobre nosotros, a condiciones estándar, 14.7 PSI o 101.325 kilo pascales (kpa). Un motor chupa aire por la diferencia que hay por el movimiento de los pistones. Cuando un pistón se mueve hacia abajo dentro de su cilindro, la presión es reducida, cuando la válvula de entrada se abre, la relativa presión de mas que hay afuera hace que el hueco del pistón se llene por el vacío provocado por este en su movimiento.

Es muy habitual referirse a la baja presión en la admisión como vacío. La presión es medida en dos caminos. Una es presión absoluta y otra es presión de medición. La diferencia entre ellas es simplemente donde empieza el cero en la escala de medición. En la presión de medición lo normal es que el 0 este colocado a la presión atmosférica (14.7 psi) y todo lo que haya por debajo es vacío y todo lo que hay por arriba es sobre presión. En la absoluta el 0 es el punto inicial de medición.

La mariposa cerrada o muy poco abierta suele estar asociada con bajas presiones, vacío en un reloj de medición, y **aberturas considerables o totales están consideradas con altas presiones en la admisión,** 0 en los relojes de medición.

Aquí tenemos una tabla de equivalencias:

1 bar (b) = 100 kilo pascales (kpa) = 14.5 psi = 29.529 mmHg

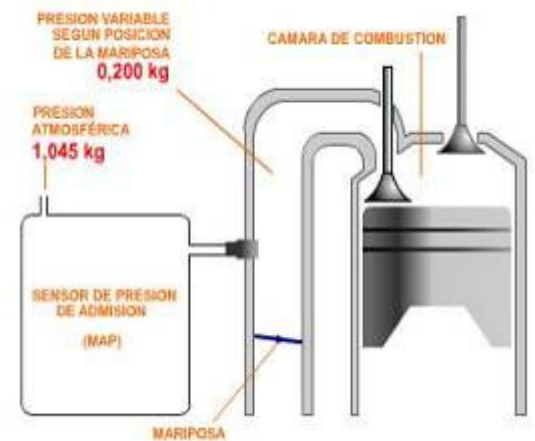
1 atm = 101.325 kpa = 14.7 psi = 29.92 mmHg = 1.01325 b

Podemos encontrar dos diferentes tipos de sensores, por **variación de presión** y por **variación de frecuencia.**

El funcionamiento del sensor **MAP** por **variación de presión** esta basado en una resistencia variable accionada por el vacío creado por la admisión del cilindro.

Posee tres conexiones, una de ellas es la entrada de corriente que provee la alimentación al sistema, una conexión de masa y otra de salida. La conexión de masa se encuentra aproximadamente en el rango de los 0 a 0.08 volts, la tensión de entrada es generalmente de unos 5 volts mientras que la de salida varía entre los 0.6 y 2.8 volts. Esta última es la encargada de enviar la señal a la unidad de mando

Los **sensores por variación de frecuencia** no pueden ser comprobados de la misma forma como en el caso de los de presión, si los testeamos siempre nos dará una tensión de alrededor de los 3 volts (esto solo nos notificará que el sensor esta funcionando).



Estos sensores toman la presión barométrica además de la presión de la admisión obteniendo la presión absoluta del resto de la presión barométrica y la presión creada por el vacío del cilindro.

En la figura a la derecha se muestra diferentes etapas en los estados de la presión, la mayor diferencia se produce en ralentí, disminuyendo esta presión al acelerar y luego una diferencia mínima con la mariposa totalmente abierta.

SENSOR T.P.S. (Throttle Position Sensor)



Este sensor está situado sobre la mariposa, y en algunos casos del sistema monopunto esta en el cuerpo (el cuerpo de la mariposa es llamado también como unidad central de inyección).

Su función radica en registrar la posición de la mariposa enviando la información hacia la unidad de control.

El tipo de sensor de mariposa más extendido en su uso es el denominado potenciómetro.

Consiste en una resistencia variable lineal alimentada con una tensión de 5 volts que varía la resistencia proporcionalmente con respecto al efecto causado por esa señal.

Si no ejercemos ninguna acción sobre la mariposa entonces la señal estaría en 0 volts, con una acción total sobre ésta la señal será del máximo de la tensión, por ejemplo 4.6 volts, con una aceleración media la tensión sería proporcional con respecto a la máxima, es decir 2.3 volts.

Generalmente tiene 3 terminales de conexión, o 4 cables si incluyen un switch destinado a la marcha lenta. Si tienen 3 cables el cursor recorre la pista pudiéndose conocer según la tensión dicha la posición del cursor. Si posee switch para marcha lenta (4 terminales) el cuarto cable va conectado a masa cuando es detectada la mariposa en el rango de marcha lenta, que depende según el fabricante y modelo (por ejemplo General Motors y Bosh acostumbran situar este rango en 0.50 +/- 0.05 volts).

