

67



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CAMPUS ARAGÓN

“ANÁLISIS FUNCIONAL DE LOS SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA DEL AUTOMÓVIL MODERNO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MÉCANICO ELÉCTRICO

P R E S E N T A:

OLIVER SOLÍS MARTÍNEZ

ASESOR DE TESIS:

ING. ELEAZAR M. PINEDA DIAZ

282081

MÉXICO, D.F.

2000





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Gracias a mi esposa Lupita, a mis hijos
Sebastián y Oliver, que son una gran
motivación.

ÍNDICE TEMÁTICO

INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	4
CAPÍTULO I. OPERACIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	
I.1 Clasificación de motores.....	5
I.2 Motor de ciclo Otto de 4 tiempos.....	7
I.3 Especificaciones de motores.....	12
I.3.1. Trabajo y Par de torsión.....	12
I.3.2. Potencia del motor.....	14
I.3.3. Eficiencia del motor.....	17
I.3.4. Desplazamiento.....	18
I.3.5. Relación de compresión.....	20
I.4. El proceso de combustión.....	21
I.4.1. Composición química de la gasolina.....	21
I.4.2. Detonación.....	24
I.5. Emisiones automotrices.....	29
I.5.1. Origen de las emisiones.....	30
I.5.2. Química de la combustión.....	35
CAPITULO II. DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE CONTROL DEL MOTO	
II.1. Semiconductores.....	38
II.1.1. Diodos.....	39
II.1.2. Transistores.....	42
II.1.3. Tiristores.....	45
II.2. Transductores.....	48
II.2.1. Transductores de iluminación.....	48
II.2.2. Transductores de temperatura.....	56
II.2.3. Transductores de desplazamiento.....	62

II.2.4. Transductores de presión.-----	68
II.3. La computadora del automóvil-----	70
II.3.1. Estructura interna de la computadora.--	73
II.3.2. La computadora L-Jetronic.-----	78
II.3.3. La computadora Motronic.-----	83
CAPITULO III. ANÁLISIS FUNCIONAL DE LOS SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL MOTOR	
III.1 Sistema de Inyección Electrónica de combustible.-----	88
III.1.1. Factores de comportamiento.-----	88
III.1.2. Clases de inyección de gasolina.-----	92
III.1.3. Distribución de TBI-----	96
III.1.4. Inyección en puerto.-----	96
III.1.5. Inyección sincronizada en puerto-----	97
III.1.6. Factores que determinan la inyección.-	98
III.1.7. Sensores de presión absoluta.-----	101
III.1.8. Sensores de flujo de aire.-----	104
III.1.9. Sensores para la sincronización.-----	105
III.1.10. Sensor de posición de acelerador.----	107
III.1.11. Sensores de temperatura.-----	108
III.1.12. Sensor de detonación.-----	111
III.1.13. Sensor de presión barométrica.-----	112
III.1.14. Sensor de velocidad.-----	112
III.1.15. Sensor de oxígeno.-----	113
III.2 Control de Emisiones del Motor -----	115
III.2.1. Sistema de recirculación de gases de escape.-----	117
III.2.2. Sistema de inyección de aire.-----	120
III.2.3. Convertidor catalítico.-----	124
III.2.4. Control de emisiones evaporativas.----	125
III.2.5. Control de emisiones de gases del cárter.-----	129
III.2.6. Sistema de aire calentado a la entrada.-----	129
III.2.7. Sistema de control de aire en marcha mínima.-----	131

III.3. El encendido electrónico -----	133
III.3.1. Requerimientos del encendido.-----	133
III.3.2. Antecedentes.-----	139
III.3.3. Sistemas electromecánicos.-----	139
III.3.4. Sistemas de un solo transistor.-----	144
III.3.5. Sistemas con generador de impulsos.---	147
III.3.6. Encendido transistorizado.-----	162
III.3.7. Sistemas de encendido integrales.---	166

CONCLUSIONES-----	174
-------------------	-----

GLOSARIO DE TÉRMINOS-----	176
---------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA-----	183
-------------------	-----

INTRODUCCIÓN

Cada vez con más fuerza la Electrónica se está introduciendo en la industria y en la vida del hombre. Las ventajas que aporta son enormes y el perfeccionamiento de los productos en los que interviene es más evidente.

En el automóvil, como todos los grandes logros de nuestra civilización, se ve cada vez con mayor insistencia y eficacia, enriqueciendo con la aportación de las nuevas técnicas, de modo que a estas alturas la Electrónica ya se ha incorporado e integrado de una manera definitiva con los dispositivos que son propios de la conocida y tradicional mecánica del automóvil.

Dada la gran vitalidad que la fabricas de automoviles muestran en la adaptación de dispositivos regidos por sistemas electrónicos, puede decirse que, de año a año, se aprecian modificaciones en los elementos del automóvil, de modo que la gente involucrada en el campo automotriz, necesita estar al día de los dispositivos nuevos que el automóvil incorpora.

En términos reales podemos suponer que el día en que los motores de combustión interna para automóvil desaparezcan no será a corto plazo, debido al enorme tamaño de esta industria, y aunque existen alternativas que son una realidad, es un hecho que alrededor de esta industria hay intereses económicos bastante fuertes y miles de gentes trabajando desde la producción de la gasolina, la manufactura de los motores y el mantenimiento automotriz.

Estas circunstancias obligan a los ingenieros automotrices a desarrollar una mejor tecnología que haga posible seguir utilizando estos motores de manera más limpia y eficiente durante el tiempo que le tomará a la industria, una reconversión, que solo es posible a largo plazo, quizá algunas décadas.

Uno de los problemas más difíciles de resolver en grandes ciudades del mundo como la ciudad de México, es la contaminación del aire que respiramos. Uno de los orígenes de ésta contaminación es la emisión de gases de escape de los vehículos que tienen motor de combustión interna, esto es por la enorme cantidad de ellos funcionando en una área geográfica reducida y con condiciones climáticas que hacen difícil la dispersión de contaminantes. Precisamente dentro de este tipo de vehículos están los que usan gasolina como combustible y que representan una mayoría del total de vehículos, y aunque el gobierno ha implementado programas para reducir el índice de contaminación, como el llamado "Hoy no circula", no se ha tenido el éxito que se esperaba. Esto es debido a varios factores, entre ellos, la deficiente capacitación que tiene la gente encargada de dar mantenimiento a los vehículos y que difícilmente llega a comprender la nueva tecnología empleada por los fabricantes de vehículos y que en la mayoría de los casos no se dá ni el mantenimiento preventivo más simple. Por lo anterior, es muy importante estudiar y asimilar la tecnología actual, y más importante todavía si nuestra salud está en riesgo.

Al inicio de la década de los sesenta y a través de la década de los setenta, la problemática del medio ambiente y la contaminación del aire fueron los puntos de mayor preocupación para los fabricantes de automóviles, más que las características de buen rendimiento y funcionamiento. Con los años, las relaciones de compresión bajaron a niveles empleados en la década de los cuarenta. El rendimiento se salió de control junto con la economía.

Sin embargo, ya por finalizar este siglo, hay nuevas generaciones de motores y sistemas de combustible que han enfocado los problemas de economía de combustible, emisiones, rendimiento y funcionamiento, al rediseñar el motor de combustión interna. El rendimiento significa mucho más que solo

correr más rápido. Rendimiento significa también seguridad y costos razonables de mantenimiento.

En el primer capítulo se hace una descripción de los parámetros que rigen el funcionamiento de un motor de combustión interna a gasolina, para automoviles fabricados en serie, así como también los fenómenos que se presentan durante la operación de la máquina, y por supuesto, se plantea la necesidad de obtener la máxima potencia del motor dentro de los límites de emisiones permitidos por el gobierno.

En el segundo capítulo se encuentra el aspecto teórico de los dispositivos electrónicos que se utilizan en el diseño de los automoviles, así como la descripción de dos de los sistemas de control más exitosos basados en microprocesadores y microcontroladores.

En el tercer capítulo está el análisis funcional de los tres principales sistemas de control para el motor (la inyección de combustible, el control de emisiones y el encendido). Se presenta la información de manera que sea posible el entendimiento de como los fabricantes de automoviles pretenden alcanzar los objetivos planteados. Considerando los problemas que presenta una máquina de combustión interna, así como el satisfacer las necesidades de un gigantesco mercado de automóviles.

Posteriormente en las conclusiones, se hace una reflexión en relación a los alcances de la tesis en función de los objetivos planteados así como las expectativas que surgen con el desarrollo del trabajo.

En el caso de que el lector tenga posibles dudas sobre el significado de alguno de los términos utilizados podra consultar en la última parte de el presente trabajo, un glosario de términos y recibir de esta forma una información que le sitúe inmediatamente en el tema sobre el que se esté tratando.

OBJETIVO GENERAL

El principal objetivo de esta tesis es desarrollar un documento que sea útil para quien esté interesado en conocer los fenómenos que se presentan durante el funcionamiento de los motores de combustión interna a gasolina y las alternativas que ofrece la electrónica para controlar estos fenómenos y alcanzar la máxima eficiencia del automóvil.

CAPITULO I. OPERACIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

I.1 Clasificación de motores

Se requiere energía para producir potencia. La energía natural, como la del agua, se convierte en potencia útil mecánica de rotación por medio de dispositivos mecánicos como ruedas de agua y turbinas. La energía química del combustible se convierte en calor al quemar el combustible en forma controlada. Este proceso se llama combustión. Cuando ocurre la combustión en el motor en un espacio separado de la cámara que produce la potencia, se dice que es un motor de **combustión externa**. Si la combustión del motor ocurre dentro de la cámara de potencia, se trata de un motor de **combustión interna**. Convierten la energía química de la gasolina en calor dentro de una cámara llamada cámara de combustión. La energía calorífica liberada en la cámara de combustión eleva la temperatura de los gases de combustión dentro de la misma. El aumento en la temperatura de los gases hace que aumente la presión de estos. La presión desarrollada dentro de la cámara de combustión se aplica a la cabeza de un pistón o a una rueda de turbina para producir fuerza mecánica útil. Esta fuerza se convierte en potencia mecánica útil.

La mayor parte de los motores automotrices modernos son de pistón de movimiento alternativo accionados por gasolina. Las partes de un motor de automóvil se construyen lo mas livianas posible pero lo bastante fuertes como para que proporcionen durabilidad.

Los motores de combustión interna se describen refiriendose a sus diferentes características de diseño. Estos se pueden desglosar como sigue:

1. Ciclos de operación (cuatro y dos tiempos).
2. Tipos de encendido (por chispa y por compresión).

3. Método de enfriamiento (líquido, aire)
4. Configuración del motor (4 en línea, V-6, V-8)
5. Arreglo y número de válvulas
6. Número y ubicación del árbol de levas.

Este trabajo abarca principalmente motores automotrices de ciclo Otto de cuatro tiempos con encendido por chispa debido a que es la mayor parte del parque vehicular de automóviles de uso particular en el mundo y objeto de estudio en esta tesis.

1.2 Motor de ciclo Otto de cuatro tiempos

El motor Otto de cuatro tiempos se emplea predominantemente como máquina motriz de los automóviles de turismo.

El motor Otto de cuatro tiempos tiene un accionamiento por mecanismo cigüeñal que consta de pistón, biela y cigüeñal. El mecanismo de accionamiento por cigüeñal está encerrado en el cuerpo del motor que a su vez está formado por la culata del cilindro, el cilindro y la caja o cárter de cigüeñal. El pistón se desliza arriba y abajo en el cilindro. La biela transmite este movimiento al cigüeñal que está soportado en el cárter correspondiente, de este modo se transforma el movimiento de vaivén en un movimiento de rotación. Las válvulas que son accionadas por un árbol de levas, hacen posible la entrada o salida de los gases en los cilindros. El árbol de levas es accionado por el cigüeñal a través de una cadena y gira con la mitad del número de revoluciones que el cigüeñal. Para la formación de la mezcla aire/combustible es necesario un sistema que suministre combustible. Para provocar la combustión en el cilindro hace falta además un sistema de encendido. Un ciclo de trabajo se desarrolla en dos vueltas de cigüeñal.

Los cuatro tiempos del ciclo de trabajo son: admisión, compresión, expansión y expulsión. En la figura I.2.1 se muestra cada uno de los componentes que forman al motor.

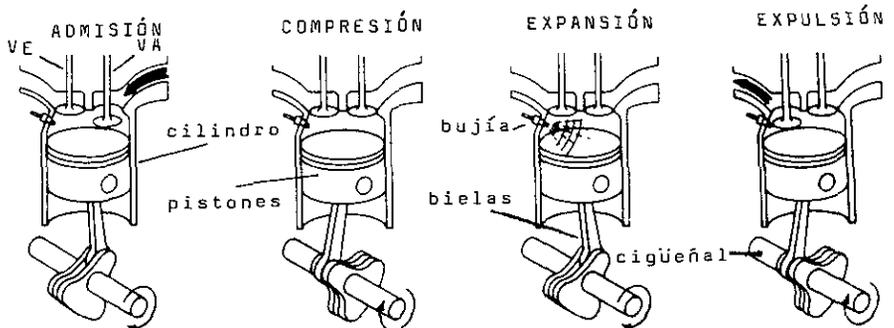


Figura I.2.1. Componentes principales que forman al motor en diferentes tiempos de trabajo.

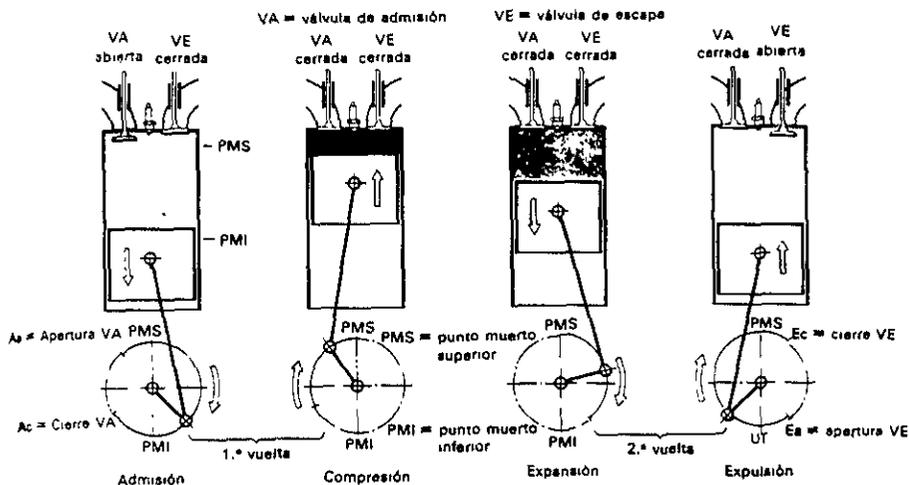


Figura I.2.2. Cuatro tiempos del ciclo Otto con su respectivo giro de cigueñal.

A continuación se explica cada uno de los tiempos del ciclo Otto presentados gráficamente en la figura I.2.2.

Primer tiempo-admisión

En el movimiento descendente del pistón se produce, como consecuencia del aumento del volúmen, una depresión de 0.1 a 0.2 bar y, por consiguiente, una aspiración. Esto hace posible que se forme una mezcla inflamable, la cual fluye hacia el cilindro a través de la válvula de admisión. Si la válvula de admisión estuviera abierta solamente durante el movimiento del pistón desde el PMS hasta el PMI (ángulo de rotación = 180° del

cigüeñal), entonces el cilindro se llenaría insuficientemente de gas fresco. Para mejorar el llenado, y con ello la potencia, la válvula de admisión se abre hasta 45° antes del PMS. El gas quemado expulsado del tiempo anterior genera una depresión que pone en movimiento el gas fresco antes de que el pistón se mueva hacia abajo. La válvula de admisión no cierra hasta 35 a 90° después del PMI, ya que los gases frescos, que circulan a una velocidad de 100 m/s, pueden seguir circulando algún tiempo más debido a la inercia, hasta que la presión generada por el pistón que se mueve hacia arriba lo frene.

2°Tiempo-Compresión

Al ascender el pistón, el gas nuevo se comprime hasta la sexta o décima parte del volumen inicial del cilindro. Si se compara el volumen por encima del pistón antes de la compresión con el volumen por encima del pistón después de la compresión se tiene la relación de la compresión.

En la compresión se desarrolla una temperatura de 400°C a 500°C, por lo cual la presión final de compresión puede alcanzar hasta 18 bar. La compresión favorece la gasificación del combustible y la mezcla de este con el aire. Con ello se prepara la combustión de modo que pueda ser rápida y completa en el tercer tiempo.

A temperatura constante, la presión y el volumen varían en relación inversamente proporcional en el cilindro. Si el volumen se reduce, por ejemplo, a la octava parte, la presión aumenta ocho veces.

Cuanto mayor es la relación de compresión de un motor Otto tanto mayor es el aprovechamiento de la energía del combustible y con ello el rendimiento del motor.

Pero, al aumentar la relación de compresión, la temperatura sube también. En función del combustible que se use, puede

aparecer el fenómeno de autoencendido (detonación).

3°Tiempo-Expansión (combustión y trabajo)

La combustión se realiza en virtud del salto de chispa de encendido entre los electrodos de la bujía. El espacio de tiempo comprendido entre el salto de la chispa y el total desarrollo de un frente de llamas es de unos 1/1000 de segundo y a una velocidad de combustión de 20 metros por segundo. Por ese motivo la chispa de encendido debe saltar, según el número de revoluciones del motor entre 0° y 40° antes del PMS con objeto de que la combustión que se produce a modo de explosión alcance poco después del PMS su máxima temperatura de 2000°C a 2500°C y la correspondiente presión de combustión llegue desde 30 bar hasta más de 60 bar. La gran parte del tiempo restante queda entonces disponible para la dilatación de los gases de combustión que están sometidos a una fuerte tensión de compresión. Con el movimiento de descenso del pistón hasta el PMI se transforma la energía térmica en trabajo mecánico. Hasta el final de este tercer tiempo disminuyen la presión y la temperatura a unos 4 a 3 bar y de 900° a 800°C, respectivamente.

4°Tiempo-Expulsión

Para descargar el conjunto cigüeñal en el PMI, la válvula de escape abre ya entre 40° y unos 90° antes del PMI. Gracias a la presión de 3 bar a 4 bar, los gases quemados salen del cilindro a la velocidad del sonido sin silenciador, los gases de salida chocarían con el aire exterior y crearían ondas sonoras de alta presión (alto nivel de ruido).

Al avanzar el pistón, se expulsa el resto de los gases quemados, a una presión residual de 0.2 bar. Para favorecer la salida de estos gases, la válvula de escape cierra después del PMS, mientras la válvula de admisión comienza ya a abrirse,

esta característica provoca además del vaciado y refrigeración de la cámara de combustión, la mejora del llenado. Los gases quemados no son visibles en tiempo caluroso. Pero en invierno, el vapor de agua se condensa en el aire frío y es visible en forma de niebla.

Si aparece humo negro, es que se está produciendo una mezcla combustible-aire demasiado rica. El humo azul indica que pasa aceite a los cilindros a través de las guías de válvula gastadas o aros de pistón gastados excesivamente.

I.3 Especificaciones de motores

I.3.1. Trabajo y par de torsión

La potencia producida por un motor se considera comunmente la característica de operación más importante. La "característica" es la propiedad especial de que se trata. Note que la potencia no es una medición básica. Potencia es la cantidad de trabajo producida en un tiempo especificado. Por ejemplo, se requiere más potencia para acelerar un vehículo de 0 a 100 KM/hr en 6 segundos que hacerlo en 10.

Trabajo es el resultado de una fuerza que actúa a lo largo de una distancia. La fuerza se mide en libras o kilogramos y la distancia en pies o metros.

$$\text{Trabajo} = \text{Fuerza} \times \text{Distancia}$$

El cigüeñal del motor no alza un peso para hacer su trabajo, pero si gira. El esfuerzo de torsión del eje se llama **par de torsión**. El par de torsión es una fuerza de rotación que se esta produciendo en una distancia. Los valores numéricos del par de torsión son similares a los del trabajo: lb pie y Kg m. En el sistema métrico el par de torsión se mide en Newtons-metros. El par de torsión es diferente del trabajo en el sistema métrico. El par de torsión en el sistema métrico se especifica en Newtons-metros. También se usan kilogramos-metros para el sistema métrico de Normas ISO (Kgm = 9.8 Nm).

La potencia que produce un motor se llama potencia en caballos. El termino Watt se usa para mediciones de la potencia en el sistema métrico. La potencia de un caballo es la potencia requerida para mover 550 pie lb/seg. Un watt es la potencia necesaria para producir en un segundo el trabajo de 1 Newton

metro. Este valor es demasiado pequeño para ser útil al medir la potencia de motores, de manera que se usa el término Kilowatt. Para relacionar el valor de las unidades de potencia, un caballo de potencia es igual a 0.746 Kilowatt. Expresado de otro modo, un kilowatt es igual a 1.34 caballos de potencia.

La potencia en caballos producida por el cigüeñal se mide con un dinamómetro conectado al mismo. El dinamómetro es un instrumento parte del equipo de ingeniería que aplica una carga sobre el motor. Esto hace que el motor trabaje. La carga puede ser mecánica, hidráulica o eléctrica, dependiendo del diseño del dinamómetro. La carga sostiene la velocidad del motor, así que se llama freno. La potencia en caballos medida en el dinamómetro se llama **potencia al freno**.

La carga sobre el motor es una fuerza. Se mide en libras, kilogramos o newtons. Se une un brazo al alojamiento del dinamómetro. Un dispositivo de medición, llamado escala de torsión, se sitúa en el extremo del brazo.

Cada vuelta del cigüeñal es igual a 3.1416 veces el diámetro. La longitud del brazo de escala es el radio. En una revolución, el trabajo desarrollado es igual a la lectura (fuerza) de la escala multiplicada por la distancia recorrida. La potencia se puede determinar conociendo que tan rápido se está trabajando. En los motores, el número de revoluciones que el cigüeñal hace en un minuto se toma como la base de tiempo. Se requiere la potencia de un caballo para desarrollar 33 000 pie lb de trabajo en un minuto.

La ecuación que determina la potencia en caballos del motor se basa en los hechos precedentes. La distancia recorrida en una revolución del cigüeñal es igual a 3.1416 (pi) multiplicada por el doble del radio (longitud del brazo). La distancia recorrida en un minuto es igual a $2 \times 3.1416 \times r$ multiplicado por las RPM del motor. La multiplicación de estos valores da el trabajo hecho en un minuto. Esta respuesta numérica se debe

dividir entre el equivalente de trabajo que 1 caballo de potencia puede hacer en un minuto (1 hp = 33 000 pie lb/min).

La ecuación para determinar la potencia al freno del motor, usando valores medidos con un dinamómetro, se expresa como sigue:

$$\text{hpf} = \frac{6.2832 \times R \times S \times \text{RPM}}{33\ 000 \text{ pie lb/min}}$$

En donde: hpf= Potencia al freno en caballos de fuerza.
 RPM= revoluciones por minuto.
 R = longitud del brazo (radio) en pies.
 S = lectura de la escala en libras.
 6.2832= dos veces pi.
 33000 pie lb/min = 1 hp.

Dado que $R \times S = \text{Par de torsión (T)}$:

$$\begin{aligned} \text{hpf} &= \frac{6.2832}{33\ 000 \text{ pie lb/min}} \times T \times \text{RPM} \\ &= \frac{1}{5252 \text{ lb pies/min}} \times T \times \text{RPM} \end{aligned}$$

En general, la ecuación que se usa para la potencia al freno es:

$$\text{hpf} = \frac{\text{Par de torsión} \times \text{RPM}}{5252} \quad (\text{En caballos de fuerza})$$

I.3.2. Potencia del motor

La presión de combustión sobre el pistón desarrolla la fuerza que el par de torsión imparte al cigüeñal. En un motor dado, el único modo de cambiar el par de torsión es modificando la presión producida por la combustión. Esto se puede hacer por los cambios en la cantidad de mezcla dentro del motor, en los tiempos de encendido, en la temperatura de refrigerante y en la relación aire/combustible de la carga de admisión.

La potencia real producida por un motor se llama potencia al freno. Se mide con un dinamómetro. Teóricamente, se produce mas potencia en el cilindro que la que llega al cigüeñal. La potencia teórica producida por un motor se llama potencia indicada. La base para esta potencia se calcula por el tamaño del motor, la velocidad de operación, y la presión desarrollada en el cilindro. La presión de combustión en el cilindro se ve en un osciloscopio que tiene un indicador de presión de cilindro unido a la bujía. El término "potencia indicada" viene de este indicador de cilindro. La presión indicada cambia continuamente a lo largo del ciclo. Primero, se determina la presión promedio o media con el indicador. La presión media es una presión constante que daría el mismo par de torsión a medida que cambia la presión en la cámara de combustión. Esta presión constante se llama presión media efectiva.

El par de torsión del motor resulta de la presión media efectiva (mep) que actua sobre la parte superior del pistón (área del corte transversal del cilindro) durante la carrera entera. La presión de combustión obliga al piston a ir hacia abajo en la carrera de potencia en cada cilindro. La potencia del motor resulta del número total de carreras de potencia por minuto. En el motor automotriz, hay una carrera de potencia en cada cilindro por cada dos revoluciones del cigüeñal. La potencia total desarrollada en un minuto se debe dividir entre 33 000 pie lb/min para dar la potencia indicada (hpi), la cual se calcula fácilmente usando la ecuación siguiente:

$$\text{Potencia indicada} = \frac{\text{PLANK}}{33\ 000 \text{ pie lb/min}}$$

En donde:

P = Presión indicada promedio o media.

L = Longitud de la carrera en pies.

A = Área de la sección transversal del cilindro en plg².

N = Número de carreras de potencia por minuto.

K = Número de cilindros.

33 000 pie lb/min = 1 hp.

Hay una pérdida evidente de potencia entre la potencia indicada desarrollada en el cilindro y la potencia entregada por el cigüeñal. Esta pérdida se define como pérdida por fricción. La potencia de fricción (hpF) es la potencia indicada menos la potencia al freno.

$$\text{Potencia de fricción (hpF)} = \text{hpi} - \text{hpf}$$

Potencia bruta contra potencia Neta

Los patrones de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE por sus siglas en inglés) para medir la potencia incluyen las clasificaciones de potencia bruta y neta. La potencia bruta es la potencia máxima que desarrolla un motor al funcionar sin accesorios. La potencia neta SAE es la potencia que desarrolla un motor instalado en el vehículo. Algunos de los accesorios serían por ejemplo: el conjunto purificador de aire, el ventilador de enfriamiento, el alternador, silenciadores, arrancadores, equipo de control de emisiones etc.

La diferencia en clasificaciones es 20% más baja para la clasificación neta. Antes de 1971, la mayor parte de los fabricantes utilizaban la clasificación de potencia bruta para fines publicitarios. Después de 1971, se empezó a dar la publicidad solo la potencia de clasificación neta SAE.

Potencia DIN contra potencia SAE

DIN significa Deutsche Industrie Norm (Norma Industrial de Alemania) y es similar a SAE. Los patrones de DIN para potencia neta varían ligeramente de los parámetros de prueba SAE. Todos los patrones de potencia DIN son netos. Para convertir de hp DIN a hp neta SAE, se multiplica por 0.963 para compensar las pequeñas diferencias en condiciones de prueba.

Potencia JIS contra potencia SAE

JIS es la organización de normas en Japón y es una abreviatura de Japan Industry Standard. A partir de 1985, todas

las clasificaciones de potencia JIS son las mismas de SAE, pues JIS se ajustó a las condiciones de prueba SAE. Para las lecturas de potencia neta de JIS antes de 1985, se multiplica la lectura por 0.984 para obtener la potencia SAE.

Consumo de combustible específico al freno

BSFC, son las siglas en inglés. BSFC es otro factor calculado que proporciona un dinamómetro.

$$\text{BSFC} = \frac{\text{lb de combustible por hora}}{\text{hp}} = \frac{\text{libras}}{\text{hp. hora}}$$

Cuanto más bajo resulte el número de BSFC, más eficiente es el motor. Lo más bajo en BSFC se presenta de igual manera a una velocidad del motor correspondiente a las RPM del máximo par de torsión. Esta medición ayuda a los ingenieros a determinar la relación correcta final de conducción para el mejor funcionamiento y economía de combustible.

I.3.3. Eficiencia del motor

La eficiencia se determina dividiendo una entrada entre una salida. Tanto lo que entra como lo que sale debe estar en las mismas estipulaciones.

Los valores de potencia se pueden usar para comparar motores. La potencia al freno (hp_f) dividida entre la Potencia Indicada (hp_i) dá la eficiencia mecánica del motor.

$$\text{Eficiencia mecánica} = \frac{\text{hp}_f}{\text{hp}_i}$$

La eficiencia volumétrica relaciona el aire real consumido por un motor, comparado con el aire máximo posible que podría haber empleado a esa velocidad.

$$\text{Eficiencia volumétrica} = \frac{\text{aire real empleado}}{\text{aire máximo posible empleado}} \times 100$$

La eficiencia volumétrica se expresa en porcentaje y las unidades para la cantidad de aire pueden ser centímetros cúbicos o pies cúbicos.

Todo cambio en la posición del estrangulador, la velocidad del motor, o la carga sobre él, cambiará su eficiencia volumétrica.

Un tercer tipo de eficiencia de motor es la eficiencia térmica, la cual relaciona la máxima energía térmica disponible en el combustible con el equivalente térmico de la potencia al freno producida por el motor. La potencia de un caballo equivale a 42.4 Btu/min. La gasolina tiene 110 000 Btu/gal aproximadamente. Con estas cifras, la eficiencia térmica de un motor se puede calcular con la fórmula siguiente:

$$\text{Eficiencia térmica} = \frac{\text{hp} \times 42.4 \text{ Btu/min}}{110\,000 \text{ Btu/gal} \times \text{gal. usados/min}}$$

Donde: hp= potencia al freno
 42.4 Btu/min =energía térmica de un caballo
 110 000 Btu/gal = energía térmica de la gasolina
 gal.usados/min= gasolina usada por unidad de tiempo.

La eficiencia térmica máxima de un motor a gasolina es de aproximadamente de un 25%. El resto de la energía térmica se aplica para vencer la fricción, o es expelida con la descarga de gases calientes o por el sistema de enfriamiento.

I.3.4. Desplazamiento

La potencia que produce un motor es directamente proporcional a la masa de aire empleada para quemar el combustible. La masa se especifica en libras o kilogramos, así que se puede igualar con el peso. El peso, sin embargo, es sólo el efecto de la

gravedad sobre un objeto. En el estudio de los motores automotrices, la masa de aire se considera igual que el peso de aire.

Varios factores regulan la cantidad o masa de aire que entra al motor. Uno de los mas fáciles de entender es la velocidad del motor. Con el estrangulador completamente abierto, la cantidad de aire que entra al motor cada minuto, aumenta a medida que se incrementa su velocidad. En cierto punto el motor alcanza una velocidad en la cual produce la máxima potencia cuando ya no puede entrar mas aire al motor. Cualquier aumento en la velocidad causaría una pérdida en la potencia producida. Un turbocargador puede forzar más aire dentro de un motor para aumentar la potencia producida. La cantidad de aire que entra al motor a gasolina está restringida por una válvula de estrangulación para regular la potencia del mismo. Otros factores de restricción se diseñan en el interior del motor, los cuales estan fuera de control del conductor, e incluyen el desplazamiento del motor, el tamaño de los conductos del sistema de admisión y descarga, y la abertura y cierre de válvulas.

El tamaño del motor se describe en función del desplazamiento. El desplazamiento es el volúmen interior de los cilindros del motor, en pulgadas cúbicas o centímetros cúbicos, desplazado o barrido por los pistones.

Un litro es igual a 1000 cm³ (cc), por eso, la mayor parte de los motores de hoy en día se identifican por su desplazamiento en litros.

La fórmula para calcular el desplazamiento de un motor es básicamente la fórmula para determinar el volúmen de un cilindro, multiplicado por el número de cilindros.

$$\text{Desplazamiento} = \frac{\pi \times \text{diámetro}^2 \times \text{altura} \times \text{N}^\circ \text{de cilindros}}{4}$$

Donde: Diámetro= diámetro del pistón en centímetros.
altura =distancia que recorre el pistón desde el inicio de su carrera hasta el final.
El desplazamiento queda en centímetros cúbicos.

I.3.5. Relación de compresión

La relación de compresión de un motor es una consideración importante al reconstruir o reparar un motor porque de aumentarse se produciría detonación o golpeteo, y si se reduce se pierde potencia.

La relación de compresión es la relación del volúmen en el cilindro sobre el pistón, cuando está al principio de la carrera respecto al volúmen en el cilindro sobre el pistón, cuando él se encuentra al final de la carrera.

$$* \quad CR = \frac{\text{volúmen del cilindro con el pistón en PMI}}{\text{volúmen del cilindro con el pistón en PMS}}$$

Donde:

PMI es el punto muerto inferior del cilindro.
PMS es el punto muerto superior del cilindro.
Los volúmenes pueden estar en cm³ o pies³.

La relación de compresión es un factor sin unidades.

* Todas las fórmulas correspondientes al tema 1.3, se encuentran en el capítulo 2 del libro Ajuste de motores y control de emisiones de Herbert E. Ellinger y James D. Halderman. Páginas 13 a 30.

1.4 El proceso de combustión

Los motores de los automóviles emplean normalmente gasolina como carburante. Otros tipos de motores, como por ejemplo, los montados en tractores, camiones y autobuses, utilizan queroseno, alcohol, fuel oil o gas licuado. Dado que el presente trabajo se ocupa solo de los motores a gasolina, sólo de esta última se comentarán las diversas características y fenómenos que se presentan en los motores.

1.4.1. Composición química de la gasolina

A primera vista la gasolina aparece como una materia simple. Es un líquido claro o coloreado que se evapora rápidamente de un recipiente plano y arde violentamente en aire libre. Sin embargo, no es una materia simple. Es una mezcla compleja de varios compuestos. Es una combinación de cierto número de carburantes fundamentales, cada uno de los cuales contribuye con sus propias características en la mezcla.

La gasolina es un hidrocarburo, por estar constituido por compuestos de hidrógeno y carbono. Cuando la gasolina arde, sus átomos de hidrógeno y carbono se separan y se combinan con los de oxígeno. Este proceso de combustión produce la alta presión en el cilindro y que obliga al pistón a ir hacia abajo y crea la fuerza del motor.

La gasolina se obtiene del petróleo crudo. El petróleo es una mezcla muy complicada de muchos compuestos. Las refinerías lo separan en varias sustancias. En ellas se alteran muchos de sus compuestos originales y se forman nuevos compuestos a lo largo del proceso de refinado. La gasolina es un compuesto de diferentes hidrocarburos básicos, cada uno de ellos con su conjunto de características. Con el tratamiento y mezcla de carburantes básicos se obtiene gasolina apta para las distintas

condiciones de funcionamiento en que han de utilizarse los motores. Entre los factores que hay que considerar en la destilación se encuentran, volatilidad, valor antidetonante y ausencia de sustancias nocivas.

Volatilidad. La volatilidad es la capacidad de la gasolina y de otros líquidos para vaporizarse. La volatilidad de un compuesto simple como el agua o el alcohol viene determinada por el aumento de temperatura hasta que hierve o se vaporiza.

Una sustancia altamente volátil se evapora mucho más rápidamente a baja temperatura que una sustancia de baja volatilidad.

La gasolina es un compuesto de diferentes hidrocarburos con puntos de ebullición y vaporización distintos. Esta combinación permite un funcionamiento satisfactorio en las diversas condiciones de marcha con que se enfrenta un motor, a saber:

1. Arranque fácil. Para que el arranque sea fácil estando el motor frío, la gasolina debe ser muy volátil a fin de que se vaporice con rapidéz. Tanto el aire como el propio carburante se hallan a baja temperatura. Un cierto porcentaje de la gasolina debe ser pues lo suficientemente volátil como para facilitar el arranque en frío. En invierno, el porcentaje de gasolina volátil se aumenta con el fin de facilitar el arranque en tiempo frío. Este porcentaje se varía según sea el lugar donde se consume.

2. Eliminación de bolsas de vapor. Si la gasolina es exesivamente volátil, el calor radiado por el motor puede dar lugar a que se vaporice en los conductos y en la propia bomba. Este fenómeno crea "bolsas" de gas que impiden el bombeo normal. El motor se detiene o pierde fuerza por falta de alimentación. Resulta pues que los requisitos para una arranque fácil y la exigencia

de que no se formen bolsas de vapor son antagónicos. Es decir, debe existir gasolina altamente volátil en cantidad suficiente para que el motor arranque bien en frío, pero no tanta como para dar lugar a las bosas de vapor.

3. Calentamiento rápido. La rapidez con la que el motor se caliente depende en parte del porcentaje de gasolina capaz de vaporizarse al arrancar el motor. La volatilidad para este fin no precisa ser tan elevada como para el fácil arranque.

4. Aceleración suave. Cuando se abre la mariposa para acelerar, se produce un súbito incremento de aire que se dirige a los cilindros, si la gasolina no se vaporiza con rapidez durante este intervalo, llega a los cilindros una gran masa de aire carente de su debida proporción de vapor de gasolina. El resultado es una aceleración desigual y de poca potencia. Debe pues existir el porcentaje de gasolina lo suficientemente volátil como para evitar este fenómeno.

5. Economía de consumo. Para un consumo correcto con el máximo kilometraje por litro, el combustible debe poseer alto poder calorífico y volatilidad relativamente baja.

6. Prevención de disoluciones en el cárter del motor. Si la gasolina no es suficientemente volátil, parte de ella penetrara en los cilindros en estado líquido, en forma de pequeñas gotas no evaporadas. Estas gotitas se difunden por las paredes de los cilindros, arrastrando con ellas la capa existente de aceite lubricante. Esta forma de eliminación de aceite aumenta el índice de desgaste del cilindro, del pistón y de los segmentos. Es más, la gasolina líquida pasa a través de los segmentos y penetra en el cárter diluyendo el aceite que con esto pierde parte de su poder lubricante.

I.4.2. Detonación

Durante la combustión normal en el cilindro, se produce un aumento regular y uniforme de presión. Pero si el combustible se quema con excesiva rapidez o "explota", tendremos un aumento súbito y pronunciado de presión. Este aumento súbito de presión produce un ruido de golpeteo que suena como martilleo sobre la cabeza del pistón. El hecho puede ser causa de grave daño al motor, desgastando rápidamente sus partes móviles y llegando en algunos casos a la rotura de algunas de sus piezas. Por otra parte se pierde energía de la gasolina, puesto que el súbito aumento de presión en nada contribuye a la producción de potencia.

Para entender el porqué se produce la detonación, es necesario comprender antes lo que le ocurre a cualquier gas cuando se comprime.

Cuando se comprime el aire hasta una quinceava parte de su volumen (relación de compresión 15:1) la temperatura del aire aumenta alrededor de 1000°F (537°C). Cuando más se comprime un gas, mayor es la temperatura que adquiere. Esta temperatura recibe el nombre de " calor de compresión".

Durante la combustión normal del carburante en la cámara de combustión, la chispa que salta de la bujía inicia el proceso de combustión. La llama se extiende desde la bujía en todas direcciones de modo semejante a un globo de goma que explota. La llama se propaga rápidamente por la mezcla comprimida en la cámara de combustión, hasta que toda la carga ha ardido. La velocidad de la llama se denomina "relación de propagación de la llama". Durante la combustión, la presión aumenta hasta varios centenares de libras por pulgada cuadrada. Llega y aún excede las 1000 libras por pulgada cuadrada (70 Kg/cm^2) en los motores modernos de alta compresión.

Bajo ciertas condiciones, la última parte de la mezcla comprimida explota antes de que el frente de la llama le alcance. Recuerdese que estos gases residuales han estado sometidos a una creciente presión al compás de la progresión de la llama a través de la mezcla. Esta acción ha dado lugar a un aumento de temperatura de los mismos. Si la temperatura alcanza el punto crítico, aquellos gases explotarán antes de que el frente de la llama los alcance. El efecto producido es casi el mismo que si la cabeza del pistón fuese golpeada con un potente martillo, pudiendo llegar a romperse alguna pieza si la detonación es lo suficientemente grave.

Al ir en aumento las relaciones de compresión de los motores, aumenta también la tendencia a detonar. Con más altas relaciones de compresión, la mezcla, está sometida a más altas presiones y se halla a una temperatura inicial más alta. La detonación se produce más fácilmente.

Valor antidetonante

Son varios los métodos desarrollados para comprobar los carburantes y determinar su tendencia a detonar en los motores. Algunos carburantes detonan con bastante facilidad; otros presentan gran resistencia a la detonación. El índice real de un carburante se expresa en **índices de octano**.

Una gasolina de alto octano es altamente resistente a la detonación; una gasolina de bajo octano detona con facilidad. Existe una gasolina llamada iso-octano muy resistente a la detonación. Se la distingue con el índice 100.

El combustible llamado heptano detóna con mucha facilidad. Es el de índice 0. Una mezcla de 90% de iso-octano y 10% de heptano sería de un índice de 90.

Control químico de la detonación

Con el fin de obtener gasolinas de más alto octanaje para los motores de alta compresión, se han ensayado multitud de compuestos químicos. Con su añadidura a la gasolina, algunos de estos productos confieren a la misma un efecto inhibitorio que evita la detonación. Una de las teorías relativas a este efecto afirma que el producto retrasa la propagación de la llama por la mezcla comprimida evitando el aumento rápido de la presión y el prensado de los residuos de la carga que la harían explotar. Uno de los productos más eficaces para evitar la detonación fue el tetraetilato de plomo. Una pequeña dosis añadida a la gasolina aumenta su octanaje. Dentro de ciertos límites, cuanto mayor es la dosis, más alto es el índice de octano.

Factores que afectan a la detonación

En cualquiera que sea el motor, son muchos los factores que afectan la propensión a detonar. Se han realizado numerosas pruebas con miras a establecer la relación existente entre humedad, avance de chispa y depósitos de carbón en los cilindros con la propensión a detonar. Los resultados de las pruebas se dan, por lo general, como aumento necesario del número de octano para eliminar la detonación. Por ejemplo, un motor caliente detona con mayor facilidad que uno frío. Con el fin de obtener datos exactos sobre este particular, se hace funcionar un motor en frío con el carburante de más bajo octanaje sin que llegue a producirse detonación. Después se opera igualmente con el motor caliente y la diferencia en números de octano indica el aumento requerido al calentarse el motor.

Cierta prueba, por ejemplo, mostró que el aumento de temperatura del agua de refrigeración de un motor desde 100°F hasta 190°F, aumentó la exigencia de octano en 22 números.

Otras pruebas realizadas arrojaron los siguientes resultados:

1. Un aumento de 20°F en la temperatura del aire eleva la exigencia de octano alrededor de tres números.
2. Una elevación de humedad desde 40% a 50% a 85°F reduce el número de octano. Esto constituye una prueba de laboratorio que viene a configurar la extendida creencia de que el motor gira mejor y mas suavemente en tiempo humedo.
3. Los depósitos en el motor aumentan la exigencia de octano porque elevan la relación de compresión (parte del espacio de compresión es ocupado por los depósitos). Una serie de pruebas mostraron que un recorrido de 10 000 millas, los depósitos aumentaron la exigencia de octano en nueve unidades.
4. El avance la la chispa o la debilitación de la mezcla aumentan la exigencia de octano.

Todos estos factores apuntan a la necesidad de un buen mantenimiento de los motores modernos, altamente comprimidos. La acumulación de costras en el sistema de refrigeración disminuyen el efecto refrigerante. Los depósitos de residuo en la cámara de combustión. Las obstrucciones en los conductos de carburantes en las boquillas, que empobrecen la mezcla y la incorrecta regulación de los tiempos de encendido aumentan la propensión a detonar .

Exigencias de octano

La exigencia de octano de un motor viene determinada fundamentalmente por su diseño. No obstante, esta exigencia cambia con las condiciones climáticas y con las de conducción, así como las condiciones mecánicas del motor.

Aparte de lo expuesto anteriormente, la forma en que el conductor maneja el vehículo ejerce una sensible influencia en las necesidades de octano. Si el conductor es ponderado y no exige al vehículo arranques excesivamente rápidos ni altas velocidades, abrirá totalmente la mariposa en pocas ocasiones y el motor tenderá mucho menos a detonar.

Es interesante mencionar que los cambios automáticos presentan una diferencia en la exigencia de octano. Con cambio automático, el motor, por lo general gira con mariposa parcialmente abierta o totalmente abierta, a un número de revoluciones por minuto bastante elevado. Son pocas las ocasiones en que se marcha con motor a baja velocidad con mariposa totalmente abierta, circunstancia que suele darse con cambios manuales. Con cambio automático no hay que preocuparse de la posible detonación en marcha a baja velocidad con mariposa totalmente abierta, pues son menos las ocasiones en que se dá este tipo de funcionamiento.

I.5. Emisiones Automotrices

La acción de combinar aire y combustible en la cámara de combustión, elevando la temperatura de esa carga por medio de la compresión y encendiendola con una bujía, es una forma sucia y relativamente deficiente de hacer que un automóvil se desplace por los caminos. Una gran cantidad de sustancias químicas tóxicas y no tóxicas se producen y se dirigen hacia la atmósfera y las aguas subterráneas. La manera de percibir la producción y naturaleza de estas sustancias químicas, puede ayudar a la comprensión de los fenómenos que se presentan en un motor, a controlar los mismos y a localizar fallas de una forma más eficiente.

El combustible utilizado en automóviles es la gasolina, que es un hidrocarburo complejo formado de aproximadamente 86% de carbón y 14% de hidrógeno, por peso. Trazas de impurezas contribuyen a la nociva nube que sale por el escape. El azufre puede combinarse con el oxígeno durante el proceso de combustión para producir ácido sulfúrico y dióxido de azufre. Además, se usa una gran variedad de aditivos.

Hasta hace pocos años, el tetraetilo de plomo o el tetrametilo de plomo se usó como inhibidor de golpeteo o autoencendido. Cuando se oxida en la cámara de combustión, no solo produce un ácido sino que también contribuye a la contaminación por plomo del medio ambiente. Nuevas legislaciones junto con la incompatibilidad de tales sustancias químicas con los convertidores catalíticos y los sensores de oxígeno, dieron origen a que ya no se usen en la mayoría de los países desarrollados y poco a poco se dejen de usar en países en vías de desarrollo. Sustancias químicas como el etermetil terbutílico se usan ahora como inhibidores del golpeteo. Otros aditivos como químicos contra envejecimiento, detergentes, sustancias

anticongelantes y anticorrosivas, forman el compuesto final que se vierte al tanque de gasolina.

1.5.1. Origen de las emisiones

El aire por si mismo es un compuesto que da origen a la contaminación de la atmósfera. Aproximadamente, el 78% del aire que respiramos es nitrógeno. Cuando este nitrógeno se combina con el oxígeno durante el proceso de combustión, puede producir monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂).

El aire también contiene aproximadamente 21% de oxígeno. El otro 1% consiste en trazas de varios gases como xenón, neón, argón, etc.

Cuando el aire y la gasolina se mezclan y se produce la combustión, se produce una combinación del oxígeno de la atmósfera con el hidrógeno y los elementos carbónicos de la gasolina. Si se combina aire y gasolina en una proporción correcta (conocida como **relación estequiométrica**), se aplica el calor suficiente y se enciende la mezcla con una chispa adecuada, entonces ocurre el encendido perfecto. Los elementos de carbono de la gasolina se combinan con el oxígeno del aire para formar dióxido de carbono (CO₂). Los elementos de hidrógeno de la gasolina se combinan con los elementos de oxígeno del aire para formar agua (H₂O). El resultado de una combustión científicamente mezclada de aire y combustible a la temperatura exacta de encendido es, por tanto, **dióxido de carbono y agua**.

La combustión incompleta ocurre cada vez que uno de los cuatro elementos de la combustión completa, aire, combustible, calor o chispa se sale de balance. Algunos de los productos tóxicos desagradables que se derivan de la combustión incompleta, o de una combustión completa que ocurrió a una temperatura demasiado alta, son varias parafinas, olefinas,

hidrocarburos aromáticos, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, hidrocarburos policíclicos, monóxido de carbono, acetileno, etileno, hidrógeno, hollín, óxidos de nitrógeno, peróxidos orgánicos, ozono, nitratos de peroxiacetilo, óxido sulfúrico; así como los tóxicos de los aditivos, óxidos de plomo y halogénidos de plomo.

En este capítulo solo se definirá y explicará acerca de los contaminantes que tienen una grave repercusión en el ambiente y a su vez están contemplados en las normas de todos los países que tienen legislación acerca de las emisiones automotrices.

Dióxido de carbono

Las emisiones de dióxido de carbono son de constante preocupación en la industria automovilística. Dado que es el resultado de la combustión completa, la meta de muchos de los dispositivos para controlar la contaminación en los motores modernos de ignición a chispa es incrementar la salida de CO₂; sin embargo, este no es inofensivo. Los niveles de dióxido de carbono incrementados en la atmósfera se han relacionado con el efecto de invernadero. Hay teorías acerca de que la combustión de combustibles fósiles junto con la reducción de la vegetación mundial, están originando que los niveles de dióxido de carbono se eleven hasta el punto en que el calor solar quede atrapado en la atmósfera terrestre, lo que origina un incremento de temperatura; sin embargo, la industria automovilística no ha recibido instrucciones de reducir niveles de emisiones de dióxido de carbono.

Los niveles de dióxido de carbono en el escape son un elemento valioso en el diagnóstico. Una lectura entre el 10% y el 15% indica que la calidad de la combustión es buena y que el sistema de escape no tiene fugas. A mayor cercanía de la lectura al 15%, mejor es la calidad general de la combustión.

Niveles bajos de dióxido de carbono pueden ser el resultante de pobre calidad de la ignición: baja compresión, fugas en el escape, proporción incorrecta de aire/combustible y fugas de vacío.

Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono (CO) es un gas inoloro, incoloro y sin sabor altamente tóxico y peligroso. Una exposición de treinta minutos a una concentración de CO de solamente 0.3% por volumen puede ser fatal. Este porcentaje es bastante bajo aún para los reglamentos para lecturas en tubos de escape. Aún trabajar en un vehículo con emisiones controladas con el motor funcionando dentro de un taller cerrado es peligroso. Adicionalmente, los globulos rojos tienen quince veces más afinidad hacia el monóxido de carbono para el oxígeno. Como resultado una exposición a largo plazo o aun a niveles inferiores puede ser peligrosa para la salud.

El monóxido de carbono se produce siempre que la flama al frente se queda sin oxígeno a medida que viaja a través de la cámara de combustión. Esta deficiencia de oxígeno puede ocurrir cuando no exista suficiente oxígeno en la cámara de combustión, o cuando existe demasiado combustible (el motor esta funcionando con mezcla rica). Si el suministro de oxígeno ha sido suficiente, entonces el elemento carbono del combustible tendría que ser capaz de recoger sus dos partes de oxígeno y completar su transición a dióxido de carbono. Debido al suministro inadecuado de oxígeno, el carbono podría combinarse solamente con una parte de oxígeno, deteniendose en monóxido de carbono.

Para fines de diagnóstico y localización de fallas, el CO se utiliza como indicador de las condiciones de funcionamiento con mezcla rica y pobre. Un nivel de CO por arriba de uno o

dos por ciento en el tubo de escape en un vehículo equipado con convertidor catalítico indica que el motor esta funcionando con mezcla extremadamente rica.

Hidrocarburos

El hidrocarburo (HC) es un término general utilizado para un amplio rango de compuestos químicos tóxicos y carcinógenos, que se producen durante la combustión de la gasolina. Muchos de estos compuestos químicos en la presencia de óxidos de nitrógeno y la luz solar producen el smog fotoquímico. Este es el elemento que irrita los ojos, la nariz y las membranas mucosas. Aunque las cantidades de hidrocarburos son a la vista ambientalmente hablando como una sopa llena de substancias peligrosas, por sus características, se acostumbra tratarlas como a una sola.

Los niveles permisibles de CO son relativamente altos en comparación con HC. En CO se permite de uno a dos por ciento aún para los autos último modelo. La concentración permisible de varias emisiones de hidrocarburo es extremadamente baja, solamente de 100 a 300 partes por millón. Expresándolo en porcentajes un nivel permisible de hidrocarburos es solamente de 0.002 a 0.003 por ciento.

Óxidos de nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno incluyen tanto el monóxido como el dióxido de nitrógeno. Normalmente estos dos compuestos químicos están agrupados y se refieren como un óxido nitroso (NOx). El monóxido de nitrógeno es un gas inodoro, incoloro y sin sabor básicamente inofensivo en el medio ambiente. Sin embargo, al producirse junto con el oxígeno se forma el dióxido de nitrógeno.

El dióxido de nitrógeno es un gas venenoso de color café rojizo que destruye los tejidos pulmonares.

El NOx se forma cuando las temperaturas de combustión se exceden los 2500°F. A estas temperaturas el nitrógeno se combina químicamente con el oxígeno (se quema). Aunque el NOx no se mide generalmente para propósitos de diagnóstico, es el responsable principal de la emisión contaminante en los sistemas de inyección de combustible con sensor de oxígeno. El nivel permisible de NOx desde 1982 ha sido de 1.0 gramos por milla.

Puesto que actualmente no existe una manera económica para medir el NOx, no se toma en cuenta para el diagnóstico. Los niveles de NOx se incrementarán, sin embargo, cuando las temperaturas de combustión se eleven como resultado de alguna modificación en el tiempo de encendido inicial, relación pobre de aire-combustible, alta compresión (como la causada por la formación de carbón en los pistones) y fugas de vacío.

Fuentes de emisiones

Los automóviles de combustión interna pueden producir gases contaminantes de dos maneras.

1. La gasolina se convierte en vapor a temperatura ambiente.

Si este vapor escapa hacia la atmósfera desde el tanque de combustible o cualquier otra fuga, la contaminación por hidrocarburos ocurre.

2. Cuando el combustible es quemado durante el proceso de combustión, tres tipos de gases venenosos son producidos y emitidos hacia la atmósfera. HC, CO y NOx.

Las medidas para influir en la composición de los gases de escape en el motor Otto se pueden descomponer en "medidas en el motor" y "medidas de tratamiento posterior". Según la legislación de cada país se adoptan las medidas que correspondan. Actualmente los países se dividen en tres grupos:

- Países Europeos (Comisión Económica Europea).
- Australia y países asociados (Entre ellos está México).
- Estados Unidos, Japón, Suiza, Austria, Suecia y Canadá.

Cada gobierno pone límites a la cantidad de gases contaminantes que los vehículos pueden producir. Por estos límites los fabricantes se esfuerzan en incorporar sofisticados sistemas de control de emisiones en los automóviles nuevos. Estos sistemas son diseñados para reducir la cantidad de contaminantes fijados por el gobierno. Solo que si los sistemas de control de emisiones no estan funcionando correctamente, no solo se incrementan los niveles de emisiones contaminantes sino que el desempeño de la máquina se afecta seriamente.

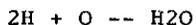
I.5.2. Química de la combustión

El término combustión se refiere al proceso químico en el cual el oxígeno y el combustible se combinan rápidamente a altas temperaturas (mas de 700° F). Este proceso libera grandes cantidades de calor.

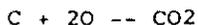
Una gasolina típica está compuesta por átomos de carbón y átomos de hidrógeno. El aire es la fuente de oxígeno. El aire está compuesto aproximadamente de 80% de nitrógeno y 20% de oxígeno.

Si una cantidad de oxígeno y combustible son combinados y encendidos, la siguiente reacción química es de la siguiente manera:

1. Dos átomos de hidrógeno (del combustible) se combinan con un átomo de oxígeno (del aire) para formar una molécula de agua.



2. Un átomo de carbono se combina con dos átomos de oxígeno para formar una molécula de dióxido de carbono.



3. Un átomo de carbono se combina con un átomo de oxígeno para formar una molécula de monóxido de carbono.



4. Una molécula de monóxido de carbono combinada con un átomo de oxígeno forma una molécula de dióxido de carbono.



Si el calor generado por estas reacciones se incrementa a más de 2300°F, otra reacción ocurre.

Un átomo de nitrógeno (del aire) se combina con uno o dos átomos de oxígeno (del aire) formando óxidos de nitrógeno (NOx).



Se debe usar solo la suficiente cantidad de aire con la correcta cantidad de oxígeno para combinar todo el hidrógeno del combustible, produciendo así, H₂O y CO₂. Para lograr la relación estequiométrica de 14.7 partes de aire por una parte de combustible.

Si hay menos de 14.7 partes de aire por una de combustible (mezcla rica) el oxígeno es insuficiente para combinarse con todo el hidrógeno.

Si hay más de 14.7 partes de aire por cada parte de combustible (mezcla pobre) el exceso de nitrógeno y oxígeno absorberá el calor de la combustión, reduciendo la temperatura de combustión. Esto reducirá el torque y la flama en la cámara de combustión se extinguirá prematuramente causando una marcha inestable.

Los gases contaminantes del escape son controlados en gran medida por una computadora de la siguiente manera:

1. Determina la cantidad de aire fluyendo hacia el motor, así como la cantidad de oxígeno existente en el gas del escape.

2. Controlando la cantidad de combustible que el motor necesita para mantener la proporción de 14.7-1.
3. Los óxidos de nitrógeno son reducidos adicionando gases de escape (principalmente nitrógeno, H₂O y CO₂).

CAPITULO II. DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE CONTROL DEL MOTOR

II.1 Semiconductores

Un semiconductor es un elemento con valencia igual a cuatro. Esto significa que un átomo aislado de semiconductor tiene cuatro electrones en su órbita exterior o de valencia. El número de electrones en la órbita de valencia es clave para la conductividad eléctrica. Los conductores poseen un electrón de valencia, los semiconductores tienen cuatro electrones de valencia y los aislantes ocho electrones de valencia.

El germanio es un ejemplo de semiconductor, es decir, un material cuya conductividad es intermedia entre la de un conductor y la de un aislante. El material semiconductor más utilizado es el silicio. Un átomo de silicio tiene 14 protones y 14 electrones. Cuatro de estos electrones están en su órbita exterior. Cuando los átomos de silicio se combinan para formar un sólido, automáticamente se dispone de un patrón ordenado llamado cristal. Cada átomo de silicio comparte sus electrones con los demás átomos de silicio, de tal manera que tenga ocho electrones en su órbita de valencia. En este momento el átomo se vuelve químicamente estable.

La temperatura ambiente es la temperatura del aire circundante. Cuando esta temperatura es mayor que el cero absoluto (-273°C), la energía térmica del aire circundante hace que los átomos en un cristal de silicio vibren dentro del cristal. Las vibraciones de los átomos de silicio pueden ocasionalmente hacer que se desligue un electrón de la órbita de valencia. El átomo liberado gana la energía suficiente para situarse en una órbita mayor donde será un electrón libre. Además la salida del electrón deja un vacío en la órbita de valencia, a este vacío se le llama hueco. A este tipo de conductor se

le llama conductor intrínseco. A temperatura ambiente, un cristal de silicio es casi un aislante.

Una forma de aumentar la conductividad de un semiconductor es mediante la impurificación. Esto quiere decir que deliberadamente se añaden átomos de impureza a un cristal intrínseco para modificar su conductividad eléctrica. Un semiconductor impurificado se le llama semiconductor extrínseco.

Para aumentar el número de electrones libres se derrite el cristal puro y se añaden átomos pentavalentes al silicio derretido. Los átomos pentavalentes tienen cinco electrones en la órbita de valencia. El arsénico, antimonio y fósforo son ejemplos de átomos pentavalentes. Para impurificar el cristal de silicio y obtener un exceso de huecos se emplean impurezas trivalentes, es decir, un elemento cuyos átomos tengan solo tres electrones de valencia. Por ejemplo, el aluminio, el boro y el galio.

El semiconductor que ha sido impurificado con una impureza pentavalente se llama semiconductor tipo n , donde la n representa negativo. Como los electrones libres superan a los huecos en un semiconductor tipo n , reciben el nombre de portadores mayoritarios.

El silicio que ha sido impurificado con impurezas trivalentes se llama semiconductor tipo p , la p por positivo.

II.1.1. Diodos

Por sí misma, una pieza de semiconductor tipo n tiene la misma utilidad que un resistor de carbón; lo mismo se puede decir de un semiconductor tipo p . Pero ocurre algo nuevo cuando un cristal se impurifica de tal manera que la mitad sea tipo p y la otra mitad sea tipo n .

La separación o frontera física entre un semiconductor tipo

n y uno tipo p se llama unión pn. La unión pn tiene propiedades tan útiles que ha propiciado toda clase de inventos, entre los que se cuentan los diodos, los transistores y los circuitos integrados. Conocer la unión pn permite entender toda clase de dispositivos fabricados con semiconductores.

Un diodo es un dispositivo no lineal porque su corriente no es directamente proporcional a su voltaje. Por arriba de los 0.7 volts aproximadamente para un diodo de silicio, la corriente aumenta rápidamente. La razón es que el diodo tiene una barrera de potencial producida por su capa de empobrecimiento. Es como si el diodo tuviese adentro una pequeña pila de 0.7 V. La corriente es muy pequeña hasta que el voltaje aplicado puede contrarrestar esta pequeña pila.

Un dispositivo no lineal como un diodo tiene siempre una gráfica corriente-voltaje que es exponencial. La forma y tamaño de la gráfica no lineal depende del dispositivo en particular. Lo que es seguro es que la gráfica no será una línea recta si el dispositivo es no lineal.

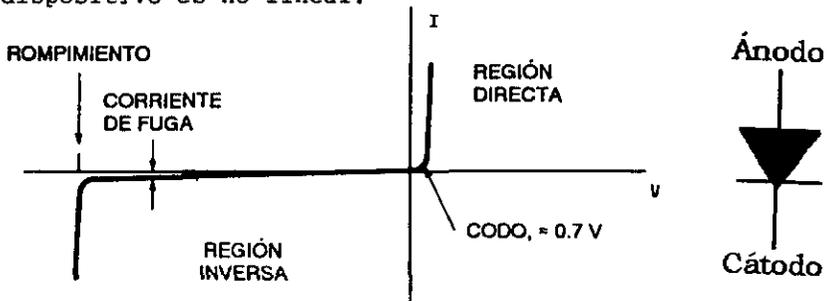


Figura II.1.1. Curva característica del diodo rectificador de silicio y su símbolo.

En la figura 2.1.1. se muestra la curva característica del diodo rectificador de silicio. Cada valor del voltaje del diodo produce una corriente particular. La gráfica nos dice que el diodo no conduce bien sino hasta que el voltaje aplicado sobrepasa la barrera de potencial. Conforme nos acercamos a

0.7 V, los electrones libres comienzan a cruzar la unión en grandes cantidades por esto la corriente comienza a crecer rápidamente. El voltaje para el cual la corriente empieza a aumentar rápidamente se llama voltaje de codo del diodo, para un diodo de silicio es de 0.7 V y para uno de germanio de 0.3V. Cuando un diodo se polariza inversamente, fluye una pequeña corriente de fuga, esta corriente es muy pequeña para todos los voltajes inversos menores que el voltaje de rompimiento. En el rompimiento, la corriente aumenta rápidamente con pequeños incrementos del voltaje hasta el grado en que puede resultar peligrosa ocasionando daño al diodo por sobrecalentamiento.

Parámetros de fabricante

Existen hojas de datos para cada dispositivo semiconductor, mucha de esta información es de utilidad solo para el diseñador de circuitos, por ésta razón solo se comentará acerca de algunos parámetros de mayor importancia.

Un dato importante es el voltaje inverso de rompimiento, (V_R) que especifica cual es el voltaje máximo que el diodo puede soportar en inversa y que en algunos casos puede resultar destructivo.

Otro dato importante es la corriente máxima en polarización directa (I_o), es la máxima corriente que puede soportar el diodo cuando se le emplea como rectificador.

La caída de voltaje en polarización directa (v_F) se toma con una señal de corriente alterna y por eso en la especificación debe aparecer la palabra "instantáneo" así como la temperatura de la unión bajo esas condiciones.

Vale la pena analizar también la corriente inversa máxima (I_R), esta corriente incluye la corriente producida térmicamente y la corriente de fuga superficial, también la temperatura podría ser importante.

II.1.2. Transistores

Un transistor tiene tres regiones de impurificación. Una corresponde al emisor, en la parte central está la base y al otro extremo está el colector. Hay transistores que por su construcción se les conoce como pnp o npn.

Según su campo de utilización se distingue entre transistores de pequeñas señales (hasta un watt de potencia), transistores de potencia, transistores conmutadores, de baja frecuencia, de alta frecuencia, para microondas, fototransistores etc.

El transistor tiene dos uniones: una entre el emisor y la base y otra entre la base y el colector. Por esto, un transistor es similar a dos diodos. El emisor y la base forman uno de los diodos, mientras que el colector y la base forman el otro.

Un transistor sin polarización es similar a dos diodos contrapuestos. Cada diodo tiene una barrera de potencial de 0.7V, aproximadamente. Si se conectan fuentes de voltaje externas al transistor, se obtienen resultados interesantes. Estos resultados son los que hacen del transistor un gran invento.

En operación normal, el diodo emisor tiene polarización directa y el diodo colector tiene polarización inversa. En estas condiciones, el emisor envía electrones libres a la base. La mayor parte de estos electrones libres pasan por la base hacia el colector. Por esto, la corriente de colector es casi igual a la corriente del emisor. La corriente de base es mucho más pequeña, generalmente menor que el 5% de la corriente de emisor.

La razón de la corriente de colector y la corriente de la base se llama ganancia de corriente y se le denota por hfe. En transistores de baja potencia, el valor de la ganancia de corriente oscila entre 100 y 300.

En la figura II.1.2.a se observa la gráfica de la corriente de base contra el voltaje base-emisor. Se parece a la gráfica de un diodo rectificador ordinario. Es muy útil esta gráfica

para analizar la parte base-emisor del transistor como un diodo ideal.

En la figura II.1.2.b se observa la curva de I_C contra V_{CE} donde se aprecian tres regiones distintas de operación de un transistor. Son la región activa, la región de saturación y la región de rompimiento. Cuando se usa como amplificador, el transistor opera en la región activa. Cuando se usa en circuitos digitales, el transistor opera normalmente en saturación y de corte. Por lo general se evita la región de rompimiento ya que en ella es muy alta la probabilidad de que se destruya el transistor. Una cuarta región es la de corte que es cuando la corriente de base es igual a cero.

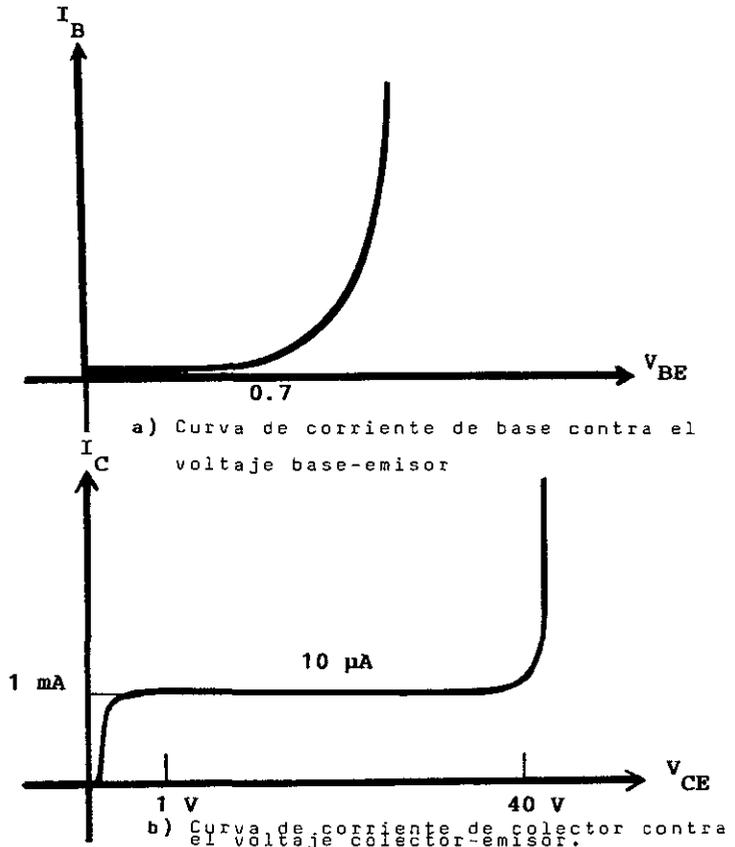


Figura II.1.2. Curvas características de un transistor NPN.

Especificaciones de fabricante

Cuando se estudia la hoja de datos para cualquier transistor es importante revisar las especificaciones máximas ya que son los límites para las corrientes, voltajes y otras cantidades.

V_{CB} ---Es el voltaje entre el colector y la base.

V_{CEO} ---Es el voltaje de colector a emisor con la base abierta.

V_{EB} ---Es el voltaje del emisor a la base.

I_C ----Corriente máxima en corriente directa del colector.

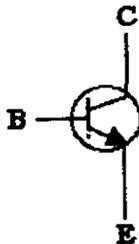
P_D ----Potencia máxima del dispositivo (normalmente también se especifica la potencia junto con la temperatura ambiente T_A porque la temperatura circundante influye en el enfriamiento del dispositivo).

B_{cd} ---Ganancia de corriente (también se expresa como h_{FE}). Este parámetro es definido por la siguiente relación:

$$B_{cd} = \frac{I_C}{I_B}$$

Donde: I_C = Corriente de colector.

I_B = Corriente de base.



Símbolo de un transistor NPN

II.1.3. Tiristores

Un tiristor es un dispositivo semiconductor que utiliza retroalimentación interna para producir un nuevo tipo de conmutación. A diferencia de un transistor bipolar y de los FET, los cuales pueden funcionar ya sea como amplificadores lineales o como conmutadores, los tiristores sólo funcionan de esta última manera. La principal aplicación de este dispositivo es el control de cantidades grandes de corriente de carga para motores, calentadores, sistemas de alumbrado y otros dispositivos semejantes.

La palabra tiristor viene del griego y quiere decir "puerta", como una puerta que se abre y permite el paso a través de ella. Se puede pensar que el tiristor es un nuevo tipo de conmutador.

Un tiristor es un dispositivo semiconductor que utiliza retroalimentación positiva interna para producir la actuación de un cerrojo, por lo que su principal aplicación consiste en el control de grandes cantidades de la corriente de carga.

Un tiristor que tiene mucha utilidad es el rectificador controlado de silicio (SCR). Un SCR es un dispositivo que tiene una conexión que se denomina compuerta. Al aplicar un disparo a la compuerta, se activa el SCR. Una aplicación importante de estos dispositivos, es su empleo como interruptores de palanca en las fuentes de potencia.

Otros dispositivos pnpn derivados de los SCR son los siguientes. El foto SCR tiene una compuerta que responde a la cantidad de luz que recibe. El CGS se puede conectar con un disparo positivo y desconectar con un disparo negativo. El SCS tiene dos compuertas; un disparo de polarización en directa en cualquier compuerta lo enciende y un disparo de polarización en inversa en cualquier compuerta lo apaga.

Hay también tiristores bidireccionales como el DIAC, que puede establecer corriente en cualquier dirección. El TRIAC

actua como dos rectificadores controlados de silicio con polaridad opuesta. Por esto, el triac puede controlar corriente alterna.

El Rectificador controlado de silicio (SCR).

En la figura II.1.3 a se pueden visualizar las cuatro regiones de impurificación y la entrada de disparo del SCR y en la figura b un circuito de enclavamiento con transistores, el cual trabaja igual que el SCR. La idea es aplicar un disparo (pico de voltaje) para polarizar en directa al transistor Q2, en este instante la corriente de colector de Q2 empieza súbitamente a circular polarizando a Q1, a su vez la corriente de colector de Q1 polariza la base de Q2 y el pulso de disparo ya no es necesario. A esto se le llama retroalimentación positiva. La corriente de entrada mínima necesaria para iniciar la acción de conmutación se denomina "corriente de disparo".

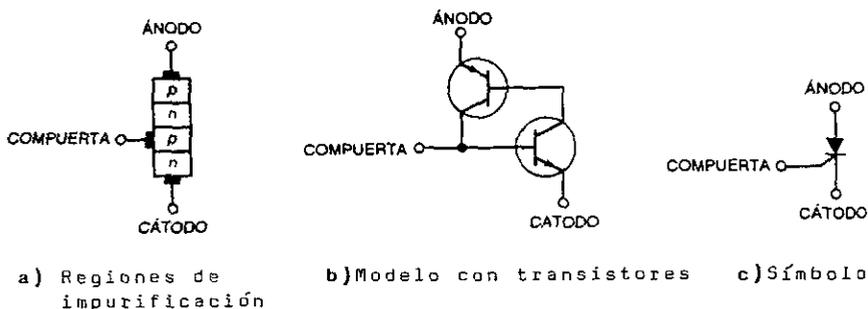


Figura II.1.3. El rectificador controlado de silicio SCR.

La compuerta de un SCR es aproximadamente equivalente a un diodo, es decir, que son necesarios al menos 0.7 V. para disparar un SCR. Además para que se inicie la retroalimentación

positiva se requiere de una corriente de entrada mínima. A continuación se comentan algunos de los principales datos que proporciona el fabricante.

Parámetros de fabricante

Voltaje de disparo (V_{GT}) y **corriente de disparo (I_{GT})** son los valores mínimos indispensables en la compuerta para que inicie la retroalimentación positiva.

Voltaje de bloqueo (V_{RRM}) es el valor de voltaje máximo que puede soportar el SCR sin que entre en conducción por ruptura.

Corriente de sostenimiento (I_H) es el valor de corriente mínima entre ánodo y cátodo para que el SCR permanezca en conducción.

Corriente máxima en cd de conducción (I_{TRMS}) es la corriente máxima que puede conducir el SCR entre ánodo y cátodo.

II.2 Transductores

Los dispositivos que realizan la conversión de una magnitud física a otra se denominan, en general, transductores.

A continuación este término se empleará para definir los dispositivos que convierten una magnitud física en una eléctrica.

La magnitud eléctrica de salida de un transductor podrá ser una tensión, o una corriente eléctrica.

Por lo anterior, el transductor precisa de un circuito eléctrico (acondicionador de señal) para su utilización, se adapta la salida (resistencia, tensión, corriente, etc.) y el campo a los valores aceptables por las otras partes del circuito.

Los transductores se subdividen en analógicos y digitales en base a la naturaleza de la magnitud eléctrica de salida. Un transductor analógico le hace corresponder a una magnitud física continúa en entrada una magnitud eléctrica en salida y proporcionar a la magnitud física medida, mientras que un transductor digital le hace corresponder una sucesión de señales digitales.

En términos generales, la conversión entre la magnitud física de entrada y la magnitud eléctrica de salida requiere una absorción de energía; por consiguiente, la presencia del transductor constituye un disturbio para el proceso analizado.

II.2.1. Transductores de iluminación

Los transductores de iluminación son dispositivos capaces de convertir una radiación luminosa en una magnitud eléctrica (resistencia, corriente, etc.) y pueden utilizarse en la industria, además de como transductores de iluminación, también como transductores indirectos de otras magnitudes físicas como

la posición, velocidad angular, etc..