Control de voltaje mínimo. Uno de los controles que podemos realizar es la medición de voltaje mínimo. Para esto con el sistema en contacto utilizamos un tester haciendo masa con el negativo del tester a la carrocería y conectando el positivo al cable de señal. **MARIPOSA CERRADA → “0” (0 VOLT)**

Control de voltaje máximo Se realiza con el sistema en contacto y acelerador a fondo utilizando un tester obteniéndose en caso de correcto una tensión en el rango de la tensión de voltaje máxima según el fabricante, generalmente entre 4 y 4.6 volts. **MARIPOSA ABIERTA → “1” (5 VOLT)**

Barrido de la pista El barrido de la pista se realiza con un tester preferentemente de aguja o con un osciloscopio debiéndose comprobar que la tensión se mantenga uniforme y sin ningún tipo de interrupción durante su ascenso. La tensión comienza con el voltaje mínimo y en su función normal consiste en una suba hasta llegar al voltaje máximo, valor que depende según el fabricante.

Fallas frecuentes Un problema causado por un TPS en mal estado es la pérdida del control de marcha lenta, quedando el motor acelerado o regulando en un régimen incorrecto. La causa de esto es una modificación sufrida en la resistencia del TPS por efecto del calor producido por el motor, produciendo cambios violentos en el voltaje mínimo y haciendo que la unidad de control no reconozca la marcha lenta adecuadamente. Esta falla es una de las más comunes en los TPS, y se detecta mediante el chequeo del barrido explicado anteriormente.

SONDA LAMBDA (sensor O2)



Esta sonda **mide el oxígeno de los gases de combustión con referencia al oxígeno atmosférico**, gracias a esto la unidad de control puede regular con mayor precisión la cantidad de aire y combustible hasta en una relación 14,7 a 1, contribuyendo con su medición a una mejor utilización del combustible y a una combustión menos contaminante al medio ambiente gracias al control de los gases de escape que realiza.

El sensor de O₂ da una lectura de la mezcla de gasolina y aire (**AFR**) (**Air Fuel Rate**)

Situada en el tubo de escape del auto/moto/atv se busca en su colocación la mejor posición para su funcionamiento cualquiera sea el régimen del motor. La temperatura óptima de funcionamiento de la sonda es alrededor de los 300° o más.

Una parte de la sonda Lambda siempre está en contacto con el aire de la atmósfera (exterior al tubo de escape), mientras que otra parte de ella lo estará con los gases de escape producidos por la combustión.

Su funcionamiento se basa en dos electrodos de platino, uno en la parte en contacto con el aire y otro en contacto con los gases, separados entre sí por un electrolito de cerámica. Los iones de oxígeno son recolectados por los electrodos (recuerde que cada uno de los electrodos estarán en diferentes lugares, uno al aire atmosférico y otro a los gases de escape), creándose así una diferencia de tensión entre ambos (o una diferencia nula) consistente en una tensión de 0 a 1 volt.

Ante una diferencia de oxígeno entre ambas secciones la sonda produce una tensión eléctrica enviándola a la unidad de control, para que ésta regule la cantidad de combustible a pulverizar.

Cables de la sonda Lambda existiendo de 1, 2, 3 o 4 cables.

Las sondas Lambda pueden tener diferente cantidad de cables,

Las de **1 solo cable** presentan éste de color negro para dar alimentación a la sonda, la masa se logra por la misma carcasa de ésta.

Las sondas de **2 o 3 cables** son las que poseen resistencia de caldeo (resistencia calefactora), generalmente en éstas sondas los cables de color blanco son los encargados de la alimentación de la sonda de caldeo con el positivo y la masa.

El cable extra en la 4 cables corresponde a la masa del sensor de oxígeno y generalmente es de color gris.

Entre las **consecuencias de fallos en las sondas** Lambda podemos encontrar el encendido del testigo Check Engine, un elevado consumo de combustible, tironeos en la marcha, presencia de carbón en las bujías y humo. Obviamente estas fallas no son siempre producidas por una falla en la sonda lambda, pero si existe posibilidad que estos síntomas se daban a ellas. Según el fabricante de la sonda existirá recomendaciones sobre su reemplazo cada ciertos miles de kilómetros, una buena práctica es verificar los gases de escape y testear la sonda Lambda cada 20.000 o 30.000 km.

Recuerde que una sonda lambda en mal estado le puede ocasionar un consumo excesivo de combustible, por lo que es ideal tener la seguridad que la sonda tiene un funcionamiento correcto.