Por radiación luminosa se define a la región del espectro electromagnético que incluye los componentes del infrarrojo, del visible y del ultravioleta.

Una parte de la radiación luminosa puede ser detectada por el ojo humano y es definida como radiación visible o "luz"; sin embargo, el ojo humano es sensible de manera diferente a las distintas longitudes de onda de la radiación visible.

En la figura II.2.1 se muestra la subdivisión usualmente aceptada del espectro electromagnético donde se puede apreciar que la parte visible para el ojo humano esta en el rango de 4×10^{-7} a 7×10^{-7} m de longitud de onda

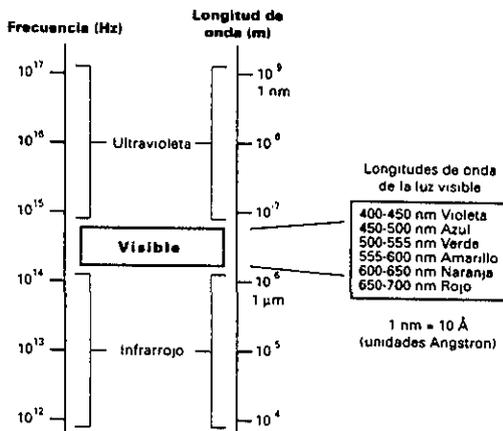


Figura II.2.1. Subdivisión del espectro electromagnético.

La radiación luminosa al interactuar con la materia provoca varios efectos. Uno de los más importantes es el "Efecto Fotoeléctrico" que consiste en la liberación de los electrones de una superficie metálica al recibir radiaciones luminosas, mientras que en el caso de los semiconductores, consiste en la generación de pares electrón-hueco.

El primer fenómeno se denomina efecto fotoemisor y se aplica a los fototubos, fotomultiplicadores, etc..

Por lo que se refiere a los efectos fotoeléctricos sobre los semiconductores, estos pueden ser de dos tipos:

1. Efecto fotoconductor: La conductividad de una barra de semiconductor depende de la intensidad de la radiación luminosa que le llega.

2. Efecto fotoeléctrico sobre la unión (efecto fotovoltaico): La corriente, a través de una unión PN polarizada inversamente, depende de la intensidad de la radiación luminosa que le llega. Si la unión no está polarizada en sus extremidades se genera una fuerza electromotriz (efecto fotovoltaico).

Los dispositivos de la primera categoría se denominan fotorresistencias, mientras que los de la segunda se encuentran los fotodiodos, las células fotoeléctricas y los fototransistores.

Fotorresistencias

La fotorresistencia es un componente pasivo de semiconductor carente de unión.

Cuando este componente recibe radiación electromagnética, los fotones ceden energía al material semiconductor y, si la energía es suficientemente alta, se rompen los enlaces que unen los pares electrón-hueco: estos pares libres contribuyen a la conducción reduciendo la resistencia del material. De esta manera la resistencia disminuye al aumentar la iluminación.

En la figura II.2.2a se muestra la curva característica que visualiza las variaciones de la iluminación (lux) y las de la resistencia (en ohms), donde se ve que la resistencia va disminuyendo en la medida que la iluminación va en aumento.

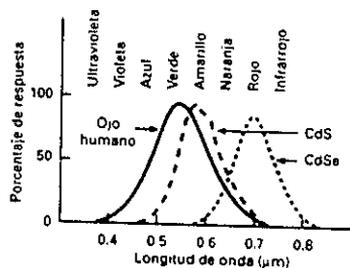
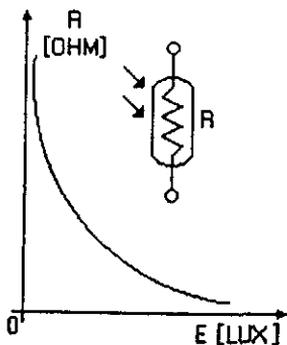


Figura 11.2.2. Curva característica y respuesta espectral de la fotorresistencia.

La fotorresistencia en la oscuridad es un aislante con valores de resistencia con valores de mega-ohms (resistencia de oscuridad), mientras que si está muy bien iluminado alcanzará valores de resistencia muy bajos (incluso decenas de ohms).

El material utilizado en la realización de la fotorresistencia precisa la longitud de onda en la que el dispositivo alcanzará la máxima sensibilidad.

Como materiales fotosensibles se utilizan principalmente cristales de sulfuro de cadmio (CdS), para sensores en el campo visible y cristales de seleniuro de cadmio (CdSe), para sensores en el campo del infrarrojo. Estas sustancias se depositan mediante vapores sobre un sustrato de cerámica o vidrio, y luego se sellan herméticamente en el plástico o vidrio. En la figura 11.2.2 b se observa la respuesta espectral de la fotorresistencia de CdS se aproxima más a la respuesta del ojo humano. La respuesta espectral del CdSe esta desplazada hacia el infrarrojo.

Parámetros de fabricante

Respuesta espectral es la sensibilidad que tiene el dispositivo a un determinado rango de longitud de onda del espectro lumínico.

Tiempo de respuesta es la rapidéz con la que el dispositivo responde ante el estímulo luminoso cambiando su valor de resistencia en milisegundos.

Resistencia máxima y mínima dentro de su respuesta espectral.

Fotodiodo

El fotodiodo es un dispositivo similar en su estructura a un diodo de semiconductor común, esta formado por consiguiente por una unión P-N.

En condiciones de oscuridad, el fotodiodo se comporta como un diodo de semiconductor común, pero cuando la unión recibe radiación luminosa la corriente inversa aumenta ya que la energía de los fotones libera los pares electrón-hueco.

La corriente inversa en los fotodiodos puede alcanzar valores incluidos entre algunos nano-amperes (nA) y algunas decenas de mA, y los materiales semiconductores más utilizados son el silicio, el germanio y el arseniuro de galio.

Si se ilumina un fotodiodo no polarizado y sin carga, en las extremidades se medirá una tensión generada interiormente a la unión que se debe a la interacción entre la radiación luminosa y el material semiconductor (efecto fotovoltaico).

Luego si se coloca una carga al fotodiodo, se observará un pasaje de corriente, obteniendo un generador de energía eléctrica. Este funcionamiento constituye el principio de las células fotovoltaicas.

El sentido de flujo de las cargas que constituyen dicha fotocorriente va del cátodo hacia el ánodo: por este motivo, en las aplicaciones normales el fotodiodo se polariza inversamente.

Cuando el fotodiodo no recibe luz, a través de la unión circula una débil corriente oscura I_d (dark current) que equivale a la corriente inversa de un diodo inversamente polarizado normal.

Cuando el dispositivo reciba luz, la corriente total (I_t) que lo atraviese estará formada por la suma de la corriente oscura (I_d) y la corriente fotoconductor ($I_{f_{\text{foto}}}$); es decir:

$$I_t = I_d + I_{f_{\text{foto}}}$$

Para obtener la corriente fotoconductor (I_{foto}) se usa la siguiente ecuación:

$$I_{\text{foto}} = ESA$$

donde:

E = Cantidad total de potencia óptica que incide sobre el detector por unidad de área del mismo (algunas veces denominada incidencia o iluminación) y está dada en watts/cm².

S = Sensibilidad del detector en amperes/watt.

A = Area del detector dada en cm².

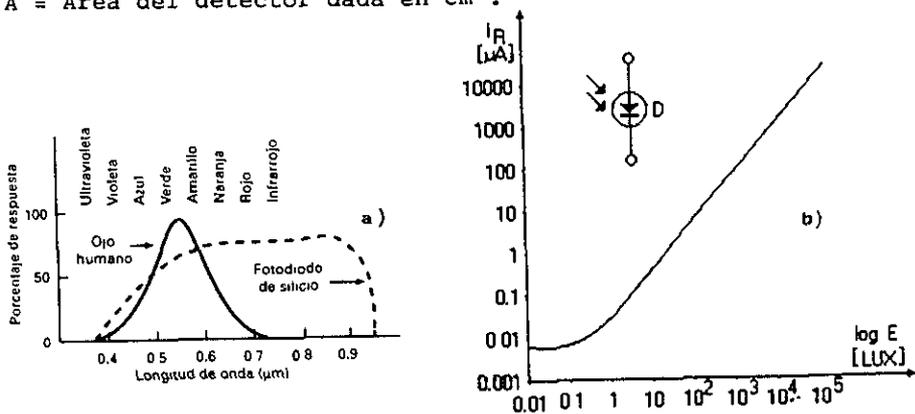


Figura II.2.3. Respuesta espectral y curva característica.

Se observa en la figura II.2.3a la respuesta espectral del fotodiodo que es mucho más extensa que la del fotorresistor, cubriendo tanto el espectro visible como el infrarrojo.

En la figura II.2.3b se muestra la curva característica del fotodiodo y su símbolo, donde se visualiza la relación entre las variaciones de la corriente y las variaciones de la iluminación, es decir, a mayor iluminación mayor corriente fotoconductor (I_{foto}).

Parámetros de fabricación

Sensibilidad espectral. Es la sensibilidad del detector en amperes/watt.

Incidencia o iluminación. Es la cantidad de potencia óptica que incide sobre el detector sobre unidad de área, dado en watss/cm^2 .

Voltaje inverso. Es el valor máximo de voltaje que puede soportar el fotodiodo polarizado en inversa.

Fototransistor

El fototransistor es un dispositivo con estructura similar a la de un transistor común, pero con la base alcanzable por la luz que se genera exteriormente al fototransistor.

El fototransistor generalmente es de tipo NPN, se alimenta con tensión positiva entre colector y emisor, y la base se puede dejar abierta o conectada con el emisor a través de una resistencia. En este último caso la sensibilidad del fototransistor se puede ajustar cambiando el valor de la resistencia utilizada.

En la oscuridad la corriente del colector I_c es mínima y aumenta al aumentar la iluminación debido a que los fotones que llegan a la base rompen el enlace electrón-hueco. La corriente que se genera es amplificada por el transistor.

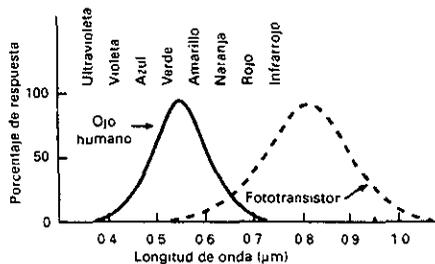
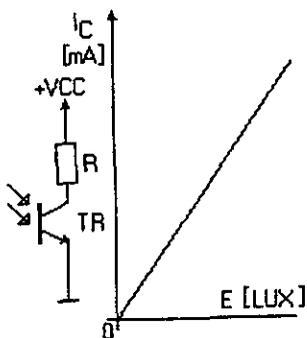


Figura II.2.4. Símbolo, curva característica I_c contra iluminación y respuesta espectral del fototransistor.

En la figura II.2.4a se muestra el símbolo con la curva característica donde se observa que la corriente de colector aumenta respecto a la cantidad de iluminación que incide sobre el fototransistor.

En la figura II.2.4b se presenta la característica de respuesta espectral del fototransistor donde se ve que se extiende hacia el infrarrojo en su mayor parte, por lo que a menudo se usan lámparas que emiten radiación infrarroja como las de tungsteno.

Supongase que al principio no haya ninguna radiación incidente. En esta situación aparecen portadores minoritarios que dependen de la temperatura: Los electrones que atraviesan la unión de la base hacia el colector, y los huecos que pasan del colector a la base, constituyen la corriente de saturación inversa I_{cbo} de la unión del colector.

La corriente de colector se calcula por medio de la relación:

$$I_c = (1+B) I_{cbo} + B I_b$$

en donde la I_b es la corriente de base, mientras que B es la ganancia del transistor.

Si la base está abierta ($I_b=0$), la relación precedente viene a ser:

$$I_c = (1+B) I_{cbo}$$

Si ahora el dispositivo recibe luz, por efecto fotoeléctrico se generan otros portadores minoritarios que contribuyen en incrementar la corriente de saturación inversa, exactamente como en el caso de las cargas minoritarias producidas por efecto térmico.

Indicando con I_p la componente de la corriente de saturación inversa debida a la luz se obtiene la corriente de colector total, cuyo valor es:

$$I_c = (1+B) (I_{cbo} + I_p)$$

Notese que por efecto del transistor, la corriente producida por la radiación luminosa se multiplica por el factor $(1+B)$.

II.2.2. Transductores de temperatura

Cada vez que a un sistema físico se le suministra energía su estado cambia. La temperatura representa un índice de dicho estado.

La unidad de medida que se adopta en el Sistema Internacional es el grado Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), en el que la temperatura del cero absoluto corresponde a 0°K .

Usualmente se utilizan dos unidades de medida: el grado centígrado o grado Celsius ($^{\circ}\text{C}$) y el grado Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$).

La ley de conversión es la siguiente:

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 (^{\circ}\text{C} + 32)$$

El grado centígrado tiene la característica de hacer coincidir en 0°C la temperatura del hielo fundible y en 100°C la temperatura de ebullición del agua a nivel del mar.

En la industria y en el sector doméstico, la temperatura se determina con la ayuda de distintos tipos de transductores, mas o menos complejos y precisos.

Entre los más utilizados son los transductores de semiconductor y las termorresistencias, que tienen una buena precisión, sencillez de construcción y de uso.

Tienen además la característica de tener dimensiones muy pequeñas y por tanto facilitan la construcción del proceso.

Termorresistencias

En las medidas de la temperatura, la termorresistencia aprovecha la variación de la resistencia de un conductor eléctrico al variar la temperatura misma.

La relación entre la resistencia y la temperatura, en primera aproximación, es la siguiente:

$$R_t = R_0 (1 + a T)$$

donde: R_t = Resistencia a la temperatura .

R_0 = Resistencia a 0°C .

a = Coeficiente de temperatura de la resistencia.

La termorresistencia presenta las siguientes características principales:

-Constancia de las características en el tiempo.

-Reproductividad de las características.

-Variación de la resistencia en función de la temperatura bastante buena. .

Se han normalizado dos tipos de termorresistencias: Las de Níquel y las de Platino.

La figura II.2.5. muestra la curva característica de una termorresistencia de platino donde se observa la variación de resistencia respecto a la temperatura.

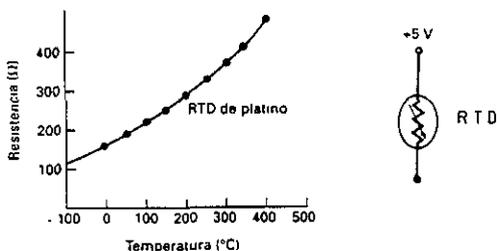


Figura II.2.5. Curva característica de una termorresistencia de platino y su símbolo.

Las termorresistencias de uso corriente tienen una resistencia de 100 ohms a cero grados centígrados y una tolerancia de $\pm 0.1^\circ\text{C}$.

Normalmente están constituidas por un hilo de Níquel o Platino arrollado en un soporte aislante cilíndrico o llano resistente a las altas temperaturas (cerámica, vidrio, etc.).

Gracias a su constitución tienen una constante térmica más bien alta; es decir, que reaccionan lentamente a las variaciones de temperatura del proceso.

Termistores

Los termistores son dispositivos de semiconductor en los que la resistencia depende de la temperatura de los mismos.

El efecto termorresistivo en los semiconductores presenta características muy diferentes que las que se observan en los metales.

En efecto, con la temperatura no solo varía la movilidad de los portadores, sino también, y sobre todo, su cantidad: Con bajas temperaturas, los electrones y los huecos no tienen la energía suficiente como para pasar de la banda de valencia a la de conducción.

Pero al aumentar la temperatura, crece también la energía de los portadores capaces de alcanzar valores que les permiten superar el espacio entre ambas bandas: Esto significa, entonces, que la conductividad varía con la temperatura. Trátase de un fenómeno por el cual al aumentar la temperatura crece la conductividad y, en consecuencia disminuye la resistencia del material.

Este tipo de materiales se denomina NTC (Negative Temperature Coeficient).

El coeficiente de temperatura (α) de la resistencia de un material se representa como sigue:

$$\alpha = \left[\frac{DR}{RS} \right] \left[\frac{1}{DT} \right]$$

Donde: DR = Variación de la resistencia debida a una variación de temperatura dada.

RS= Resistencia de material para una temperatura de referencia.

DT = Variación de la temperatura por encima o por debajo de la temperatura de referencia.

Estos dispositivos pueden realizarse también con elementos termosensibles cuyo coeficiente de temperatura es positivo,

los cuales, según un criterio análogo al adoptado por los anteriores se denominan PTC (Positive Temperature Coeficient).

Los termistores están formados por óxidos de níquel, manganeso, cobalto, cobre y otros metales. Los termistores modernos tienen muchos de los requerimientos que los diseñadores de sistemas quieren para los sensores de temperatura. Tienen una sensibilidad excelente, un amplio rango de niveles de impedancia, tamaños varios, alta precisión y mejor estabilidad a largo plazo.

En la figura II.2.6. se observa la gráfica de un termistor NTC que proporciona el fabricante donde se ve que la resistencia del termistor varía exponencialmente. La sensibilidad térmica del termistor es muy alta, llegando a alcanzar una variación de resistencia del 5% por grado Celcius. Entonces el termistor es el sensor de temperatura más sensible de uso común.

Los parámetros de fabricante más importantes del termistor son:

Resistencia a temperatura ambiente

Coefficiente positivo (PTC) o negativo (NTC).

Voltajes y corrientes máximas.

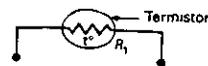
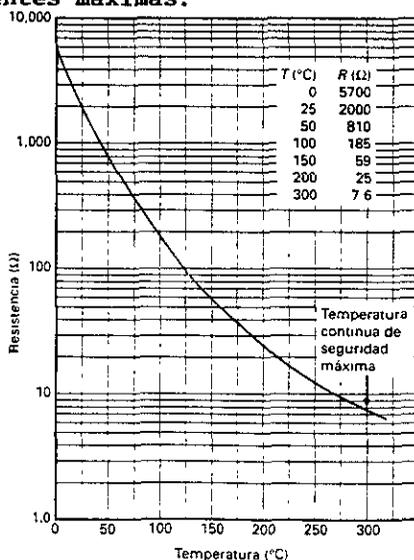


Figura II.2.6. Gráfica de un termistor tipo NTC y símbolo.

Termopares

De los dispositivos para detección de temperatura, el termopar es el de más amplio uso en la industria. Su descubrimiento data de antes de 1821, cuando Thomas Seebeck, un físico alemán, unió dos conductores hechos de metales diferentes, y descubrió que cuando se calentaba un extremo, la corriente eléctrica circulaba por el bucle formado por los conductores. Este efecto se denomina efecto Seebeck y se ilustra en la figura II.2.7a.

Cuando el circuito se interrumpe, como se ve en la figura II.2.7b, existe una diferencia de potencial entre los dos terminales. La magnitud de la tensión varía con el calor: un incremento de calor da lugar a un incremento de tensión. También si se combinan diferentes metales se producen tensiones diferentes.

Generalmente, el termopar es el más sencillo, robusto, barato y con más amplio rango de medidas de temperatura (alrededor de 450°F o 2500°C). Por otro lado sus desventajas son de que es el menos sensible y estable.

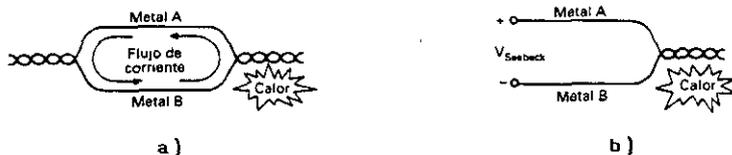


Figura II.2.7. Efecto Seebeck y uso del mismo para medir la temperatura.

Cabe destacar que la respuesta de un termopar tarda un cierto tiempo en reaccionar ante una variación de temperatura. el tiempo de respuesta del termopar depende de varios parámetros que determinan al termopar y se relacionan como sigue:

$$t_c = \frac{mc}{kA}$$

Donde:

t_c = constante de tiempo térmica.

m = masa del sensor en gramos.

c = calor específico en calorías por grado Celcius.

K = coeficiente de transferencia de calor en calorías por centímetro-segundo-grado Celcius, cal/cm-s°C.

A = área de contacto entre el sensor y la muestra (cm²).

Cuando la temperatura varía rápidamente, la temperatura del termopar en cualquier instante se puede calcular mediante la expresión:

$$T - T_2 = (T_1 - T_2) e^{-t/tc}$$

donde:

T = temperatura del termopar.

T_1 = temperatura inicial.

T_2 = temperatura final.

tc = constante de tiempo del termopar.

t = tiempo desde el inicio.

En un termopar es deseable una constante de tiempo pequeña, ya que el termopar puede seguir variaciones de temperatura sin un retardo temporal largo. Para que el tiempo de respuesta del termopar se mantenga corto, su masa debe ser baja. Pero si la necesidad del sensor establece una condición de vibración alta entonces el termopar debe ser más robusto y por tanto más lento.

Las constantes de tiempo térmico de algunos termopares (llamados de película delgada) alcanzan a ser de 1 microsegundo. Estos dispositivos ofrecen un tiempo de respuesta muy corto, sin embargo son costosos.

En la figura II.2.8. se presentan las curvas de Fem en función de la temperatura del termopar. Los diferentes termopares están representados por letras diferentes.

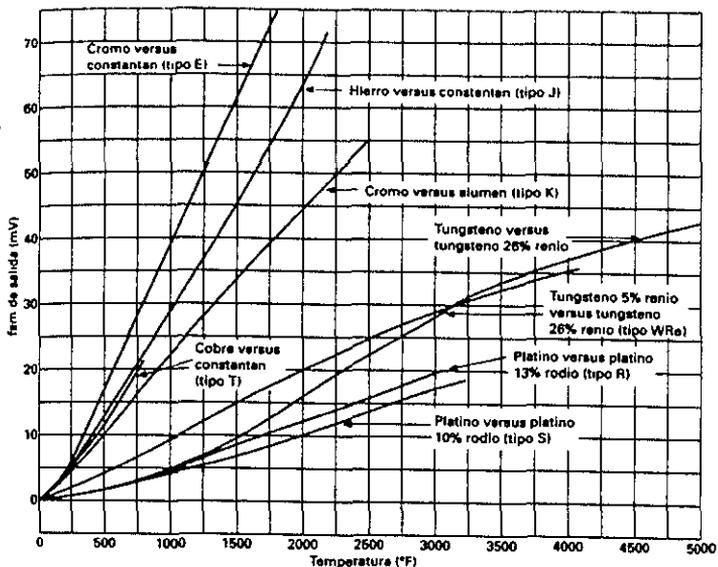


Figura II.2.8. Curvas de fem en función de la temperatura del termopar.

* El constantan es una aleación de cobre y níquel.

II.2.3. Transductores de desplazamiento

Mediante sistemas de control adecuados es posible la medida de distancias en muy amplios márgenes, que pueden ir desde miles de kilómetros (en observaciones astronómicas), por lo que se utilizan distintas técnicas, según los márgenes de medida adecuados.

En la medida de distancias menores, (inferior a los diez metros) se pueden emplear potenciómetros accionados a través de una adecuada transmisión mecánica.

Para la medida de distancias cortas o desplazamientos, los métodos ya son más numerosos. Los transductores empleados suelen ser capacitivos o inductivos.

Los transductores capacitivos se basan en la variación de capacidad obtenida al variar la distancia entre armaduras, mientras que los transductores inductivos se basan en la variación de inducción mutua entre dos devanados al variar la posición relativa entre ellos, o variar la posición del núcleo o también, modificando el entrehierro. Cuando el transductor es una impedancia variable, el circuito de medida esta constituido por un puente de impedancias, normalmente con un transductor doble, para efectuar la medida diferencial y disminuir los errores debidos a las condiciones externas, principalmente la temperatura.

En algunos casos el transductor inductivo o capacitivo forma parte de un circuito oscilante, cuya frecuencia generada es función de la magnitud de medida.

El campo de medida de los distintos transductores se representa en la siguiente tabla.

DISTANCIAS	10	1	100	10	1	.1	.01	.001	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
	Km		m										
Radar													

Ultrasonidos													

Potenciómetros													

Bandas extensométricas													

Reglas ópticas													

Reglas magnéticas													

Transformador diferencial													

Transductores capacitivos													

El potenciómetro

Uno de los transductores de desplazamiento angular más comunes es el potenciómetro. El potenciómetro está formado por una resistencia en forma de círculo con un contacto que se desliza sobre él, como se ve en la figura II.2.9a. Si el eje gira en el sentido de las agujas del reloj, la resistencia entre los contactos 1 y 2 aumenta. Este incremento de la resistencia se puede usar para indicar la posición de un eje de rotación, por ejemplo en un motor. El elemento resistivo puede ser de carbón, de plástico conductor, o un conductor delgado arrollado alrededor de un elemento no conductor. En la figura II.2.9b observa el símbolo de éste dispositivo.

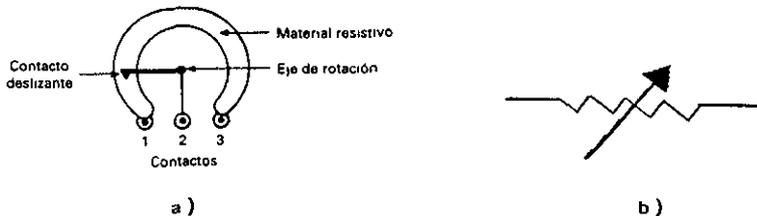


Figura II.2.9. El potenciómetro como indicador de desplazamiento angular y su símbolo.

El transformador diferencial variable (LVDT)

El desplazamiento lineal se puede medir de varias formas. por ejemplo, si el elemento resistivo del transductor de desplazamiento angular se estira, tendríamos un transductor de desplazamiento lineal.

Para indicar un desplazamiento lineal se emplean las variaciones de capacitancia o inductancia.

El transductor más común de desplazamiento es el transformador diferencial variable (LVDT). Básicamente el LVDT es un transformador de dos secundarios como se muestra en la figura II.2.10a. Un núcleo móvil se conecta al eje (figura II.2.10b). Un objeto adjunto al eje mueve el núcleo. El devanado primario se excita con una frecuencia de AC entre 50 y 60 Hz y 15 KHz con una amplitud de hasta 10 V. Los devanados del secundario se conectan en serie oponiéndose para que cuando el núcleo esté centrado, no exista salida en el secundario. Si el material del núcleo se mueve en una cierta dirección, se produce una tensión de salida ya que la inductancia mutua varía.

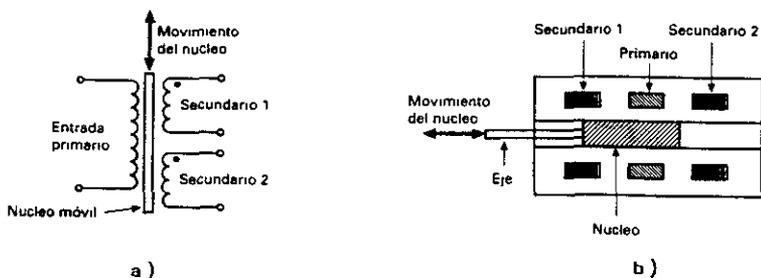


Figura II.2.10. El LVDT como indicador de desplazamiento lineal.

El LVDT proporciona una tensión de salida que es lineal con las variaciones de posición del núcleo. La figura II.2.11a muestra una gráfica de variación de la tensión de salida con la posición del núcleo. Observe que la línea es recta dentro del rango de los ± 0.06 , fuera de este rango, la salida es menos lineal. La figura II.2.11b presenta la tensión de salida de un LVDT como una función de la posición del núcleo con referencia a la fase de la tensión de salida. Cuando el núcleo está en la posición A, la fase está por debajo del eje horizontal. Cuando el núcleo se desplaza a la posición B, la fase cambia 180° .

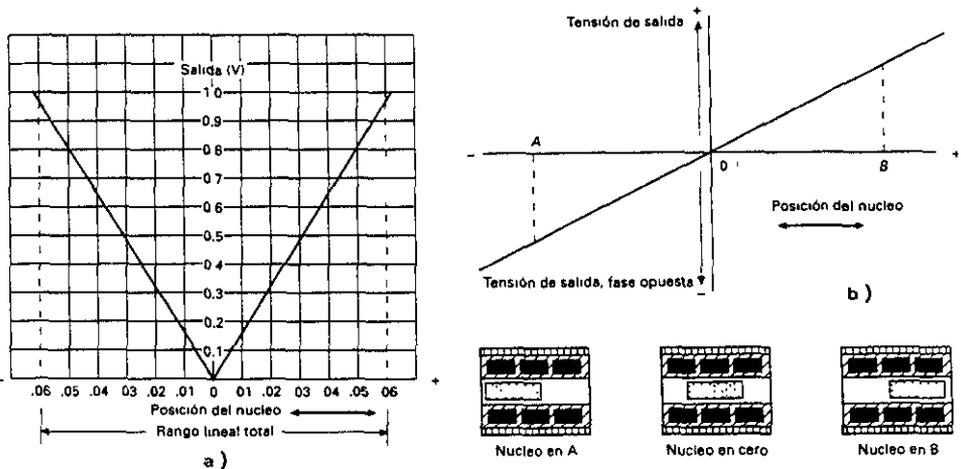


Figura II.2.11. (a) Tensión de salida en función de la posición del núcleo.

(b) Tensión de salida referida a la fase.

El LVDT es un transductor pasivo, es decir, no genera una tensión de salida si no se le excita de alguna forma. Usualmente, la excitación la proporciona un excitador que se denomina generador de portadora. Esta tensión alterna que utiliza el LVDT está a una frecuencia y a una amplitud que normalmente no generan otros circuitos electrónicos, y por consiguiente, deben generarse circuitos especiales de acondicionamiento de señales. Puesto que la mayoría de los dispositivos de control

y de lectura operan en corriente directa, se utiliza un circuito demodulador para convertir la salida de alterna del LVDT en señal de CD. Este potencial puede necesitar ser amplificado o acondicionado para poder ser una entrada apropiada al resto del circuito.

El LVDT tiene muchas funciones útiles. La salida del LVDT tiene una resolución infinita, a diferencia de transductores de desplazamiento tales como el potenciómetro devanado, que proporciona una curva de resistencia escalonada en pequeños incrementos. El LVDT, por el contrario, responde a las más pequeñas variaciones de movimiento con una resolución no incremental y como cualquier transformador, el LVDT presenta un buen aislamiento entre la circuitería de excitación y la salida.

11.2.4 Transductores de presión

La presión se puede definir como una fuerza que actúa en contra de una fuerza opuesta. Normalmente la presión se mide como fuerza sobre una unidad de área, por ejemplo en libras por pulgada cuadrada lb/in^2 (en la industria se conoce por su abreviatura psi "pound square inche") en el sistema inglés.

Los dispositivos medidores de presión se dividen en dos clasificaciones básicas: los transductores de presión-posición, tal como un manómetro, un tubo de Bourdon, fuelles, y diafragmas; y transductores de presión-electricidad, tales como el transductor piezorresistivo, el cual se trata unicamente en éste trabajo debido a que unicamente este tipo de dispositivos son usados como sensores en el control de un motor a gasolina de combustión interna.

El cristal piezoeléctrico

Estos cristales también son usados para medir deformación o tensión. Tales cristales (comunmente cuarzo, sales de Rochelle o turmalina) presentan una diferencia de potencial cuando se comprimen, como se muestra en la figura II.2.12.

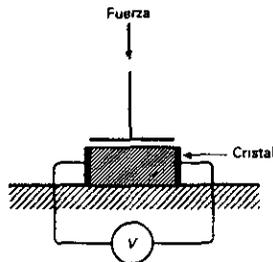


Figura II.2.12. Cristal piezoeléctrico.

La tensión que aparece en los terminales del cristal puede ser alta aunque normalmente, la cantidad de corriente que proporciona es baja. Además la carga se disipa muy rápidamente en condiciones estáticas. Por consiguiente, este dispositivo se emplea usualmente para medir fuerzas o presiones que varían rápidamente, tales como vibraciones.

Muchos cristales naturales y artificiales presentan una propiedad llamada efecto piezoeléctrico. Cuando se aplica una fuerza a un cristal piezoeléctrico, la estructura de celdas del cristal se alarga o deforma. Esta deformación produce una carga eléctrica en los terminales del cristal, como se indica en la misma figura II.2.12. Cuando se interrumpe la fuerza que causa la deformación, la carga se disipa rápidamente. Generalmente, cuanto más presión se aplica al cristal, mayor es el voltaje. El efecto piezoeléctrico no lo presentan todos los cristales, y no todos son igual de eficientes para producir el voltaje. El voltaje producido depende del tipo de cristal, de su espesor y de la fuerza ejercida sobre él. La tabla de la figura II.2.13 presenta algunos cristales que presentan el efecto piezoeléctrico y el voltaje que producen.

Cristal	Tensión por unidad de espesor por unidad de presión aplicada
	K (Vm/N)
Cuarzo	0.055
Sal de Rochelle	0.098
Sulfato de litio	0.165
Turmalina	0.0275

Figura II.2.13. Diferentes cristales que presentan el efecto piezoeléctrico y las tensiones que producen.

La tensión de salida se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{sal} = KFd$$

Donde: K= Constante en Volt-metro/Newton
 F= Presión aplicada en Newton/metro²
 d= Espesor del cristal en metros.

II.3. La computadora del automóvil

La unidad electrónica de control es un aparato conocido también con el nombre de "unidad central de proceso", y en la literatura técnica aparece con las abreviaturas UEC o UCP.

En realidad se trata de verdaderos ordenadores capaces de efectuar cálculos complejos mediante los cuales ellos puedan tomar decisiones previamente memorizadas. Mediante estas ordenes se podrá proporcionar al motor, en cada momento y bajo cualquier circunstancia, el aporte de los mejores condicionamientos posibles para su funcionamiento óptimo en cada circunstancia.

La UEC se utiliza especialmente en los equipos de inyección de gasolina con control electrónico. Aquí el microcontrolador relaciona la temperatura del motor, la cantidad de aire que ha entrado a través de una sonda, la presión de la gasolina en su circuito, el número de revoluciones por minuto y la presión absoluta del colector de admisión; para determinar el tiempo en milisegundos que ha de abrirse el paso de un inyector y esto determinará el volumen exacto del combustible que es preciso reciba el motor en cada uno de los casos que cualquiera de estas variantes puede modificar.

La importancia de la UEC aumenta cuando a este servicio se le unen o integran también todas las funciones del circuito de encendido del motor. En este caso, a los cálculos propios de la inyección se unirán también los cálculos del avance de encendido, del limitador de régimen y de la alimentación general del primario de la bobina. Se trata de un conjunto de componentes muy numeroso, con gran cantidad de circuitos integrados.

Como microcontrolador para el control central, la casa Motorola fabrica el MC68HC805C4 con una memoria de solo lectura programable y borrable electricamente (EEPROM) de 4k que ofrece la capacidad suficiente para almacenar datos de diagnóstico aunque se halle desconectada la batería. Esta EEPROM permite

realizar las adecuadas actualizaciones en caso de se incorporen nuevos dispositivos electrónicos al automóvil.

Intel ha desarrollado su familia de microprocesadores de 16 bits MCS-96 para la integración de funciones tales como el encendido, la mezcla y el control de la transmisión en los automóviles. Cada circuito integrado de esta familia de microprocesadores ofrece un conjunto de instrucciones que pueden adecuarse a las funciones que desee cubrir cada fabricante de automóviles. Por su parte Motorola ya dispone del MPC1500, un conmutador inteligente que puede regular el funcionamiento del interfaz entre el nivel lógico de un microprocesador y un dispositivo cualquiera del automóvil tal como los faros o un motor de corriente alterna. Si se avería el dispositivo, el microprocesador puede informar al conductor a través de un indicador óptico. Entre los primeros fabricantes de automoviles que han decidido adoptar un sistema electrónico totalmente integrado para sus vehículos se halla la Ford Motor Co, cuyos ingenieros trabajan conjuntamente con los de Intel para diseñar un conjunto formado por un microprocesador y una memoria que gobierne todos los dispositivos electrónicos de control de un vehículo. El microprocesaor de Intel 8061, adaptado a sus necesidades por la Ford, ya es capaz de integrar los datos procedentes de diversos sensores y, a través de una instalación de cable con señales multiplexadas, cubrir tanto las funciones de control como las de presentación de los datos obtenidos.

Motorola trabaja en la misma línea y está ofreciendo su MC68HC11, un microprocesador CMOS de 8 bits, con registros de 16 bits, que pueden controlar el funcionamiento del motor, del sistema de tracción y cubrir, al mismo tiempo, todas las funciones de presentación de información. Es posible que en este momento ya se utilicen microprocesadores de 16 bits con los que se logra la máxima precisión en la operación de captar datos a través de los sensores pudiendose lograr mediciones

exactas e instantáneas del consumo de combustible, de las revoluciones del motor, de las variaciones de la relación de transmisión y otros datos semejantes.

Las unidades electrónicas de control más importantes que se utilizan en los automóviles modernos provienen de las instalaciones provistas de inyección de gasolina. La casa Bosh posee fundamentalmente dos sistemas de inyección diferenciados que reciben la nomenclatura de L-Jetronic y Motronic. Precisamente una de las cosas que mas diferencia estos dos sistemas es el diseño electrónico de sus UEC. Por lo tanto se describirán estos dos procesadores por separado.

II.3.1. Estructura interna de la computadora

Esencialmente, un microprocesador es un circuito de alta escala de integración (LSI), compuesto de muchos circuitos más simples como son flips-flops, contadores, registros, comparadores, decodificadores, etc; todos ellos dentro de una misma pastilla de silicio, de modo que el microprocesador puede ser considerado un dispositivo lógico de propósito general o universal.

Un microprocesador es programable, es decir, su función es definida a través de un programa. El programa consta de una serie de ordenes o instrucciones relacionadas, ejecutadas secuencialmente (una a la vez) por el microprocesador y que pueden implicar operaciones lógicas o aritméticas. Las instrucciones se especifican por medio de un código especial que constituye el lenguaje del microprocesador.

Aún cuando el microprocesador se considera un complejo sistema de procesamiento, constituido por una gran variedad de circuitos interrelacionados, es posible agrupar estos circuitos de acuerdo a la afinidad del trabajo específico que desempeñan dentro del sistema.

En terminología de microprocesadores, a cada grupo de circuitos que desempeñan tareas similares se le llama unidad funcional, y el conjunto de unidades funcionales y la forma como están interconectadas se denominan "arquitectura del microprocesador".

En la figura II.3.1 se observan los bloques que conforman la estructura interna de un microprocesador: las compuertas lógicas y el selector en la unidad aritmético/lógica; el oscilador y el divisor de frecuencia constituyen la unidad de control; el contador binario, en su papel de contador de programa forma parte de los registros internos; y la memoria ROM, grabada con las instrucciones, es la memoria del programa.

La memoria del programa

La memoria no es parte integrante del microprocesador considerandolo como CPU, es conveniente hablar ahora de la memoria del programa, puesto que sin ella el microprocesador se convierte en un dispositivo inservible.

La memoria del programa es una memoria de lectura solamente. Como por ejemplo una ROM o una EPROM que contiene el programa, es decir, la secuencia de instrucciones que va a determinar las tareas que realice el microprocesador. En algunos casos la memoria del programa también almacena parámetros o tablas de datos que no sufren modificaciones. Usualmente, las EPROM se utilizan durante la etapa de desarrollo de prototipo del sistema, para así poder depurar y alterar el programa.

Las ROM se prefieren cuando el sistema ya se encuentra en producción y se ha llegado a la versión final del programa.

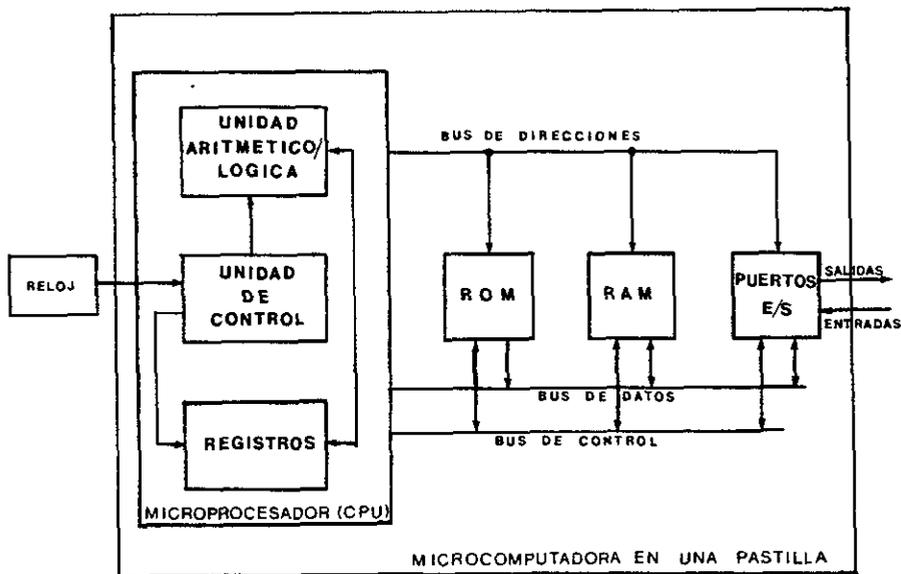


Figura II.3.1. Estructura interna de un microprocesador.

Hay otras unidades funcionales que también pueden existir en el microprocesador; estas son la memoria de datos y los puertos de entrada/salida.

Para que a un circuito se le pueda dar el nombre de microprocesador, debe contener en una sola pastilla de silicio al menos las siguientes unidades: Unidad de control, unidad aritmético/lógica y algunos registros.

La unidad de control

La circuitería de control es la unidad funcional primaria dentro del microprocesador. Utilizando señales de reloj, la unidad de control mantiene la secuencia de eventos apropiada para llevar a cabo cualquier tarea de procesamiento. Es decir, el microprocesador es un dispositivo síncrono.

La actividad fundamental de un microprocesador, regulada por la unidad de control, es cíclica y consiste en la búsqueda y la obtención de datos e instrucciones, y en la ejecución secuencial de estas últimas.

Después de que una instrucción ha sido obtenida y decodificada, la circuitería de control envía las señales apropiadas a dispositivos tanto internos como externos a la CPU, para iniciar la acción de procesamiento indicada por la instrucción.

Frecuentemente, la unidad de control es capaz de responder a señales externas que alteran el estado del microprocesador, ya sea interrumpiendo temporalmente su funcionamiento o provocando la ejecución de instrucciones especiales.

El corazón de la unidad de control lo constituye el generador de ciclo de máquina (GCM), que se encarga de producir las señales de control, derivándolas de un reloj u oscilador maestro como referencia.

La unidad aritmético lógica

Todos los microprocesadores contienen una unidad aritmético/lógica que con frecuencia se conoce simplemente como ALU (Arihtmetic/Logic Unit). La ALU, como su nombre lo indica, es la parte del microprocesador que lleva a cabo las operaciones aritméticas y lógicas en los datos binarios. Algunas de ellas se aplican sobre dos operandos, mientras que otras requieren solamente uno.

La ALU generalmente es capaz de ejecutar las siguientes operaciones:

1. Suma aritmética.
2. Funciones lógicas AND, OR, XOR.
3. Complemento.
4. Rotación hacia la derecha o izquierda.

Además, la ALU contiene un conjunto de flaps-flops llamados banderas (flags), los cuales guardan información relacionada con el resultado de una operación aritmética o lógica. Por ejemplo, una de las banderas sirve para indicar si el resultado de la última operación fue cero.

Los registros internos

Los registros internos son unidades de almacenamiento temporal dentro de la CPU. Algunos de ellos tienen usos específicos, mientras que otros son de propósito general.

Para llevar cuenta de cual instrucción es la que debe ejecutar en seguida, la unidad de control mantiene un registro con la dirección de la siguiente instrucción en el programa. A este registro se le llama contador del programa (program counter) o PC. El microprocesador actualiza el contenido del PC incrementandolo cada vez que obtiene una instrucción de la memoria.

Una de las entradas de control al microprocesador es la entrada "reset" (reestablecer). Cuando se reestablece el microprocesador, la unidad de control carga el contador de programa con ceros. Este valor inicial establece la dirección de memoria de donde se va a obtener la primera instrucción.

Después de que se ha obtenido una instrucción de la memoria, la CPU la almacena en un registro conocido como registro de instrucciones (Instrucción register) o IR. La instrucción almacenada en el IR es decodificada y usada para activar una de varias líneas. Cada línea representa un conjunto de actividades asociadas con la ejecución de una instrucción particular. El dispositivo que traduce la instrucción en acciones concretas es el decodificador de instrucciones (Instrucción decoder).

La primera palabra de una instrucción es el código de operación para esta instrucción. El código de operación indica a la unidad de control las operaciones requeridas en la ejecución de la instrucción. Las instrucciones de un microprocesador frecuentemente requieren mas información de la que puede contener una sola palabra de memoria. Por lo tanto, es común que las instrucciones consten de dos o tres palabras. La primera palabra es siempre el código de operación (code). Las otras palabras son datos que representan ya sea una dirección o una constante. Después de que el código de operación se ha leído de la memoria y puesto en el registro de instrucciones, su decodificación indica si la instrucción requiere información adicional. Las partes de una instrucción de varias palabras están contenidas en localidades sucesivas de la memoria.

Existe un registro íntimamente relacionado con la ALU, denominado "acumulador". Generalmente el acumulador contiene uno de los operandos que serán manipulados por la ALU y, también muy frecuentemente, el resultado de la operación se deposita en ese registro, reemplazando a uno de los operandos originales.

II.3.2. La computadora L-Jetronic

Esta UEC está construida sobre un circuito impreso y con circuitos integrados en combinación con elementos híbridos, lo que reduce de forma importante el nivel de su número de componentes. Los elementos de mando se encuentran ubicados en la parte metálica para su mejor refrigeración y toda la unidad debe estar colocada en un lugar que quede protegida del calor que irradia el motor del automóvil.

Su funcionamiento básico se explica mediante el diagrama a bloques de la figura II.3.2.

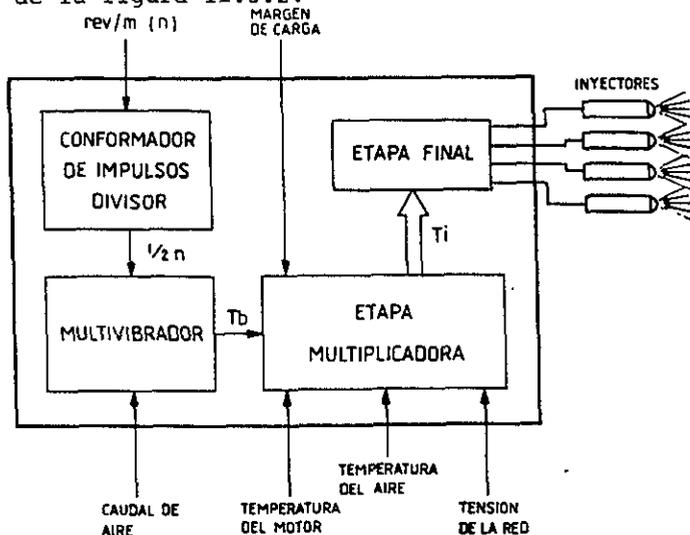


Figura II.3.2. Computadora L-Jetronic de la casa Bosh.

En el esquema se observa que los dos parámetros fundamentales que sirven para determinar el tiempo que deben permanecer abiertos los inyectores, viene dado por el numero de revoluciones del motor (n) y el caudal de aire que entra en el múltiple de admisión, medición que se hace por medio de un transductor de posición, es decir, un dispositivo electrónico sensor que mide

la posición angular de una mariposa-sonda que es una válvula de compuerta que el aire se ve obligado a desplazar a su paso hacia el interior del colector de admisión. Cuanto mayor es la cantidad de aire que penetra tanto mayor ha de ser, forzosamente, el desplazamiento de la mariposa-sonda, cosa que se traduce a valores eléctricos a través de la rampa de resistencias de un potenciómetro.

El número de revoluciones del motor se registra en el "conformador de impulsos" en donde la señal es tratada reduciendo a la mitad estos impulsos ($n/2$), además de convertirlos en señales rectangulares para facilitar su tratamiento posterior en otros bloques.

Del conformador de impulsos pasan a un "multivibrador de control de división" que elabora nuevas señales junto con la información que recibe del potenciómetro, con lo que procesa también el caudal de aire entrado en el colector según los valores eléctricos recibidos a través de la rampa de resistencias.

Con estos dos parámetros variables que el multivibrador procesa se tiene el llamado tiempo básico de inyección (T_b) que después será ampliado con la aportación de nuevos parámetros.

Es importante indicar que T_b se está constantemente modificando con las variantes que aporta el motor al girar a mayor o menor número de revoluciones por minuto o ante la oscilación de la mariposa-sonda.

Una vez que la señal es preparada pasa al bloque denominado "etapa multiplicadora". Este bloque recibe, además del T_b , la información procedente de los sensores de temperatura del aire, temperatura del motor, de tensión existente en la red del vehículo y del estado de plena carga, todo ello traducido a diferentes valores eléctricos.

Con los valores proporcionados el multiplicador calcula un tiempo de corrección (T_c) y lo multiplica por (T_b) que

previamente había calculado el multivibrador.

Posteriormente, el tiempo resultante se sumará al T_b , es decir, será T_b+T_c , de modo que este último será un factor de enriquecimiento que actúa muy eficazmente en determinados casos como, por ejemplo, si la temperatura del motor es muy baja por estar frío, en cuyo caso la mezcla se enriquece para conseguir la marcha de calentamiento. En estos momentos los inyectores pueden estar proporcionando cantidades de combustible que sean el doble o hasta el triple de alimentación normal.

También la tensión de la red debe ser controlada en la etapa multiplicadora ya que la excitación del bobinado de los inyectores, que determina su abertura, depende mucho de la tensión de la batería. Si la tensión de la batería fuera baja y no se tomaran medidas de corrección de este defecto, los inyectores abrirían durante menos tiempo y ello haría que se estableciera una mala alimentación por dosificación muy pobre.