El **AFR** es dado como un número Lambda. Un Lambda 1.00 es igual a la relación estequiométrica. Para las medidas de Lambda cualquier número superior a 1.00 es considerado pobre (más aire de que necesita para reaccionar con el combustible) y cualquier número inferior a 1.00 es considerado mezcla rica

SENSOR HALL

Este sensor es el encargado de proveer información acerca de las revoluciones del motor y posición de los pistones sincronizando así la chispa producidas en las bujías, debiendo para ello como requisito imprescindible la puesta a punto del distribuidor para que se pueda seguir el orden lógico de encendido de las bujías. Básicamente este sensor detecta el pasaje de un campo magnético generado por un imán.

Verificación de un sensor Hall Los sensores Hall tienen tres terminales: masa, alimentación y la señal entregada. Su verificación de un sensor es muy sencilla, simplemente se lo alimenta con una tensión de 12 volts y con un tester conectamos el positivo de éste en el terminal correspondiente a la salida de la señal y el negativo a masa verificando así la tensión.

SENSOR DETONACION (KNK)

El sensor de detonación se sitúa en el bloque del motor y se trata de un generador de voltaje. Tiene como objetivo recibir y controlar las vibraciones anormales producidas por el pistoneo, transformando estas oscilaciones en una tensión de corriente que aumentará si la detonación aumenta.

La señal es enviada así al centro de control, que la procesará y reconocerá los fenómenos de detonación realizando las correcciones necesarias para regular el encendido del combustible, pudiendo generar un retardo de hasta 10 grados. Así este sensor regulará el encendido logrando una mejor combustión lo que brindará al coche más potencia con un consumo menor. Combustibles con un octano mayor permiten que el sistema, en caso de poseer este sensor de detonación, logre un mejor aprovechamiento del combustible evitando la detonación, manteniendo el avance del encendido.

AVANCE

El **avance de encendido** consiste en hacer saltar la chispa de la bujía unos grados antes que el pistón llegue, durante su carrera, al **PMS (Punto Muerto Superior)**. Esto es útil sobre todo a altas revoluciones del motor donde la velocidad de la llama producida por la ignición del combustible se asemeja a la velocidad promedio del pistón, adelantando unos grados la chispa de la bujía brinda el tiempo necesario para que el proceso de ignición sea realizado en el momento adecuado permitiendo que sea durante el ciclo de expansión donde todo el empuje de la combustión de la mezcla sea ejercido sobre el cilindro. A más velocidad de giro el motor será necesario un avanzado mayor para un encendido en el momento correcto.

SENSOR DE TEMPERATURA



Su objetivo es conocer la temperatura de motor a partir de la temperatura del líquido refrigerante del mismo, informando a la unidad de control para que regule la mezcla y el momento de encendido del combustible.

El sensor de temperatura del motor se encuentra situada próximo a la conexión de la manguera del agua del radiador.

La falla de este sensor puede causar diferentes problemas como problemas de arranque ya sea con el motor en frío o en caliente y consumo en exceso del combustible.



Puede ocasionar además que el ventilador este continuamente prendido o bien problemas de sobrecalentamiento del motor.

SENSOR DE TEMPERATURA I.A.T. (Intake Air Temperature)



El sensor mide la temperatura del aire. Se puede ajustar así la mezcla con mayor precisión, si bien este sensor es de los que tiene menor incidencia en la realización de la mezcla igualmente su mal funcionamiento acarreará fallas en el motor.

Posee una resistencia que aumenta su valor proporcionalmente al aumento de la temperatura del aire. Está situado en el ducto plástico de la admisión del aire, pudiéndose encontrar dentro o fuera del filtro de aire. Los problemas de este sensor se traducen sobre todo en emisiones de monóxido de carbono demasiado elevadas, problemas para arrancar el vehículo cuando está frío y un consumo excesivo de combustible. También se manifiesta una aceleración elevada.

Es importante verificar cada 30000 o 40000 kilómetros que no exista óxido en los terminales ya que los falsos contactos de éste suelen ser uno de los problemas más comunes en ellos.

SENSOR FLUJO AIRE M.A.F. (Mass Air Flow)



Ubicado entre el filtro de aire y la mariposa la **función de este sensor radica en medir la corriente de aire aspirada que ingresa al motor.**

Su funcionamiento se basa en una resistencia conocida como hilo caliente, el cual recibe un voltaje constante siendo calentada por éste llegando a una temperatura de aproximadamente 200°C con el motor en funcionamiento. Esta resistencia se sitúa en la corriente de aire o en un canal de muestreo del flujo de aire. La resistencia del hilo varía al producirse un enfriamiento provocado por la circulación del aire aspirado.

Actualmente se usan dos tipos de sensores, los análogos que producen un voltaje variable y los digitales que entregan la salida en forma de frecuencia. Mediante la información que este sensor envía la unidad de control, y tomándose en cuenta además otros factores como son la temperatura y humedad del aire, puede determinar la cantidad de combustible necesaria para las diferentes regímenes de funcionamiento del motor. Así **si el aire aspirado es de un volumen reducido la unidad de control reducirá el volumen de combustible inyectado.**

Hemos visto en detalle los sensores que interactúan en el sistema de inyección. El fin de todo este conjunto es realizar todo el proceso de ignición / combustión en las proporciones adecuadas a efectos de minimizar la emisión de gases y maximizar la potencia del motor. A continuación presentaremos algunas relaciones matemáticas y su relación con los sensores.

La pregunta sería, cómo obtenemos la mezcla perfecta?? Un punto de comienzo, sería averiguar cuánto tiempo tienen que estar los inyectores abiertos para pulverizar el combustible. Podemos acudir al oído del mecánico o a algunas fórmulas matemáticas para calcular el tiempo en forma aproximada.

Veremos algunas reglas generales que pueden ser no aplicables a todos los vehículos, pero la mayoría siguen estas normas.

Veamos los dos sistemas más utilizados por los fabricantes, para calcular el tiempo de apertura de los inyectores que por supuesto determina la cantidad de combustible inyectado en cada momento.

1) Sistema Velocidad-Densidad (el sensor fundamental para determinar la Densidad y calcular la masa de aire es el MAP)

Tiempo Apertura = Base + CTS + $[(MAP + RPM) \times VE]$ + TPS + ACT - EGR +/- O2 + comodines

2) Sistema de Masa de Aire Aspirado (Aquí el sensor más importante es el MAF)

Tiempo de Apertura = Base + CTS + MAF + TPS + ACT - EGR +/- O2 + comodines.

Veamos en detalle como afecta cada sensor al producto final.

Base: Este tiempo de apertura no es determinado por un sensor sino que es un parámetro programado por la fábrica en la EPROM (Memoria de solo lectura) y sirve como una base para que luego los sensores modifiquen y vayan afinando el cálculo del tiempo final de inyección. Este valor depende entre muchos otros parámetros de la cilindrada del motor del diseño de la cámara de combustión pasajes de aire etc.

CTS (Sensor de temperatura del refrigerante): Este sensor aumenta el tiempo de apertura de los inyectores dependiendo de la temperatura del motor. También determina cuando el sistema está listo para entrar en ciclo cerrado con el sensor de oxígeno o sonda lambda. Su rango de autoridad es alto.

MAP (Sensor de Presión en el tubo de admisión): Este sensor provee una indicación directa de la carga del motor. A mayor presión en la admisión (menor vacío), mayor será la carga y por tanto más combustible será necesario. Este también es un sensor con una capacidad grande para modificar el tiempo final de la inyección

RPM (Sensor de giro del motor): El motor es básicamente una bomba de aire, a mayor velocidad de giro, más aire aspira y por lo tanto más combustible es necesario para mantener la relación 14.7/1 aire / combustible.

VE (Eficiencia volumétrica): Este es un valor calculado por los diseñadores del motor que depende en gran medida de la velocidad de giro del motor y la carga. La mayoría de los vehículos poseen cámaras de combustión árbol de levas válvulas etc., diseñadas para obtener una eficiencia volumétrica en el entorno de las 2500 rpm en donde en promedio el motor es más usado. Como resultado de ese compromiso a velocidades menores o mayores de la indicada el valor de VE es menor y decae el rendimiento del motor. De ahí surgen los sistemas como la distribución variable que tiende a mantener la eficiencia volumétrica en su pico más alto para un rango más amplio de velocidades del motor., permitiendo que el motor mantenga su par máximo en un intervalo de rpm mayor que un motor convencional.

Estos tres parámetros anteriores se combinan mediante la ecuación

$$[(MAP + RPM) \times VE]$$

para obtener la masa de aire aspirado en cada instante que es lo que realmente debemos conocer para calcular la cantidad exacta de combustible necesario. Vemos entonces que este sistema posee una debilidad y es que el valor de eficiencia volumétrica VE se asume constante durante la vida del vehículo. Pero de hecho cuando depósitos de carbón comienzan a formarse en el interior de la cámara de combustión en las válvulas etc., esto reduce la "respiración" del motor, sin embargo la ECU continúa calculando la dosificación de combustible como si el motor fuera nuevo y por consiguiente la mezcla tiende a enriquecerse con el transcurso del tiempo.