Cuando la etapa "multiplicadora" recibe señales de que la tensión de la red es excesivamente baja, aumenta automáticamente el tiempo de impulso de la tensión (T_t) corregida, de modo que los inyectores puedan inyectar el caudal adecuado para cada caso. De esta forma puede decirse que de la "etapa multiplicadora" sale un tiempo de inyección (T_i) que es el resultado de:

$$T_i = T_b + T_c + T_t$$

y que corresponde a la duración que va a necesitar el impulso eléctrico en el bobinado del inyector para que éste permanezca abierto y proporcione una dosificación muy afinada de acuerdo con todos los parámetros que se han considerado.

El resultado de todo este complejo proceso puede establecerse, para mayor claridad, en un cuadro como el presentado en la figura II.3.3 en donde se puede apreciar como cada uno de los bloques contribuye a la modificación de los tiempos de acuerdo con las condiciones que les indican sus parámetros controlados.

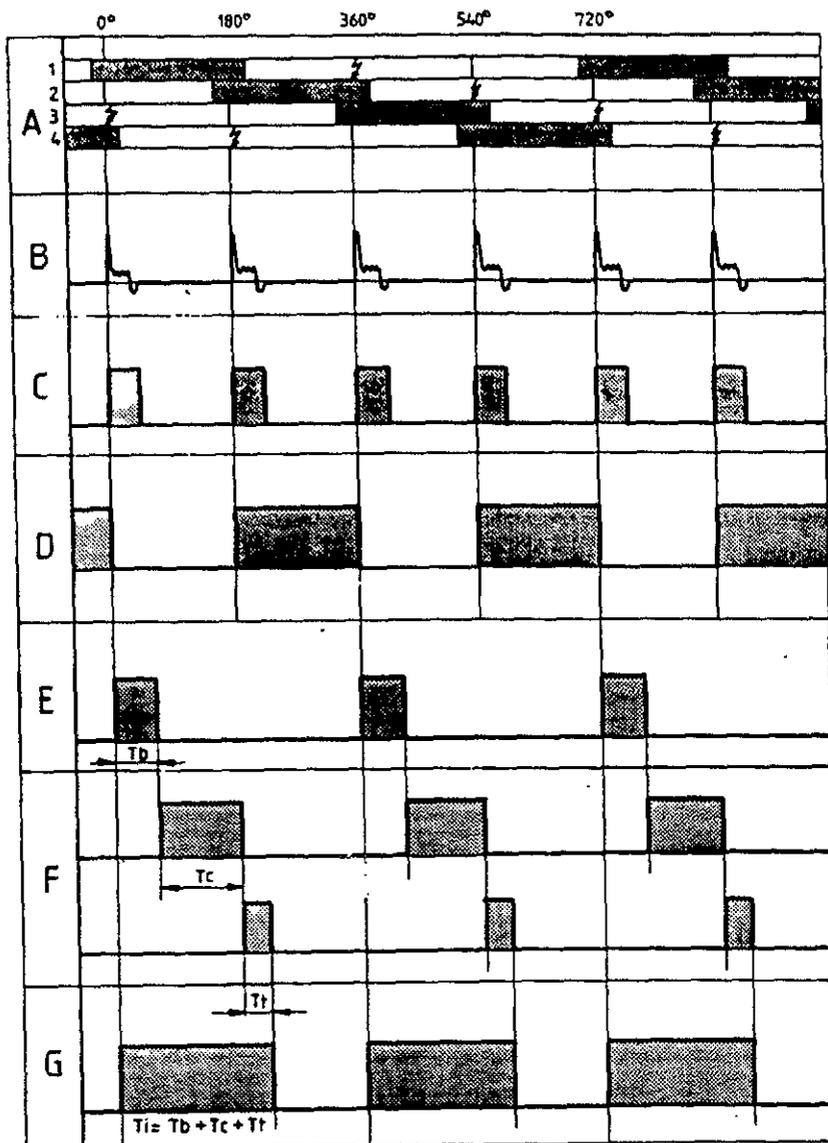


Figura II.3.3. Representación gráfica que muestra la selección del tiempo que debe permanecer abierto cada uno de los inyectores de acuerdo con la información que recibe la UEC de cada uno de los sensores.

En la sección A, vemos el orden de encendido de un motor representado por las pequeñas flechas y las secciones sombreadas indican el tiempo en que permanecen abiertas las válvulas de admisión de cada cilindro en un motor de cuatro cilindros (1 a 4) durante los grados de giro del cigüeñal (0° a 720°).

A continuación tenemos, en B, el resultado de la chispa eléctrica de encendido tal como se observa en un osciloscopio. Esta señal, recibida en primer lugar por el "conformador de impulsos", es convertida en señales rectangulares, tal como se aprecia en C, para mejorar su tratamiento y mezcla con otras señales.

En D tenemos la señal dividida por el conformador de impulsos y que sirve de referencia para que posteriormente se efectúe el suministro de combustible por los inyectores, ya que estos abren y cierran simultáneamente y actúan de modo que por cada vuelta del árbol de levas se inyecte dos veces la mitad de la gasolina que necesita cada cilindro para que el resultado final sea más favorable.

En E encontramos la señal de entrada en función del parámetro del caudal de aire a través del multivibrador. El tiempo de la señal es ahora el básico (T_b).

En F podemos ver el resultado de los tiempos de corrección que añade la "etapa multiplicadora". Son los tiempos T_c y T_t , los cuales, ya fueron mencionados previamente.

El resultado final de la inyección puede verse en G. La suma de los tiempos básicos, de corrección y de tensión, origina el tiempo de inyección (t_i) que ocupa los grados indicados en el gráfico, y que varía constantemente según las condiciones de funcionamiento del motor.

Este es el funcionamiento de la UEC propia de la familia de equipos de inyección de gasolina L-Jetronic, la cual ha dado origen a diferentes variantes destacadas todas ellas por medio de las siglas LE-Jetronic e incluso, entre estas, las LE1, LE2,

LH, etcétera, todas ellas de la serie Jetronic de Bosh.

El funcionamiento electrónico a que da lugar la conversión de las señales eléctricas en otras señales que se definirán en tiempo (en milisegundos de abertura de los inyectores) resulta bastante complejo aun cuando se trata siempre de procedimientos que se valen de circuitos básicos pero miniaturizados, con circuitos integrados componiendo memorias, de una forma básicamente igual.

Las unidades electrónicas de control solamente pueden comprobarse con su operación, y en caso de falla su reparación debe llevarse a cabo no ya por electrónicos sino por personal especializado y disponiendo de aparatos de control sofisticados y específicos de cada equipo.

II.3.3 La computadora Motronic

La unidad electrónica de control de motronic es, lógicamente, un dispositivo de mayor complejidad ya que todos los requerimientos propios de la inyección de gasolina debe añadir un control integrado del encendido y, sobre todo, del avance de encendido, el cual se determina de acuerdo con los otros parámetros de la inyección que posee.

Esta unidad consta de más de doscientos componentes electrónicos y esta formada por dos placas, una superior en la que se encuentra la parte digital, y otra, inferior, que contiene la parte del mando.

A continuación se describirá el funcionamiento de este sistema electrónico mediante la figura II.3.4.

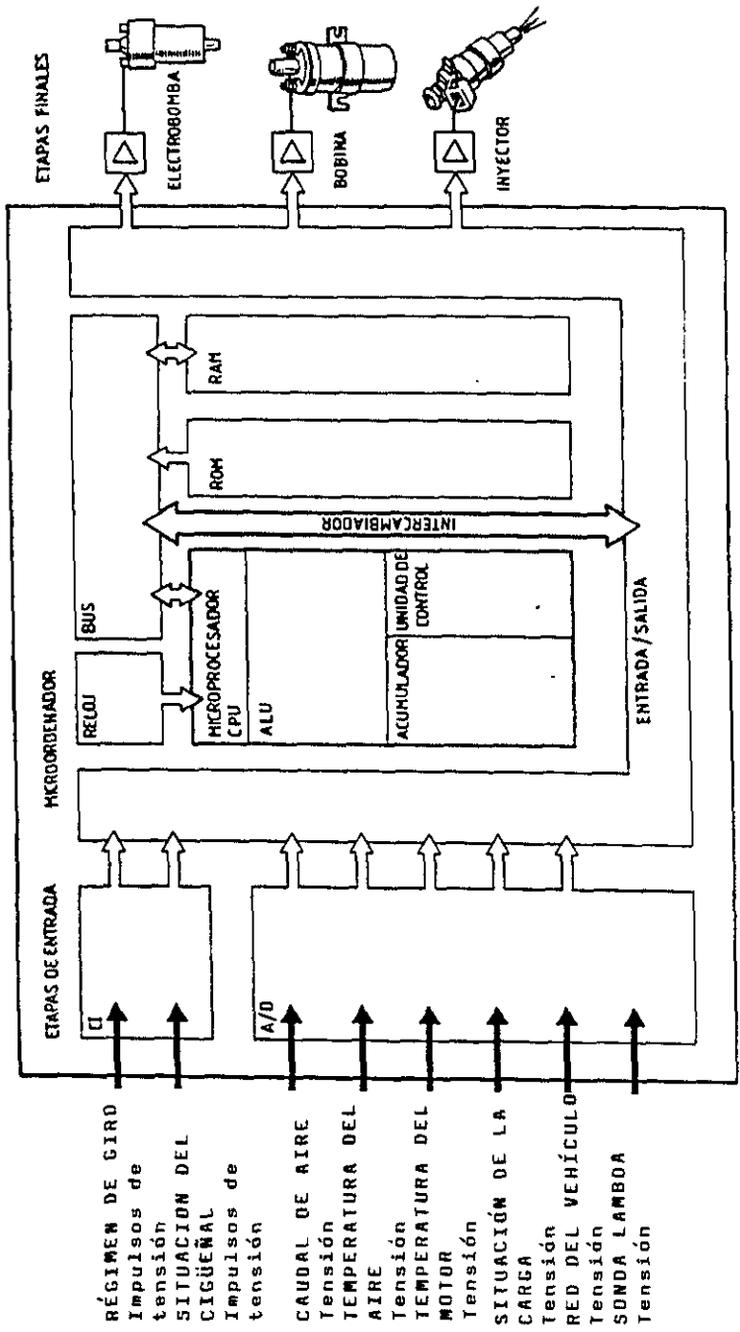


Figura II.3.4. Esquema de bloques de una UEC del sistema Motronic de la casa Bosch. Puede verse que la organización que adquiere la información que se recibe de los 8 sensores con respecto de las ordenes a las etapas de salida.

La UEC del Motronic consta, en primer lugar, de 8 entradas de información procedentes de los sensores que suministran las señales con las que el controlador debiera trabajar. Tal como se indica en la figura en el motronic se utilizan ocho sensores que son:

Regimen de giro. (Lectura dada por medio de impulsos de tensión).

Situación angular del cigüeñal. (Por impulsos de tensión).

Caudal de aire. (Señal dada por variaciones de la tensión).

Temperatura del aire. (Por variaciones de la tensión)

Temperatura del motor. (Por variaciones de la tensión).

Situación de la carga del motor. (Por variaciones de tensión).

Tensión de la red del vehículo. (por variaciones de tensión)

Oxígeno residual de la mezcla. (Por variaciones de tensión).

La información que adquieren estos sensores pasa constantemente a las entradas "etapas de entrada", compuestas por dos elementos: El conformador de impulsos (C.I.) y el convertidor analógico digital (A/D).

El conformador de impulsos (C.I.) recibe los impulsos de tensión de los organos de información del encendido. Estos impulsos son modificados en magnitud y en forma, para dejarlos en condiciones que puedan ser procesados por el microcontrolador. Una vez hechas estas transformaciones, pasan al circuito de "entrada/salida".

El convertidor analógico digital (A/D) es el encargado de recibir las señales que se producen por variaciones de tensión y que corresponden al resto de la información producida por los sensores. Sin embargo, estas variaciones de tensión, que podrían ser procesadas de una manera analógica, es necesario convertirlas a señales digitales.

Las señales pasan a ser convertidas pero en vez de una tensión en forma de diente de sierra de desarrollo lineal (que sería una señal analógica) en una cifra o número de impulsos por medio de lo cual se puede definir como una señal digital.

Desde las etapas de entrada, la información, ya preparada de la forma que se acaba de ver, pasa al interior del microcontrolador a través de su conducto de entrada/salida. Desde este punto los datos se distribuyen según su frecuencia a través del intercambiador de datos que los transporta al bus.

El bus está formado por un conjunto de líneas de transmisión, que como las flechas indican en el esquema, permiten el acceso a todas las unidades preparadas para la recepción. Son, pues, las vías a través de las cuales se alimenta de información a cada una de las unidades integradas fundamentales de la UEC.

El reloj sirve para mantener la secuencia de eventos apropiada para llevar a cabo cualquier tarea del microprocesador.

La unidad aritmético-lógica lleva a cabo las operaciones aritméticas y lógicas en los datos binarios como suma, complemento, funciones lógicas AND, OR, y NOR.

El acumulador es un registro de almacenamiento temporal que por lo regular contiene el resultado de la última operación y que será usado por la ALU para efectuar la siguiente operación.

En la memoria ROM se encuentran las instrucciones del programa que deberá ejecutar el microprocesador. En la memoria RAM se almacenan temporalmente los datos obtenidos durante un periodo corto de tiempo y que son de utilidad al microprocesador, Una vez que la computadora es apagada toda la información almacenada se borra.

Por último, está el conducto de salida que lleva las señales de control a los diferentes dispositivos actuadores que la computadora ha determinado después de procesar las señales de entrada.

CAPITULO III. ANÁLISIS FUNCIONAL DE LOS SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL MOTOR

El análisis funcional de los diferentes sistemas de control electrónico consistirá en describir los requerimientos del sistema en particular, para el caso de los motores de combustión interna a gasolina serán: la inyección de combustible, el control de emisiones y el sistema de encendido, tomando como base todos los fenómenos tratados en el capítulo 1 y que ayudan a determinar los aspectos que se presentan durante la operación normal de un motor y que representan las variables importantes durante el funcionamiento del motor.

Posteriormente se hará un análisis de cada uno de los dispositivos electrónicos que sirven como sensores y que son fundamentales en el control de la inyección, las emisiones y el encendido, tomando como base de referencia toda la información contenida en el capítulo 2 y que tiene especial importancia cuando se habla de los sensores del motor porque la aplicación que posee cada sensor implica una problemática particular que requiere ser estudiada por separado.

Finalmente, y una vez que se conocen los requerimientos del sistema, el siguiente paso será hacer un análisis de las diferentes variantes de los sistemas que los fabricantes han venido desarrollando a través de los años, aclarando que debido a la gran cantidad de marcas y modelos de vehículos solo serán analizados por orden de aparición los sistemas que han tenido más éxito y que han servido como modelo a seguir por la gran mayoría de los fabricantes, haciendo especial énfasis en las ventajas que ofrecen los sistemas más modernos respecto de sus antecesores.

III.1 Sistema de inyección electrónica de combustible

Un sistema moderno de inyección de combustible tiene los mismos objetivos que un motor con carburador. Existen seis tareas esenciales en un motor con inyección de combustible: Enriquecimiento del arranque, enriquecimiento del funcionamiento en frío, velocidad de marcha mínima y control de relación aire-combustible, control de la relación de aire-combustible en marcha, enriquecimiento con carga y enriquecimiento en la aceleración.

III.1.1. Factores de comportamiento

Enriquecimiento del arranque

Se entra al modo de arranque cuando el motor se pone a funcionar. El tiempo de encendido empieza a cerrar en el arranque inicial y la relación aire-combustible se enriquece ligeramente para facilitar el arranque. Este modo de operación continúa durante uno o dos segundos después de arrancar para asegurar que el motor continuará funcionando.

Enriquecimiento en frío

Después de que el motor es arrancado, funcionará en el modo de enriquecimiento en frío (también llamado de lazo abierto) durante segundos o varios minutos, dependiendo de su temperatura y del sensor de oxígeno. En este modo, todos los sensores están proporcionando información activamente acerca de los requerimientos del funcionamiento, excepto el sensor de oxígeno

que por su diseño solo trabaja arriba de los 600°C.

Durante este modo, el sensor de temperatura de refrigerante esta informando a la computadora acerca de los requerimientos del aprendizaje en la relación aire-combustible a medida que el motor se calienta.

Velocidad en marcha mínima

Una vez caliente el motor, el sensor de oxígeno ya está siendo utilizado por la computadora para medir la cantidad de oxígeno en el gas del escape de modo que la relación aire-combustible pueda estar constantemente equilibrada en los 14.7/1. Los sistemas modernos poseen una válvula de control de aire en marcha mínima. Esta válvula es un motor de pasos controlada por la computadora, y permite una entrada de aire adicional para asegurar la velocidad de marcha mínima sin importar los cambios en la carga del motor debidos a la transmisión, la dirección hidráulica, el alternador, el compresor del aire acondicionado o cualquier otra cosa.

Control de aire-combustible en marcha

En este modo la computadora puede o no ignorar al sensor de oxígeno, segun sean las condiciones. Este modo entra cuando se satisfacen cualquiera de las siguientes condiciones:

- Acelerador abierto.
- Carga alta del motor.
- Altas RPM del motor.

Enriquecimiento con carga

Cuando la señal del sensor de presión absoluta del múltiple de admisión indica una carga excesiva, la computadora supone una carga pesada y suministra una mayor cantidad de combustible.

Enriquecimiento en aceleración

Cuando la señal de posición del acelerador indica una posición repentinamente incrementada, la computadora debe enriquecer para proporcionar potencia extra.

Un carburador lleva a cabo cada una de estas tareas sin la ayuda de sensores adicionales o computadoras.

En el caso de la inyección de gasolina son la bomba de combustible y las válvulas de inyección o bien la bomba de inyección y las toberas de inyección (inyectores) las que toman a su cargo las funciones que antes cumplía el carburador. Con la inyección el combustible resulta pulverizado. En esto se parece el motor Otto de inyección de modo puramente externo al motor Diesel. Ahora bien, contrariamente a este, tiene instalación de encendido. La presión de inyección (de unos 3 a 15 bar) es notablemente mas baja y el momento de inyección esta dispuesto antes o durante el ciclo de admisión, es decir, no precisamente al final de la compresión como en el motor Diesel. Emplea tambien instalaciones con inyección permanente (continua). A raíz de la inyección al principio del ciclo de aspiración o por depositar el combustible antes inyectado se dispone en el motor de inyección de cuatro tiempos de unos 360° de ángulo de cigüeñal (una revolución) para la formación de la mezcla, es decir aproximadamente el mismo tiempo que en el motor de cuatro tiempos funcionando con carburador.

El combustible puede inyectarse directamente en los cilindros, o en el tubo de aspiración y el canal de admisión respectivamente. Puede inyectarse durante el ciclo de admisión, y mezclarse directamente con el aire aspirado. El combustible inyectado puede quedarse tambien depositado delante de la válvula de admisión, y mezclarse luego con el aire con el ciclo de admisión. La mezcla definitiva del combustible con el aire tiene lugar durante el ciclo de compresión. El control de la inyección puede ser electrónico o mecánico.

En el caso de la inyección directa (inyección en los cilindros) puede estar dispuesto el inyector en la culata o lateralmente en el cilindro. Aún cuando la inyección directa pueda obtenerse la máxima potencia por cilindrada (coches de carreras) En los coches de serie predominan las instalaciones con inyección en el tubo de aspiración que son más sencillas.

En el caso de inyección indirecta (inyección en el tubo de aspiración) se dispone el inyector en el tubo de aspiración o en el canal de admisión para tener una construcción mas sencilla y sobre todo para conseguir una presión de inyección menor que en la inyección directa.

Ventajas de la inyección de gasolina

En los motores Otto de inyección puede conseguirse un mejor llenado del cilindro disponiendo mas favorablemente los caminos de la aspiración. En todo el intervalo del número de revoluciones tienen una composición de mezcla mas uniforme y mejor adaptada, porque se distribuye a cada cilindro la misma cantidad de combustible, de lo que resulta mayor potencia por cilindrada, un par motor mayor, sobre todo a bajo número de revoluciones y menor consumo específico de combustible. El comportamiento de transición y la elasticidad del motor son buenos. Buen comportamiento de arranque en frío. Los motores de inyección hacen posible también mejor aceleración y frenado por el motor, porque al dar mas o menos gas la instalación de inyección reacciona con mas rapidéz que el carburador. Para acelerar hace falta menos combustible, pues el combustible inyectado no va atrasado respecto al aire. Con el motor frenado tanto en carrera horizontal como en bajadas, puede desconectarse la alimentación de combustible, de donde resulta un ahorro de este y un comportamiento favorable en la emisión de gases.

III.1.2 Clases de inyección de gasolina

Segun sea la clase de inyección, se distingue entre instalaciones de funcionamiento intermitente y de funcionamiento continuo. En la inyección de gasolina de funcionamiento intermitente, se inyecta en instantes separados en el tiempo, mientras que en la inyección continua de gasolina, la inyección es ininterrumpida.

Inyección intermitente de gasolina

a) Inyección de gasolina de mando mecánico, con elementos de bomba separados para los distintos cilindros del motor, similar a la bomba de inyección en serie del motor Diesel.

b) Inyección de gasolina de control electrónico, con sonda de presión (D-Jetronic).

c) Inyección de gasolina de control electrónico, con medición de la cantidad de aire (L-Jetronic).

Inyección continua de gasolina

a) Sistema de inyección de gasolina, mecánico-hidráulico, con medición de la cantidad de aire (K-Jetronic).

b) Sistema de inyección de funcionamiento mecánico, con medición de la cantidad de aire y levoide (DL-Zenith).

Componentes básicos

Los sistemas electrónicos de inyección de combustible tienen numerosos componentes en común, como el tanque de combustible, la bomba eléctrica, líneas de alimentación, inyector o inyectores varios sensores, y la unidad electrónica de control.

Realmente hay dos partes importantes en el sistema de inyección de combustible: la parte que alimenta el combustible y la parte de los componentes electrónicos para el control.

Inyector eléctrico de combustible

El inyector de combustible es una válvula que se acciona eléctricamente con una punta especial para rociar. Como se observa en la figura III.1.1. una bobina eléctrica rodea a una armadura de metal. Cuando la electricidad fluye por la bobina, se crea un fuerte campo magnético. Este campo magnético jala al solenoide, o núcleo, hacia la armadura y comprime un resorte de retorno. El inyector es un dispositivo electromagnético.

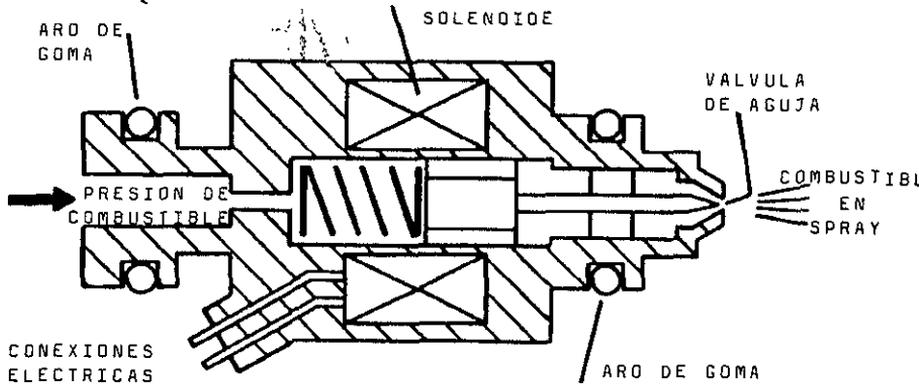


Figura III.1.1. Esquema de un inyector eléctrico de combustible

La válvula de aguja es parte del núcleo, así cuando se mueve el solenoide, la válvula se levanta de su asiento. Esto permite que el combustible presurizado, desde la línea de combustible conectada al inyector, se esparza después de la aguja. La bomba de combustible está funcionando constantemente, manteniendo la presión de combustible en la línea de alimentación al inyector.

Presión y distribución de combustible

Dos factores controlan la cantidad de combustible que se suministra cada vez que abre un inyector. La presión del combustible es el primer factor. Cuanto más elevada sea la

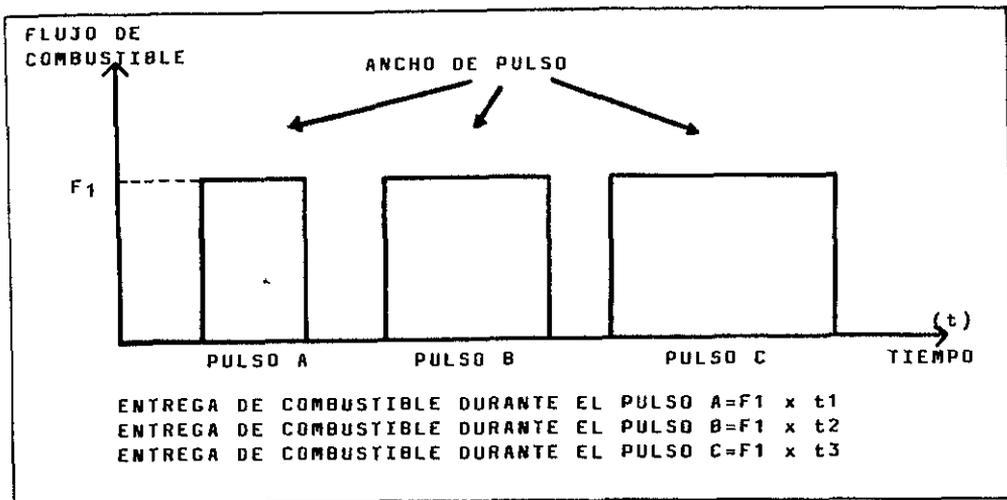
presión, más combustible fluirá fuera de la boquilla del inyector, en cada milisegundo que el inyector está abierto. Si la presión del combustible es menor, menos combustible pasará por el inyector en un momento determinado.