MAF (Sensor de Masa de Aire Aspirado): Este importante sensor mide directamente la masa del aire que es aspirado por el motor en cada instante y por lo tanto la ECU en base a la indicación de este sensor modifica el tiempo de inyección. La ventaja de este sistema es que no se agregan parámetros como el VE para calcular la masa de aire sino que se conoce este importante valor directamente. Esto hace que en los vehículos equipados con este sistema la mezcla no varíe con el envejecimiento del motor como en el caso anterior. Pero posee su propia debilidad y es que se asume que todo el aire aspirado por el motor pasa por el sensor que mide su masa e informa a la ECU, por lo tanto cualquier entrada de aire "pirata" debido por

ejemplo a uniones flojas en los tubos de admisión etc., afectará la relación final de la mezcla. Vemos la importancia entonces de detectar fugas de vacío en estos sistemas. La autoridad de este sensor es alta ya que es capaz de modificar la dosificación de manera importante.

TPS (Sensor de Posición del Acelerador): Aquí estamos bajando en la jerarquía de los sensores, este sensor si bien es importante no agrega o quita tanto combustible a la mezcla final como lo haría el CTS o el MAF por eso decimos que tiene menor autoridad. Veremos alguna de las funciones que cumple este dispositivo, en primera instancia le indica a la ECU cuando el sistema está en ralentí (en otros sistemas esto se hacía con un switch o interruptor que se accionaba cuando el acelerador estaba en su posición de reposo). También este sensor indica la velocidad de apertura de la mariposa cumpliendo una función similar a la bomba de pique en los carburadores. Otra función importante es la de indicarle a la ECU cuando se alcanza apertura total de la mariposa con lo que la ECU en la mayoría de los sistemas deja de funcionar en LOOP o ciclo cerrado con el sensor de oxígeno y enriquece la mezcla para obtener la máxima potencia que se necesita con acelerador a fondo.

ACT (Sensor de Temperatura del Aire Aspirado): Este sensor realiza un cambio menor en la dosificación final o sea que su autoridad es aún menor, sin embargo no olvidarlo porque el fallo del mismo puede provocar "tironeos" sobretodo en climas fríos. También la ECU lo utiliza para comprobar la racionalidad de las medidas confrontándolo con el CTS ya que por ejemplo ambos sensores deberían producir la misma tensión de salida en un motor frío.

EGR (Recirculación de Gases de Escape): Mientras que todos los sensores vistos hasta el momento agregan combustible o mejor dicho aumentan el tiempo de inyección respecto del tiempo base programado en fábrica, este lo disminuye. Esto se debe a que los gases de recirculación son inertes al proceso de combustión enlenteciendo la misma ya que estos se colocan entre las moléculas de Oxígeno e Hidrocarburos. Cuando los gases se introducen en el tubo de admisión ingresa menos Oxígeno a la misma RPM por lo tanto se necesita menos combustible para mantener la mezcla en el valor teórico de 14,7/1. Resumiendo a mayor EGR menor combustible. Sin embargo como intuirán el porcentaje de cambio es poco considerable y de ahí que la autoridad de este sensor para modificar la mezcla sea también baja.

Comodines: Son valores que se agregan generalmente al tiempo final y responden a circunstancias particulares por ejemplo cuando se enciende el aire acondicionado en la mayoría de los sistemas se suma unos 0,5 ms al pulso de inyección para compensar por la carga adicional. También modifica la posición del motor paso a paso que controla el ralentí. Otro ejemplo : cuando el voltaje de batería es bajo debido a fallas en alternador o la propia batería la velocidad de apertura de los inyectores es menor con lo cual se deben mantener abiertos algunos microsegundos mas para compensar y obtener la misma dosificación que en condiciones normales de voltaje. Estos son solo un par de ejemplo pero hay mas circunstancias en las que la ECU agrega tiempo de inyección en respuesta a estas circunstancias particulares, lo que tienen en común es que el grado de autoridad es bastante bajo o sea es poco lo que influyen en la dosificación. Visto desde otro punto de vista si alguno de estos comodines fallara el vehículo seguiría funcionando en forma normal en la mayoría de las situaciones, esto mismo es válido para los sensores de menor autoridad.

O2 (Sensor de Oxígeno): Esta es una entrada de información a la ECU importante sin dudas, sin embargo está último en la jerarquía esto significa que solo después que todos los demás sensores modificaron el tiempo de apertura de los inyectores este sensor solo corrige este valor en un rango muy pequeño pero con gran precisión. Por ejemplo si debido a una fuga de vacío en la admisión la mezcla se empobrece esto es detectado por el sensor de oxígeno el cual informa a la ECU la cual aumenta el tiempo de apertura de los inyectores lo cual enriquece la mezcla tratando de compensar, sin embargo si por ejemplo el tiempo de apertura en condiciones normales es de 3 ms el sensor de oxígeno podrá agregar o quitar a lo sumo 1 ms al tiempo final tratando de corregir, luego de lo cual se alcanzó la "ventana" de operación o la autoridad del sensor. Este sensor es el que permite el funcionamiento en LOOP o bucle cerrado proveyendo la realimentación para que el sistema conozca el producto final o sea la relación aire/nafta. Tener en cuenta que solo luego de cumplir ciertos requerimientos el sistema entra en bucle, el primero es que el sensor alcance su temperatura de operación (No hay salida de señal válida hasta que el sensor alcanza los 300 o 500 grados centígrados).

No conforme con las expresiones enunciadas o galeras, intentemos demostrarlas:

OBJETIVO: determinar el tiempo del inyector o bien el Combustible inyectado

RELACIONES FISICAS: Ley de Gases Ideales, que relaciona la cantidad de aire con su presión, volumen y temperatura.

VALORES MEDIDOS: presión en el múltiple de admisión, temperatura del aire de admisión y de agua del motor, RPM, etc.

INCOGNITA: combustible requerido (**REQ_FUEL**), eficacia volumétrica, tiempo de apertura del inyector,

La Ley de Gases Ideales:

Puede recordarse de las clases de física que un gas ideal (el aire se asemeja mucho a uno) obedece la relación:

$$P \times V = n \times R \times T$$

Donde:

P = Presión

V = Volumen

n = Número de moles

T = Temperatura (K)

R = constante de los gases (8.314472 J/mol·K)

¿Qué tiene que hacer con esto la ECU?

Para saber cuánto combustible inyectar, necesitamos saber cuánto aire está entrando el motor, con el fin de alcanzar la mezcla químicamente correcta (llamada “estequiométrica”). Entonces, para un motor con inyección de combustible, utilizamos los sensores para determinar la presión en el múltiple de admisión y la temperatura de aire en el mismo. Sin embargo, la temperatura en esta ecuación es la “temperatura absoluta” medida en grados Kelvin que es igual a la de grados centígrados + 273°.

La **eficacia volumétrica (VE)** es un porcentaje que nos dice la presión dentro del cilindro contra la presión en el múltiple. Sabemos el **volumen (V)** de desplazamiento del motor. Así podemos calcular la **masa del aire (M)** en el cilindro (proporcional a n) de:

$$n = PV/RT \quad \Rightarrow \quad M = n \times MM = PV/RT \times MM$$

$$\Rightarrow M = (VE * MAP * CYL_DISP) / (R * (IAT-32) * 5/9 + 273)) \times MM_{air}$$

Entonces:

P = VE * MAP (es decir la presión en el cilindro en kPa),

V = CYL_DISP = el volumen de un cilindro (en litros),

R = 8.3143510 J/mol K,

T = (IAT-32) * 5/9 + 273 para convertir IAT de Fahrenheit a Kelvin.

Observar que podemos combinar las constantes R y MM en una sola, y no haremos caso de ellas porque pueden ser utilizadas como “constantes”.

Puesto que ahora sabemos la cantidad de aire en un cilindro a través de los valores del **MAP** y del **IAT (intake air temperature)** y del valor “calculado” de **VE**, necesitamos saber la cantidad de combustible a inyectar. Especificamos esto con un parámetro llamado **REQ_FUEL**.

REQ_FUEL (abreviatura de “combustible requerido”) es la parte del cálculo que se le dice a la ECU que tan grandes son los inyectores, y cuál el volumen de los cilindros del motor (**CYL_DISP**), y **es el tiempo en milisegundos [ms] que la ECU debe “arrojar chorros de nafta” para lograr la cantidad estequiométrica de combustible (14.7 para la nafta) en el 100% de VE, una presión absoluta de admisión (MAP) de 100 kPa, y temperatura de aire de admisión (IAT) de 70 grados Fahrenheit para un ciclo completo.**

La proporción aire/combustible (**AFR**) es la masa de aire comparada con la masa de combustible que entra en el motor, así que para un **AFR 14.7:1 tenemos 14.7 partes de aire (por peso) por unidad de combustible**. La proporción de volumen es mucho más extremo, alrededor 9000:1, y varía considerablemente con la temperatura, por esto, el AFR es mucho mas popular.

Una mezcla estequiométrica es químicamente correcta para quemarse por completo sin excedentes de combustible o aire. Para la nafta, un AFR de 14.7:1 se considera la cantidad correcta para quemarse sin aire ni combustible de sobra. **Debe aclararse que 14.7:1 no es la proporción adecuada para lograr la mayor potencia o el mayor rendimiento, sino la que no produce residuo contaminante alguno.**

REQ_FUEL se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{REQ_FUEL} \times 10 = (36.000.000 \times \text{CID} \times \text{AIRDEN}) / (\text{NCYL} \times \text{AFR} \times \text{INJFLOW} \times \text{DIVIDE_PULSE})$$

Donde:

REQ_FUEL = tiempo de apertura del inyector en décimas de milisegundo.