El tiempo es el segundo factor. Cuando el inyector se mantiene abierto por más tiempo para una cierta presión de combustible, se rocía mas combustible en el interior del múltiple. El tiempo durante el cual el inyector se mantiene abierto se llama ancho de pulso. Tanto la presión de combustible como el ancho de pulso, varían en muchos sistemas de inyección de combustible para obtener la proporción exacta de aire-combustible para bajas emisiones y buena potencia.

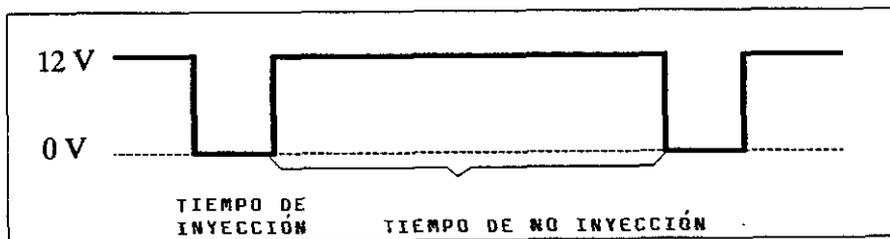
El tercer factor importante es la frecuencia de pulsación. La frecuencia es el número de ciclos completos de activación-desactivación que ocurren en cierto lapso. La unidad de medición de frecuencia mas común es el hertz. Una frecuencia de 10 Hz significa que 10 activaciones completas y 10 cortes completos ocurren cada segundo. Varios sensores de inyección de combustible incluyendo los sensores de arranque en autos equipados con un sistema de ignición sin distribuidor (DIS) y un sensor de presión absoluta, producen una onda de frecuencia variable.

Ciclo de trabajo

Es la relación del tiempo en que la corriente fluye a través del circuito y del tiempo en que la corriente no fluye a través de este, medida como un porcentaje. Este concepto no es nuevo para el motor del auto. Durante décadas se ha medido la relación entre el tiempo en que la corriente fluye a través de la bobina de ignición y el tiempo en que no lo hace. Esta relación se le conoce como ángulo de detención lo cual viene a ser el ciclo de trabajo del circuito primario de ignición, medido en grados de rotación.



- a) Cambio de ancho de pulso en el inyector para cambiar la cantidad de combustible entregado.



- b) Voltaje en los bornes del inyector

Figura III.1.2. Gráficas de la señal presente en los bornes del inyector donde se muestra que se puede cambiar el ancho de pulso para cambiar la cantidad de combustible entregado(a), y también que el ciclo de trabajo es el porcentaje de tiempo efectivo de activación de un inyector (b).

III.1.3. Distribución de TBI (Throttle Body Injection)

Los sistemas de inyección en el cuerpo de aceleración, rocían el combustible al múltiple de admisión al inicio, la mezcla aire/combustible en el múltiple se desplaza a cada válvula de admisión, cuando estas se abren. El inyector se abre y se cierra como respuesta para mantener la proporción correcta de aire/combustible.

El sistema puede tener una relación sincrónica con el encendido o puede no tenerla. Cuando la relación de encendido del inyector es sincrónica con el encendido, el inyector se enciende una vez por cada inyector o pulso de referencia del cigüeñal. Cuando el sistema es no-sincrónico el inyector abre, en general, durante un periodo de tiempo ajustado, tal vez cada seis milisegundos. Aquí el programa del computador no comprende una referencia a la distribución del motor, solamente el flujo de aire, temperatura y otros sensores de aire/combustible.

Hay sistemas de TBI que funcionan en forma sincrónica normalmente pero encienden en forma asincrónica para situaciones especiales, como una difícil aceleración, donde se necesita un enriquecimiento extra, o una desaceleración, donde deba existir una condición pobre.

III.1.4. Inyección en puerto

Los sistemas de inyección de combustible en puerto tienen un inyector colocado en el múltiple de admisión precisamente antes de cada válvula de admisión. Los sistemas convencionales de inyección de combustible en puerto, están diseñados para abrir o "encender" en uno de los dos diferentes modos. En el primer sistema que se diseñó, una mitad de todos los inyectores

de combustible se abren a cada revolución del motor. En un motor de cuatro cilindros, se abrirían al mismo tiempo dos inyectores. El combustible que se rocía en el interior del múltiple se queda en una "nube", precisamente fuera de la válvula de admisión, esperando que esta se abra. Luego, en la siguiente revolución del motor, se enciende el otro par de inyectores. Todo el combustible para un cilindro, es alimentado cada vez que se abre su inyector. El combustible se alimenta a unas válvulas precisamente antes de que abran y, para otras, una o mas carreras antes de que abra esa válvula de admisión.

En los últimos sistemas de inyección en puerto, todos los inyectores se encienden al mismo tiempo, una vez por cada revolución del cigüeñal. Cada vez que el inyector se abre, se alimenta la mitad del combustible que requiere un cilindro. Como todos los inyectores abren simultáneamente, el tiempo específico en que se inyecta el combustible varía en relación al momento en que se abre una cierta válvula de admisión. La neblina del combustible se deposita en el múltiple de admisión esperando que la válvula de admisión correspondiente se abra.

III.1.5. Inyección sincronizada en puerto

Como es el caso, en la inyección regular en puerto, hay un inyector que se coloca en el múltiple de admisión, precisamente antes de cada válvula de admisión en el sistema de inyección sincronizada en puerto. En este sistema, cada inyector abre antes de que abra su válvula particular de admisión. Este sistema es mas complicado porque cada inyector abre por separado. Algunos sistemas cambian también la distribución del inyector, de acuerdo con la velocidad del motor. El inyector abrirá antes en relación con la abertura de la válvula de admisión. Ese cambio permite incrementos en la

velocidad del aire cuando cambian las RPM del motor. El programa de la computadora para manejar este complejo incremento, es obviamente mas complicado.

En general, la computadora controla los inyectores, permitiendo que la corriente que va hasta ellos regrese, a través de la computadora a tierra. Se suministra corriente a los inyectores por el relevador principal, cuando se conecta el encendido para que haya energía en los inyectores. La respuesta rápida de los inyectores puede mejorarse acortando el tiempo en que se eleva el suministro de corriente. En el inyector se ponen menos vueltas de alambre, pero eso disminuye su resistencia eléctrica. Por tanto, debe instalarse un resistor, en serie con el inyector, para limitar la corriente que llega a él.

Funcionamiento de los sensores del motor

La inyección electrónica de combustible se controla con un programa de computador que se almacena en el modulo de control electrónico. Este programa esta diseñado para recibir señales provenientes de varios sensores, calcular los requerimientos de combustible, activar el sistema de inyección según se necesite y para mantener la proporción correcta aire-combustible para las necesidades reales del motor.

Como podría esperarse, no hay un estandar de inyección de combustible.

III.1.6. Factores que determinan la inyección de combustible

El objetivo primario del sistema electrónico de control de combustible, es controlar la proporción exacta de la mezcla aire-combustible. Se usan dos sistemas posibles para determinar

la cantidad de aire que el motor esta introduciendo y, por tanto, la cantidad de combustible que debe inyectarse. El primer sistema mide la diferencia de presión entre la atmósfera interior y exterior del múltiple de admisión. Esa diferencia de presión y las RPM del motor pueden usarse para calcular el flujo real de aire. Una vez que se calcula el flujo de aire hay que calcular la necesidad de combustible. Otras variables, como la temperatura del motor y del aire, se usan para afinar ese cálculo básico. La información del sensor de oxígeno se usa para afinar aún mas el cálculo de aire combustible.

El segundo sistema para determinar el flujo de aire en el interior del motor, es una medición directa del flujo de aire. Se monta un sensor de flujo de aire en el múltiple de admisión. Se usan otras entradas del sensor para modificar la información básica y mejorar la respuesta del motor a las condiciones existentes.

Sensores del motor

A continuación se presenta una lista de sensores que se pueden encontrar y que dan información para determinar la inyección de combustible por el módulo de control electrónico.

- 1.Sensor de presión absoluta del múltiple.
- 2.Sensor de posición del acelerador.
- 3.Distribuidor o sensor de referencia del cigüeñal (medición de la inyección de combustible).
- 4.Sensor de temperatura del líquido refrigerante.
- 5.Sensor de oxígeno en los gases del escape.
- 6.Sensor de temperatura del cuerpo de aceleración (temperatura del combustible).
- 7.Sensor de temperatura del aire del múltiple (temperatura de carga de aire).

- 8.Sensor de detonación.
- 9.Sensor de flujo de masa de aire.
- 10.Sensor de presión atmosférica.
- 11.Sensor de velocidad del vehículo.
- 12.Interruptor de diagnóstico del vacío de EGR.

Uno de los factores mas importantes que afectan el desempeño del motor es la cantidad de aire y gasolina. Un volumen de 14.7 partes de aire por una parte de gasolina producirán un balance entre el número de átomos de oxígeno y el número de átomos de carbono. Si se aumenta un poco la cantidad de aire, el motor sufrirá pérdida de potencia. Si la cantidad de aire se disminuye, hidrocarburos y monóxido de carbono serán emitidos por el escape.

La cantidad de aire entrante en el múltiple de admisión es determinado por los siguientes factores:

- 1.La temperatura del aire entrante

Entre mas alta es la temperatura del aire este se vuelve menos denso, por lo que en un volumen determinado de aire existirá menos cantidad de oxígeno.

- 2.Velocidad del motor

Una velocidad más alta del motor implica un requerimiento de aire mucho mayor.

- 3.Presion atmosférica

El flujo de aire entrante a las cámaras de combustión depende en gran medida de la diferencia de presión entre la atmósfera y el cilindro. Como la presión atmosférica es menor a mayores altitudes, el flujo de aire es menor también.

- 4.Posición de la mariposa de aceleración

La mariposa de aceleración esta conectada al pedal de aceleración y es controlado por el conductor. El conductor incrementa la velocidad del motor presionando el pedal, abriendo la mariposa e incrementando el flujo de aire al motor.

La computadora debe calcular cuanto aire está entrando al motor para así ajustar el flujo de combustible. Las señales eléctricas del sensor de temperatura de aire entrante, un sensor de velocidad, el sensor de presión absoluta en el múltiple y el sensor de posición del acelerador son usados por la computadora para calcular la cantidad de aire que esta entrando a los cilindros.

III.1.7. Sensores de presión absoluta

Conocido por sus siglas en inglés MAP (Manifold Absolute Pressure). Este sensor monitorea la presión en el múltiple de admisión. Las lecturas de presión en el múltiple se usan para calcular la masa del aire entrante al motor. Tales cálculos son empleados por la computadora para determinar la cantidad de gasolina que se requiere para la combustión correcta. Al aumentar la presión en el múltiple, la computadora asume que la masa de aire que entra al motor está incrementada. Además, al incrementarse la presión del múltiple, la computadora estima que la carga del motor esta aumentando. Las cifras de carga del motor se usan para calcular los tiempos de enriquecimiento y encendido.

$$\text{Flujo de masa de aire}^* = \frac{N \cdot \text{MAP} \cdot \text{Desplazamiento} \cdot \text{RPM}}{T_{\text{carga}}}$$

Donde N es un factor empíricamente determinado, normalmente es de 0.6, MAP es la presión absoluta en el múltiple de admisión en kPa, desplazamiento es el volumen de los cilindros multiplicado por el número de cilindros en cm^3 , RPM son el número de revoluciones por minuto, y T_{carga} es la temperatura de la

* Esta fórmula se encuentra en Sensor Device Data, En el capítulo 4, paginas 386-391. 1997.

mezcla aire/combustible. Este dato es usado para ajustar el ancho de pulso del inyector, y de esa manera asegurar el balance estequiométrico de la máquina, es decir, una mezcla no rica ni pobre.

$$\text{Pulso de inyección base} = \frac{\text{Flujo de masa de aire}}{\text{RPM}} \times K$$

Las especificaciones generales para los sensores MAP varían para los diferentes fabricantes. Las especificaciones dependen del algoritmo, tecnología y sistemas requeridos. El rango de presión típica para estos sensores es de hasta 105 kPa, y en el caso de los sistemas turbocargados llega a ser de hasta 250 kPa.

Los sensores que se usan ahora son muy pequeños y convierten la señal de presión en un cambio, ya sea en la resistencia eléctrica, o en la capacitancia. El sensor consta de un disco delgado de cerámica, o disco metálico cubierto de cerámica, con una cubierta eléctrica, tipo resistencia. La presión del múltiple se dirige a un lado del disco y en el lado opuesto esta presente la presión atmosférica. Cuando cambia la presión en el múltiple, la diferencia de presiones en los dos lados empuja al disco hacia afuera o hacia adentro. Cuando el disco se mueve, cambia la resistencia eléctrica de la cubierta especial. Ese cambio en la resistencia eléctrica es la señal del sensor.

Otro diseño de los sensores de presión tiene dos discos delgados de cerámica con un vacío en medio de la pequeña distancia que los separa.

La superficie interior de cada disco está cubierta con un material conductor. Si un disco se carga positivamente y el otro negativamente, el ensamble se convierte en un capacitor. La presión variante, proveniente del múltiple sobre el lado

exterior de un disco, y la atmósfera en la otra superficie exterior harán que los discos se doblen hacia adentro, variando las cantidades. Eso cambiará la capacidad eléctrica del capacitor. Ese cambio en la capacidad eléctrica es la señal del sensor a la computadora.

El sensor de presión del múltiple puede montarse en la carrocería del vehículo, en el compartimiento del motor y se conecta al múltiple de admisión en una manguera de vacío.

III.1.8. Sensores del flujo de aire

El sistema sensor más común para fijar la proporción aire/combustible del motor, utiliza un sensor dosificador de flujo de aire. Hay dos métodos muy comunes de dosificar el flujo de aire: El anemómetro de aspa y el anemómetro de alambre caliente. Ambos aparatos miden directamente la masa de aire que entra al motor.

El anemómetro de aspa consta de una placa dosificadora activada por un resorte, que atraviesa el paso de aire del sistema dosificador. La placa está conectada a una resistencia variable (potenciómetro). A medida que la masa de aire aumenta en el paso, el aspa o placa, empujada, abre mas. A medida que la placa se mueve, la resistencia cambia, indicando el cambio en el flujo de aire. Este sensor cambia el valor de la masa en un valor de resistencia eléctrica.

La placa dosificadora que esta en el sensor de flujo de aire tiene una placa de compensación unida a ella, en un ángulo de 90°. Esta placa está diseñada para amortiguar la acción de la placa dosificadora, de modo que las pulsaciones de aire en la admisión no hagan vibrar la placa dosificadora. La placa de compensación ajusta en una parte especial, propia, de la cubierta del sensor.

Este tipo de sensor de flujo de aire esta localizado despues del filtro de aire, en el sistema de admisión de aire del motor. Eso evita que con el flujo de aire entre suciedad al sensor. El entubado largo que se une al sensor, dirige el flujo de aire al cuerpo de aceleración del motor.

El anemómetro de alambre caliente consta de uno o dos alambres de resistencia estirados que atraviesa la corriente de aire que entra. Se hace pasar una corriente eléctrica por los alambres. Se mide la corriente que se requiere él o los alambres a una temperatura constante. Si entra mayor masa de

aire, se requiere mas corriente para mantener caliente la temperatura del alambre. El cambio en la corriente, cuando su resistencia aumenta o disminuye, se convierte en la señal de salida del sensor.

Algunos sensores utilizan un circuito intercostruido de apoyo, un poco complicado para producir la señal de salida que se envía a la computadora del motor. La señal de salida puede ser una salida de frecuencia variable.

Con el sistema de alambre caliente, que utiliza un alambre simple para captar el flujo de aire, se utiliza un sensor de temperatura del aire para ayudar a determinar la señal de salida. Algunos sensores proporcionan tambien un sistema limpiador del alambre que lo calienta a una temperatura muy elevada para quemar todas las impurezas durante unos momentos.

El sensor de flujo de masa de aire, tipo alambre caliente, se coloca en el sistema de entrada de aire al motor, entre el filtro de aire y el cuerpo de aceleración.

III.1.9. Sensores para la sincronización del motor

Muchos sensores diferentes se emplean para determinar la sincronización del motor. Algunos motores tienen en el distribuidor un sensor de inducción magnética o de efecto Hall. Estos sensores se usan para la sincronización del encendido y de inyección de combustible. Chrysler utiliza, en el distribuidor de algunos modelos, un sensor de efecto Hall para sincronizar la inyección de combustible. Los sensores de cigüeñal, tanto de inducción magnética como de efecto hall, son usados por varios fabricantes de motores.

Se puede encontrar un tercer tipo de sensor de sincronía, que es el sensor de inducción magnética o de efecto Hall del árbol de levas. Algunos de estos sensores se usan para la

sincronía del encendido, pues algunos sistemas de inyección de combustible abren los inyectores en un intervalo sincronizado y no de acuerdo a la sincronía del motor. Otros motores tienen un sensor de ángulo de cigüeñal y un sensor del árbol de levas que, juntos, determinan la sincronía tanto para el encendido como para los sistema de inyección de combustible.

Sensor de inducción magnética: La inducción magnética es el principio que usan las bobinas de encendido para producir el voltaje elevado que se necesita para encender las bujías. La inducción magnética requiere un conductor, un campo magnético, y un movimiento ya sea del campo magnético que pasa por el conductor, o del conductor que pasa por el campo magnético. Al moverse el campo magnético que pasa por el conductor, produce en este un voltaje. Al moverse el conductor, pasando por él campo magnético, también se produce un voltaje en el conductor.

El sensor típico que emplea el principio de inducción magnética, consta de un imán permanente con una bobina de alambre enredado a su alrededor. El sensor se coloca muy cerca de un disco metálico que se mueve, con ranuras que lo sostienen. estas ranuras, parte ranurada del cigüeñal, árbol de levas o árbol del distribuidor, se denominan reluctores.

El movimiento de una de las ranuras del disco móvil, al pasar por el imán o la bobina, modifica el campo magnético del imán. El movimiento del campo magnético, pasando el devanado que rodea el imán induce un voltaje en ese devanado. Ese voltaje es la señal de salida del sensor que dependerá de la velocidad de giro del reluctor. Una velocidad mas alta producirá una tensión mas alta. La distancia entre reluctor y sensor cambiará también la señal de salida del sensor. El ajuste de distancia en relación al reluctor debe hacerse con cuidado.

Un modo diferente de usar el mismo principio físico del sensor es hacer que una corriente pequeña atrviese siempre el devanado de alambre del sensor. Cuando la ranura metálica que

está en el cigüeñal, árbol de levas o árbol del distribuidor, pasa el sensor, el campo magnético que rodea el devanado del sensor se mueve o fluidifica. Eso causa una inducción en el devanado, primero opuesta a la dirección original de la corriente y luego en la misma dirección. La contrainducción también se llama reluctancia. En ese instante la corriente que atraviesa el alambre se reduce debido a la resistencia eléctrica mas elevada o reluctancia en el sensor. El cambio en la señal original de corriente que es enviada a través de un sensor, es la nueva señal que esta envía.

Sensor de efecto Hall. Este sensor es semejante al sensor de inducción magnética, solo que usa un dispositivo semiconductor en vez de la pequeña bobina de alambre. Hay imanes en uno y otro lado del dispositivo de estado sólido, y a través de él se envía corriente desde una entrada de la computadora. Cuando la ranura de metal que esta en el eje giratorio, pasa por el sensor, el campo magnético se fluidifica a través del dispositivo de efecto Hall. Esto genera un voltage en dirección opuesta al flujo normal. Esta abrupta ruptura de la corriente normal, es la señal del sensor.

III.1.10. Sensores de posición de acelerador

Se utilizan sensores de posición del acelerador para medir cuanto abre la válvula de aceleración y con que rapidez abre y cierra. Algunos sensores son interruptores sencillos que determinan si el papalote está totalmente abierto, cerrado (en velocidad mínima) o en un punto intermedio. Los sensores más sofisticados de posición del acelerador, sensan el ángulo del papalote y la velocidad de apertura y cierre.

El sensor de posición del acelerador variable consta de un resistor de banda con un contacto sobre él. El contacto está fijo al eje del papalote. Se envía un voltaje fijo a un extremo del resistor, a medida que el eje del papalote se mueve y recibe un voltaje variable menor que el voltaje inicial de entrada. Ese voltaje se mide con la posición particular en que está el contacto a lo largo del resistor. Cuando el contacto se aproxima al extremo del resistor, se envía un voltaje al interior; la salida del voltaje aumenta, acercándose al voltaje inicial. En términos eléctricos, el resistor y el contacto deslizante un potenciómetro.

El sensor de posición del acelerador se encuentra en el extremo opuesto del eje del papalote al que esta conectado el cable o unión del papalote. Algunos de estos sensores son una combinación de potenciómetro y ensamble del interruptor.

III.1.11. Sensores de temperatura

Uno de los sensores mas comunes y usados desde hace mucho tiempo es el de temperatura. Los tipos mas viejos se usaron en los autos que se fabricaron en los años veinte y treinta. La expansión de un metal empujaba o jalaba una conexión y, luego, a la aguja del indicador de temperatura. Un pequeño tubo conectaba un el extremo del sensor al del indicador. Ahora, hay muchos tipos de sensores de temperatura. Algunos de ellos son unos interruptores sencillos que abren o cierran un circuito a una temperatura específica. Este sensor en general consta de un brazo bimetalico de contacto y de un contacto que se coloca muy cerca del contacto estacionario. Cuando la temperatura del sensor aumenta, el brazo bimetalico comienza a doblarse y mueve el contacto, alejándolo del contacto estacionario. El circuito

se abre. El interruptor puede diseñarse para cerrar los contactos de modo similar, invirtiendo los lados del brazo metálico. También puede usarse la presión del gas que empuja en un diafragma metálico para accionar un interruptor. El gas se pone en un tubo expuesto al fluido que se esta monitoreando. Cuando el gas se expande al aumentar su temperatura, su presión crece. El aumento en la presión mueve el diafragma flexible. Un contacto eléctrico que está en el lado opuesto del diafragma toca un contacto estacionario y completa el circuito eléctrico.

Los sensores de temperatura que envían una señal variable en una gama de temperatura se construyen en cualquiera de los modos mayores. Un sistema utiliza los principios mecánicos, donde el cambio de temperatura causa un cambio directo en la resistencia eléctrica. El sensor del elemento de resistencia utiliza un resistor de bobina de alambre, que cambia la conductividad a medida que cambia la temperatura. Los sensores mas viejos utilizaban tambien un elemento sensor de temperatura y un resorte conductor para cambiar la resistencia eléctrica del circuito.

El segundo tipo de emisor de señal variable utiliza un componente electrónico. En el sensor de temperatura de estado sólido se usa un termistor para variar la resistencia eléctrica. El termistor cambia su resistencia a medida que cambia su temperatura. El termistor se coloca en un tubo sellado, en el extremo del sensor, y en contacto con el fluido, donde se necesita la medición de temperatura.

Los sensores de temperatura se usaron alguna vez, para medir la temperatura de agua del motor. Ahora se necesita una mejor medición de la temperatura del aire que entra, del aceite del motor y de las temperaturas del agua, para mantener las proporciones exactas de aire-combustible. Los sensores de temperatura se pueden encontrar en los siguientes lugares:

1. Bloque del motor: agua.
2. Cabeza de cilindro del motor: agua.
3. Múltiple de admisión: temperatura de carga.
4. Anemómetro: Corrección de temperatura del flujo de aire.
5. Radiador: Nivel o temperatura del agua.
6. Transmisión: Temperatura del fluido.
7. Area de pasajeros: Calefacción y acondicionamiento del aire.
8. Refrigerante de acondicionamiento de aire bajo: Bajo nivel del refrigerante.

III.1.12. Sensores de detonación

Este sensor se usa para determinar si un motor está produciendo combustión de un tipo dañino al motor. La combustión radical del motor, golpeteo, que causa presiones muy altas en el cilindro, en períodos muy cortos, hace que ocurra un ruido en frecuencias específicas. Las puntas de presión elevadas sobrecargan los cojinetes y maltratan los pistones.

El sensor de cascabeleo o de detonación "escucha" las frecuencias específicas que ocurren durante la combustión del motor. Si detecta frecuencias de cascabeleo, el sensor envía una señal a la computadora; ahí el programa hace que las sincronías de encendido y medición de combustible cambien, hasta que se elimine el cascabeleo.

Este sensor puede constar de dos pequeñas barras de metal de una longitud que vibrara a una frecuencia específica. Las barras se mantienen en un campo magnético dentro del sensor. Si el motor comienza a vibrar en la frecuencia del cascabeleo (esto ocurre durante la combustión) las barras en el sensor vibran por resonancia. Su vibración cambia el campo magnético en el interior del sensor y cambia también la señal de salida hacia la computadora.