36.000.000: es el número de décimas de milisegundo por hora, usados para conseguir las libras por 1/10 de milisegundo de la proporción libras/horas de los inyectores.

CID = volumen en pulgadas cúbicas.

AIRDEN = densidad del aire (libras por pulgada cúbica) con una presión del MAP de 100 Kpa, temperatura del aire de 70° F, y presión barométrica de 30.00 en pulgadas de mercurio.

NCYL = número de cilindros.

INJFLOW = caudal del inyector en libras por hora.

DIVIDE_PULSE = numero de división de inyecciones, para obtener el número de inyecciones por ciclo del motor.

La función **AIRDEN** (usada abajo) depende de:

MAP = Presión en el múltiple de admisión kPa.

Temp = Temperatura de aire de admisión en °F.

459.7 es usado para convertir de grados Fahrenheit a temperatura absoluta.

1728 es usado para convertir de libras por pies cúbicos a libras por pulgada cúbica.

Hay también un ajuste pequeño para la humedad relativa.

Por lo tanto, el valor de REQ_FUEL es la cantidad de combustible (en milisegundos) requerida para una lectura de MAP de 100 Kpa, temperatura del aire múltiple de 70 °F, y barométrica de 30.00 pulgadas de mercurio, para un llenado completo de un cilindro (eficacia volumétrica = 100%), sin ninguno de los enriquecimientos.

Para un motor de 4 tiempos, un ciclo completo consiste en 720 grados de rotación del cigüeñal (es decir dos revoluciones); para un motor de 2 tiempos, es 360 grados (esto también modifica el valor de REQ_FUEL).

Ecuación del combustible

Se el número descargado de REQ_FUEL y después multiplica (o agrega) los valores que escalan este número, para incrementar el **ancho del pulso inyectado [PW]**. Por lo tanto, el ancho del pulso es:

$$PW = REQ_FUEL \times VE \times MAP \times E + accel + injector_open_time$$

La "E" arriba es el resultado multiplicado de todos los enriquecimientos, como calentamiento, post-arranque, corrección barométrica y de temperatura del aire, a ciclo cerrado, etc:

$$PW = gamma_enrich = (Warmup/100) \times (O2_ClosedLoop/100) \times (AirCorr/100) \times (BaroCorr/100)$$

Donde:

Warmup es el valor del enriquecimiento por calentamiento que el usuario configura en tabla

O2_ClosedLoop es el ajuste del enriquecimiento basado en la información del sensor EGO (sonda lambda) y los ajustes del EGO que el usuario configura.

AirCorr es el ajuste de densidad del aire (basada en temperatura del aire de admisión).

BaroCorr es la corrección barométrica basada en la presión del ambiente (tomada generalmente antes de encender el motor).

Gamma_Enrich (E) es el factor de escalamiento aplicado al valor de REQ_FUEL, junto con VE (RPM, MAP) y MAP. Para todas las correcciones, 100% significa ningún enriquecimiento / empobrecimiento, puesto que el valor es normalizado por 100 para conseguir un multiplicador fraccionario.

Hay otros dos factores agregados a esto: uno es el enriquecimiento por aceleración, y el otro es el tiempo de apertura del inyector.

Si se fija el REQ_FUEL a cero el inyector se abre un cierto tiempo (y el enriquecimiento del accel si está activado). La razón de agregar un tiempo de apertura del inyector es que toma una cantidad pequeña de tiempo abrir el inyector antes de que uno alcance un estado lineal del control donde el tiempo del inyector se relaciona con el flujo del combustible.

La ECU compensa el tiempo de apertura del inyector agregándole tiempo al ancho total del pulso, si no el pulso sería demasiado corto.

Por lo tanto, el REQ_FUEL es un número pre-calculado, basado en tamaño del inyector.

Inyectores:

Los inyectores operan a través de una fuente de alimentación de +12V, alimentando un solenoide: la bobina del inyector. Ésta abre una válvula en el extremo del inyector. En la mayoría de las ECU la apertura y cierre del inyector se produce conmutando la masa del inyector. Es decir, la fuente de +12V está siempre conectada al inyector, mientras que el motor esté encendido, y la ECU controla la apertura del inyector proporcionando un camino de masa para los +12V fijos en el mismo a través del solenoide. Nótese que algunos inyectores (llamados de baja impedancia) requieren de una limitación de corriente para evitar el recalentamiento excesivo de los mismos.

Excepto por períodos muy cortos (mientras se están abriendo o cerrando (generalmente 1 milisegundo) los inyectores se encuentran o totalmente abiertos (y fluyendo el combustible calculado para la presión aplicada) o totalmente cerrados (no fluye combustible).

El caudal de los inyectores se dan en libras por hora (lbs/hr) o los centímetros cúbicos (mililitros) por minutos. Es esencial saber este dato de los inyectores a utilizar para calcular el REQ_FUEL.

Valores Medidos

Según lo observado arriba, se utilizan varios valores medidos en los cálculos. Éstos incluyen la presión absoluta múltiple (MAP) y temperatura del aire de admisión (IAT).

El sensor MAP funciona con una alimentación de +5 voltios, devolviendo una señal de entre 0 – 5 voltios, que es una función lineal de la presión absoluta en el sensor.

La presión absoluta es la presión comparada con un vacío total. La presión atmosférica normal es cerca de 101.3 kilopascales (kPa), o cerca de 14.7 PSI o 29.92 pulgadas del mercurio (“Hg”).

Presiones más bajas dan tensiones más bajas del sensor MAP.

Se utiliza el sensor MAP para tomar una lectura de la presión atmosférica antes de arrancar el motor, para aplicar las correcciones barométricas que compensan la presión atmosférica a diferentes altitudes.

La resistencia del sensor puede valer desde 100.000 ohmios a - 40°F (- 4,44°C) a 185 ohmios en 210°F (98,89°C).

Otros sensores pueden ser utilizados para un ajuste fino, como ser sensor de temperatura del líquido refrigerante, para el enriquecimiento por calentamiento, y un sensor de posición de mariposa, para el enriquecimiento por aceleración/desaceleración.

El sensor de temperatura del líquido refrigerante (**CLT**) es eléctricamente idéntico al sensor **IAT**. Funciona exactamente de la misma manera que el IAT, pero se utiliza para el enriquecimiento por calentamiento, la determinación del ancho del pulso, y controlar la válvula “fastidle” (de marcha lenta). A bajas temperaturas, el combustible se vaporiza mal, y más combustible es necesario asegurar suficiente combustible vaporizado para la combustión adecuada. La variación de temperatura de motor, que es igual al “clt” + la compensación de 40°F, se utiliza para decirle a la ECU cuándo el enriquecimiento por calentamiento es necesario. El ancho del pulso es determinado por el ajuste de baja temperatura (- 40°F) (“CWU”) y el ajuste de alta temperatura (170°F) (“CWH”). La anchura real del pulso es determinada por una interpolación lineal entre estos dos ajustes basados en la temperatura actual del líquido refrigerador (“clt”). Se activa la válvula de marcha lenta siempre que CLT esté debajo de “FASTIDLE”.

El sensor de TPS indica a la ECU la posición actual de la mariposa del múltiple de admisión. Esta variable se compara a las lecturas más recientes para determinar si la mariposa es cerrada o abierta rápidamente. Si es así, se adiciona combustible a la mezcla para en una apertura rápida, para así compensar las condiciones de transición. Esto funciona igual que la bomba de pique en un carburador.

El TPS también hace otras dos funciones importantes.

Primero, **si la mariposa está abierta más que una cantidad especificada durante el arranque, se invoca el modo “inundación” reduciendo el ancho de pulso inyectado a 0.3 milisegundos.**

Segundo, **si la mariposa está abierta a más el de 70%, se ignora la corrección por sonda lambda.**

El sensor del oxígeno de gases de escape (**EGO**) proporciona la realimentación a la ECU para saber si se está inyectando la cantidad de combustible correcta. El sensor del EGO (también llamado sensor O2 o sensor de oxígeno) mide la cantidad de oxígeno en los gases de escape, y envía una señal de 0 a 1 volt.

Se calcula el ajuste que se debe hacer en la cantidad de combustible para el siguiente evento de inyección de combustible. Menores tensiones de EGO significan mezcla mas pobre, y voltajes más altos significan mezclas más ricas.

Sin embargo, los sensores “de banda estrecha” convencionales no son particularmente exactos lejos de mezclas estequiométricas, así que las situaciones que exigen mezclas más ricas o más pobres deben apagar a la corrección por EGO.

El tamaño de paso es una constante, y es fijada por el usuario en la página de los enriquecimientos. El número total del paso permitido se fija con el $EGO \pm \text{limite } (\%)$.

El tiempo entre los pasos depende los “acontecimientos de encendido por paso” la ECU espera este número de chispas, entonces:

Si el sensor da una lectura pobre, la ECU aumenta el combustible en la cantidad del tamaño de paso del EGO.

Si el sensor da una lectura rica, la ECU disminuye el combustible por la cantidad del tamaño de paso del EGO.

Sin embargo si $EGO \pm \text{el límite } (\%)$ se ha alcanzado, la ECU no realizará la corrección más allá de eso.

Obviamente, esto recién empieza. Estos son partes de los conocimientos básicos para entender el tema.