Este sensor está puesto, generalmente, en la cabeza del cilindro del motor. Muchos fabricantes acostumbran montar este sensor en el múltiple de admisión. El sensor se prueba en estado dinámico. Se conecta al motor una luz cronometradora y se le echa a andar a una velocidad constante; 2000 RPM indican un buen funcionamiento. Se observa la sincronía del motor. Todavía funcionando el motor y observando la sincronía se golpea la cabeza del motor, o el múltiple de admisión, con un martillo; si el tiempo del motor se retarda mientras se golpea, el sensor está funcionando.

Algunos sensores pueden probarse con un ohmetro digital.

Antes de intentar esta prueba, se debe verificar que aparezca en el manual de taller.

Otra prueba para el sensor de detonación consiste en leer las claves de falla del vehículo y ver si está la clave de falla del sensor de detonación. La prueba y sustitución son los únicos servicios que se pueden dar a los sensores de detonación.

III.1.13. Sensores de presión barométrica

El sensor de presión barométrica desempeña un papel semejante al de los sensores de presión en el múltiple. La diferencia es que el sensor de presión barométrica, que usa resistencia, tiene la presión barométrica por un lado del disco y vacío en el otro lado. El tipo capacitor tendrá presión barométrica en el exterior de los dos discos con vacío en medio. En cualquiera de los dos casos, la señal variable de salida informará al computador de las diferencias en el contenido de humedad del aire o de un cambio en la altitud. Esos ligeros cambios de presión necesitan un cambio en el programa de combustible para tener una proporción perfecta de aire-combustible. Otro nombre del sensor de presión barométrica es sensor de compensación de gran altura. Los sensores de presión barométrica, en general se colocan en el área de pasajeros del auto.

III.1.14. Sensores de velocidad del vehículo

El nuevo y típico sensor de velocidad del motor es un pequeño generador de corriente alterna. General motors lo llama PM. El sensor consta de un rotor de imán permanente y una sección

bobinada del estator. El eje del rotor tiene un engrane en un extremo que es accionado por el engranaje impulsor de la transmisión, anteriormente engrane impulsor del velocímetro.

Con el engrane impulsor del velocímetro, montado en el eje de salida de la transmisión, hace girar al eje del generador, se genera un voltaje de AC. Cuando mas rápido gira el motor, mas alta será la frecuencia y el voltaje de la señal de salida. Esta señal es enviada al amortiguador, para que se convierta en una señal digital que pueda ser aceptada por la computadora.

III.1.15. Sensores de oxígeno

La señal de contenido de oxígeno en el gas del escape, es la señal de retroalimentación mas importante que la computadora recibe para determinar si la porción inicia aire/combustible se programó correctamente. Si hay oxígeno en exceso en el gas de escape, ello indica que durante las combustión hubo muy poco combustible. El computador permitirá que los inyectores se queden abiertos por mas tiempo para enriquecer la mezcla de combustible. El sensor de oxígeno se coloca en el sistema de escape, muy cerca del motor. Cuando el sensor se calienta a la correcta temperatura de operación, produce un voltaje que varía de acuerdo con la cantidad de oxígeno que haya en el gas de escape que pase por él. El sensor puede llamarse bateria galvánica. El voltaje varía de cero a un voltaje positivo en algunos sensores de oxígeno. El voltaje que se genera es la señal del sensor a la computadora.

Este sensor puede construirse de diferentes modos, pero todos son muy parecidos. Un tipo común utiliza un elemento de dióxido de zirconio en forma de tubo, con un extremo con aspecto de bulbo. Tanto el interior como el exterior del tubo están

cubiertos con platino. El interior del tubo tiene escape a la atmosfera y el exterior es bombardeado con los gases calientes del escape del motor.

El dióxido de zirconio con ayuda de una cubierta de platino, transfiere iones del lado del escape a la superficie interior de platino, cuando hay oxígeno en el gas de escape. Esa tensión se conduce hacia afuera por medio de un alambre unido a la superficie interior del bulbo. Una capa interior de metal y la cubierta, mantienen al elemento del sensor en su lugar y lo protegen.

Algunos de los sensores de oxígeno mas recientes tienen un elemento calefactor en su interior. Ese sensor no produce salida, hasta que alcanza una temperatura superior a los 600°F. El elemento calefactor incorporado calentará al sensor mas rápido y permitirá que responda con mayor rapidez cuando el motor este trabajando a una salida muy baja. Dos alamabres, o mas, estarán unidos al sensor de gas en el escape que contiene calentamiento. El tipo no calentado tendrá un solo alambre.

El contenido de oxígeno en los gases de escape es el resultado de una combustión de mezcla pobre que provocara un voltaje menor de 450 mV que serán entregados a la computadora. Cuando los gases del escape son el resultado de una combustión rica, el voltaje del sensor de oxígeno a la computadora será mayor de 450 mV.

Cuando el voltaje del sensor de oxígeno esta indicando una condición de mezcla pobre, la computadora responderá enriqueciendo la mezcla. Cuando el voltaje del sensor es alto, la computadora responderá empobreciendola. De esta manera se ajustan los errores mínimos y variaciones desde los sensores de entrada y controla la relación de aire/combustible 14.7-1.

III.2 Control de emisiones del motor

La temperatura de los gases de combustión en los cilindros tiene un efecto directo en el torque, la calidad de la marcha y la producción de óxidos de nitrógeno (NOx).

El torque depende directamente de la temperatura del gas en la combustión. Entre mas alta sea la temperatura y mas largo sea el tiempo en que esta permanezca alta, el torque será mas alto. Si la temperatura de combustión es baja se producirá un menor torque.

La calidad de la marcha (también llamada continuidad) depende de manera similar de la temperatura de combustión. Durante altas temperaturas se mantiene una buena calidad de la marcha, un encendido ininterrumpido y una marcha suave. Si la temperatura de combustión disminuye a menos de la temperatura de combustión mínima para mantener una buena calidad de marcha, el torque disminuye causando una operación del motor inestable, e incluso el motor llegaría a detenerse.

La formación de NOx también depende de la temperatura de combustión. Cuando la temperatura se incrementa a mas de 2300°F (1300°C aprox.) la formación de NOx se incrementa demasiado.

Hay que lograr el mejor punto de operación del motor sin afectar el torque, la eficiencia y la continuidad por una parte, y por otra parte la formación de NOx no debe exederse. Se desea mantener la temperatura de combustión tan alta como sea posible para tener la máxima potencia, pero sin que se dispare la formación de NOx.

La temperatura de combustión depende de cuatro factores:

1. La temperatura de refrigerante

Una baja en la temperatura del líquido refrigerante del motor bajará la temperatura de los cilindros que a su vez bajarán la temperatura dentro de las cámaras de combustión.

2. La mezcla de aire y combustible

Una baja en la cantidad de aire (enriquecimiento de la mezcla) ocasiona que permanezcan hidrocarburos sin quemar y se forme el monóxido de carbono en el frente de la flama.

3. Tiempo de encendido

El tiempo de encendido afecta el momento en que se enciende el combustible. La ignición se anticipa a la llegada del pistón a su punto muerto superior por lo que existe menos superficie de las paredes del pistón en contacto con los gases en combustión, esto dificulta la absorción del calor generado dentro del cilindro, provocando que la temperatura se incremente mucho mas de lo deseado.

4. Recirculación de gas del escape

Se puede afirmar que incluso con un buen control de los puntos vistos anteriormente, la temperatura de combustión exedería los 2300°F.

III.2.1. Sistema de recirculación de gas del escape

Cuando el gas del escape está por salir hacia la atmosfera, tiene una temperatura aproximada de 600°F. Si el proceso de combustión ha sido el adecuado, los gases de escape estarán compuestos por nitrógeno, vapor de agua y dióxido de carbono. Todos estos gases son inertes, es decir, no producen combustión pero tampoco afectan al proceso que se está llevando a cabo.

Una parte del gas inerte de escape puede ser introducido en el múltiple de admisión y entrar a la cámara junto con el combustible y el aire (en este momento el gas del escape tiene una temperatura aproximada de 300° a 400°F) los cuales absorberán una parte del calor generado en el proceso de combustión.

Variando la cantidad de gas del escape en recirculación, la temperatura máxima de combustión puede ser controlada con bastante precisión. Controlando la temperatura de combustión se limita la formación de NOx sin afectar seriamente el desempeño del motor. La cantidad óptima de gas recirculado de escape es de cerca del 10% del volumen total que entra a los cilindros.

Componentes del sistema de recirculación de gases

Con el objetivo de adicionar la cantidad necesaria de gas de escape al múltiple de admisión un sistema EGR consiste normalmente de los componentes que a continuación se describen y que podemos apreciar en la figura III.2.1.

- 1.Valvula EGR. Esta válvula está montada entre el múltiple de admisión y el múltiple de escape. Esta válvula controla el flujo de gas hacia el múltiple de admisión, y normalmente es operada por medio de vacío.
- 2.Sensor de posición de la válvula EGR. Este sensor es generalmente parte de un conjunto EGR. Monitorea la posición de la valvula EGR, permitiendo que la computadora tenga un control preciso del flujo de gas recirculado.

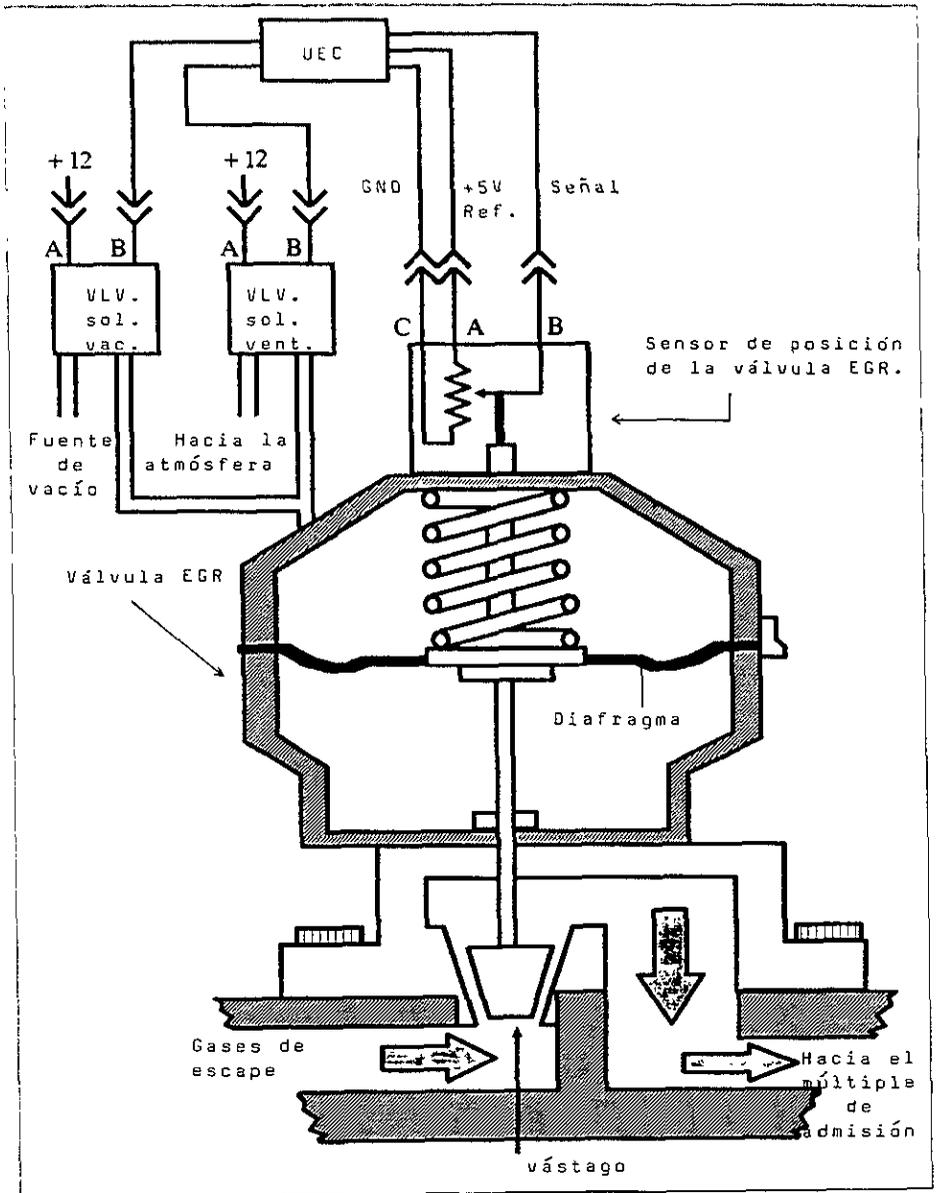


Figura III.2.1. Sistema de recirculación de gases del escape

3. Válvulas de control de vacío. La posición de la válvula EGR se hace por medio de vacío que produce el motor. Dos solenoides operan las válvulas de vacío que controlan a la válvula EGR. Las señales para controlar a estos dos solenoides provienen de la computadora.

Durante la operación del motor en frío, y cuando la mariposa de aceleración está en la posición de marcha mínima y completamente abierta, la válvula EGR permanece cerrada. Cuando la máquina está caliente y la mariposa de aceleración está en una posición entre marcha mínima y totalmente abierta, el sistema EGR estará regulando el flujo de gas recirculado.

El sensor de posición es de tipo potenciómetro y está conectado a un voltaje de referencia, siendo la señal de salida de 0 a 5 volts, según se mueva la válvula EGR.

Para abrir la válvula EGR una de las dos válvulas solenoides está en una posición normalmente cerrada y la computadora tiene que controlar su apertura, permitiendo así que el vacío entre a la cámara de la válvula EGR, haciendo que el diafragma se recorra hacia arriba y a su vez moviendo el vástago que permite el paso de gas de escape hacia el múltiple de admisión.

Para el cierre de la válvula EGR, el segundo solenoide es de posición normalmente abierta para permitir que el vacío vaya hacia la atmósfera y por tanto el resorte de la válvula EGR retorne a su posición original, cerrando el flujo de gas recirculado de escape. Asimismo, el solenoide normalmente cerrado tiene que volver a su posición cerrada.

La computadora continuamente está recibiendo información acerca del flujo de gas, temperatura de refrigerante y posición de la mariposa de aceleración. La computadora usa esta información para calcular la posición deseada de la válvula EGR. La computadora compara el valor deseado con el valor actual recibido desde el sensor EGR.

III.2.2. Sistema de inyección de aire

Bajo la mayoría de las condiciones de manejo la computadora puede controlar la mezcla aire/combustible, el tiempo de encendido y el flujo EGR de una forma precisa. Durante condiciones de manejo normales un buen desempeño y bajas emisiones son mantenidas si comparamos con un automóvil controlado sin computadora.

Hay dos ejemplos de condiciones especiales de manejo en que se requiere una mezcla demasiado enriquecida sin flujo de gases de recirculación. Por ejemplo, cuando se abre la mariposa de aceleración al máximo, el torque debe ser también maximizado. Otro ejemplo es la operación del motor cuando está frío, donde la temperatura de combustión podría ser baja. Bajo esta condición el sensor de oxígeno no es operacional, y la cantidad de aire para el combustible podría llegar a ser menos de lo óptimo.

Incluso si la mezcla aire/combustible y la temperatura de combustión fueran controlados con gran precisión por la computadora, todavía tendríamos producción de hidrocarburos, monóxido de carbono y NOx en los gases de escape. El refrigerante de la máquina mantiene la temperatura baja de las paredes interiores de las cámaras de combustión. En esta pequeña región de temperatura más baja, hidrocarburos y monóxido de carbono quedan sin quemar. En el otro lado del rango de temperaturas las temperaturas promedio son mantenidas abajo de los 2300°F. Pero, podrían existir depósitos de carbón u otros materiales depositados en las cámaras de combustión que ocasionarían "puntos calientes". Estos puntos calientes pueden causar temperaturas arriba de los 2300°F que generarían emisiones de NOx.

Estas emisiones residuales podrían disminuirse enriqueciendo o empobreciendo la mezcla aire/combustible, o también bajando la temperatura de combustión. Pero esto tendría efectos

indeseables que reducirían el grado de desempeño y la eficiencia de combustible.

La mayoría de los automoviles modernos utilizan aire auxiliar inyectado en el sistema de escape en combinación con un convertidor catalítico para reducir las emisiones contaminantes bajo ciertas condiciones de manejo. Si bien, los diferentes fabricantes usan diferentes nombres y combinaciones, el control básico es el mismo.

Operación del sistema de inyección de aire

Una bomba rotatoria es utilizada normalmente para proveer aire auxiliar. Este aire fluye desde la bomba hacia un conjunto de válvulas de paso. Estas válvulas son utilizadas para derivar aire tomado de el múltiple de admisión hasta el múltiple de escape si es que estan quedando partes de hidrocarburos sin quemar. Tambien debe desviarse el aire inyectado hacia la atmosfera bajo ciertas condiciones. Esta condición puede ocurrir en el instante en que la máquina está en desaceleración. Si el aire fuera inyectado bajo esa condición, ocurrirían explosiones en el sistema de escape.

La figura III.2.2. muestra a todos los elementos que componen el sistema de inyección de aire. El conjunto de la válvula de paso tiene una entrada y dos salidas. Este conjunto está controlado por vacío. Si no hay vacío aplicado a la válvula, el aire desde la bomba se retorna hacia el múltiple de admisión. Las dos válvulas del conjunto se les llama "bypass" y "air switch".

De acuerdo con el esquema, cuando el vacío es aplicado por bypass, el aire inyectado por la bomba pasa directamente a air switch. Cada una de las dos válvulas del conjunto esta controlada por solenoides. Un extremo del solenoide es conectado a +12 Volts y el otro extremo es conectado a masa desde la computadora. El sistema consiste básicamente en la bomba de aire, el conjunto de válvulas, dos solenoides de control de vacío, dos válvulas check y un convertidor catalítico de tres vías.

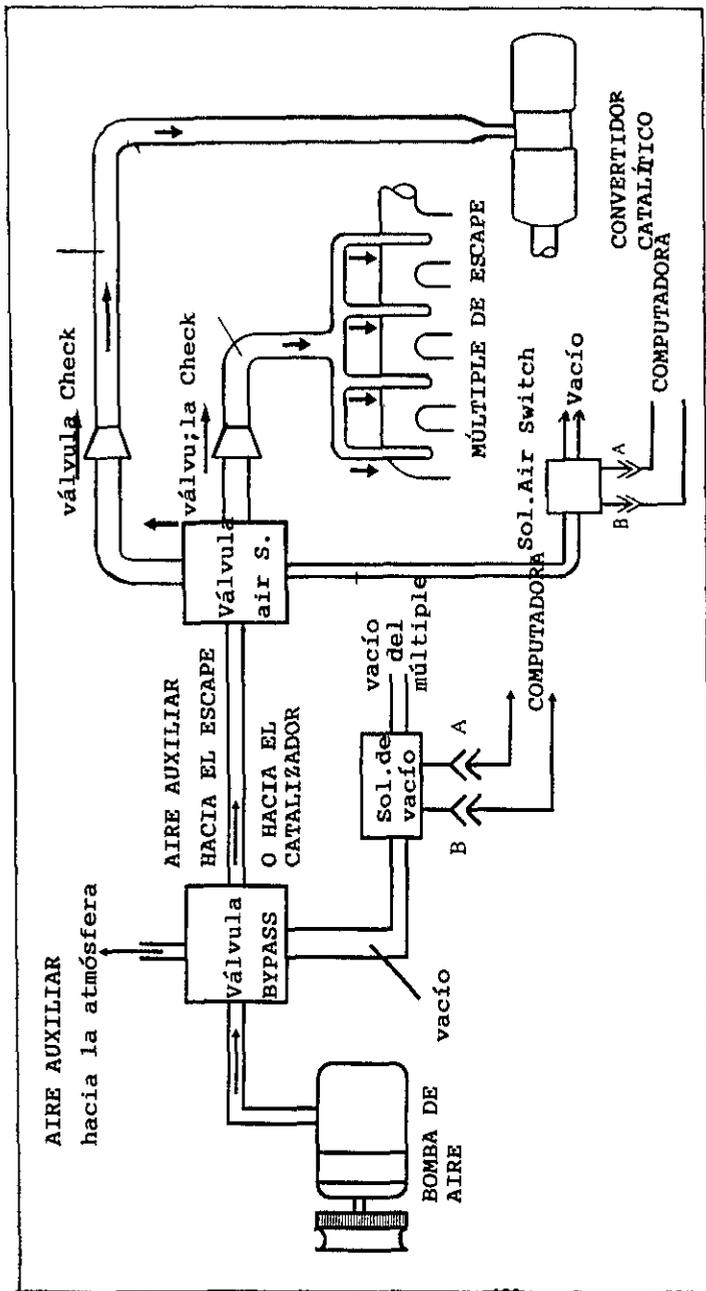


FIGURA III.2.2.
 SISTEMA DE INYECCION DE AIRE AL MÚLTIPLE DE ESCAPE Y AL
 CONVERTIDOR CATALÍTICO.

Cuando la máquina esta fría, el convertidor catalítico no opera eficientemente. Se aplica vacío a la válvula air switch permitiendo el flujo de aire inyectado desde la bomba, pasando por bypass y llegando directamente al múltiple de escape. Como el proceso de combustión no termina completamente dentro de la cámara de combustión, cuando los gases estan en el escape todavía se pueden oxidar con ayuda del oxígeno del aire inyectado. Los hidrocarburos y el monóxido de carbono se convierten entonces en vapor de agua y dióxido de carbono. También se cumple un segundo propósito al quemar los gases de escape. Esto provee calor al convertidor catalítico haciendo que cumpla con su función mas rápidamente.

Cuando la temperatura de refrigerante alcanza los 120°F, el vacío de air switch es ventilado. Esta válvula cambia el flujo de aire del escape al convertidor catalítico.

Redirigiendo el flujo de aire inyectado al sistema de escape hacia el convertidor catalítico se previene un sobrecalentamiento de todo el sistema y especialmente del convertidor catalítico por lo que se aumenta la efectividad para reducir las emisiones contaminantes.

El vacío aplicado a la válvula air switch es controlado por una válvula solenoide que es operada por la computadora. Cuando se energiza al solenoide, se aplica vacío a la válvula air switch y la inyección de aire va hacia el múltiple de escape. Cuando no hay corriente en el solenoide, la fuente de vacío es bloqueada y el vacío que había se deriva hacia la atmósfera. Cuando esto pasa el flujo de aire se inyecta al convertidor catalítico.

III.2.3. Convertidor catalítico

Los catalizadores consisten en un material de soporte con una capa activa y resistente a las sacudidas, conservando en un alojamiento aislante de la temperatura. Como materiales portadores se utilizan granulados y monolitos de AL₂O₃ sinterizado. La forma monolítica después de largo tiempo de desarrollo ha resultado apropiada para los vehículos. Tiene las siguientes propiedades: el mejor aprovechamiento de la superficie del catalizador, durabilidad con elevada resistencia mecánica, poca capacidad calorífica y menor presión contra los gases de escape. La capa de catalizador activo consta de pequeñas cantidades de metal noble (Pt, Rh y Pd) y es sensible al plomo. Para evitar que la capa sensible se ineficaz por envenenamiento por el plomo, los motores con catalizadores solo tienen que funcionar con gasolina sin plomo. El catalizador instalado cerca del motor aprovecha la temperatura elevada de los gases de escape y da un rendimiento óptimo, pero con elevada carga térmica. Las temperaturas máximas admisibles apenas superan los 1000°C y por ello se elige casi siempre la colocación debajo del suelo del vehículo que es menos crítica. Los catalizadores de oxidación trabajan con exeso de aire, ya sea tomándolo del motor ó inyectando aire adicional, para oxidar los CO y HC.

Los catalizadores de reducción trabajan sin inyección de aire, por el contrario, con insuficiencia de aire, y reducen los óxidos de nitrógeno.

La unión del catalizador de reducción y el de oxidación en un alojamiento o "lecho" se denomina "catalizador de doble lecho". Para ello el motor funciona con un coeficiente de aire de aproximadamente 0.9. El primer lecho reduce el óxido de nitrógeno y se produce entre otros NH₃. Después de la adición de aire secundario, en el segundo lecho se produce la casi completa oxidación de CO y HC. Pero allí también se quema el

NH₃ producido anteriormente convirtiéndose nuevamente en NO. No obstante, resulta posible una reducción del 70 al 80% del NO. El inconveniente es que el motor tiene que funcionar con una mezcla pobre, que hace aumentar el consumo de combustible.

El concepto más efectivo para el tratamiento posterior de los gases de escape en motores Otto ha resultado ser el catalizador de tres vías o catalizador selectivo, con regulación lambda (sensor de oxígeno). Con él se reducen en medida suficiente los tres componentes nocivos, cuando el motor funciona con una mezcla estequiométrica. El margen para la disminución óptima de los tres componentes, es muy estrecho. Por ello, para este concepto no se puede utilizar una regulación pura de mezcla.

Valvulas Check

Las válvulas check son colocadas en la línea de aire que se inyecta al múltiple de escape y al convertidor catalítico. Estas válvulas protegen a las válvulas del sistema de inyección de aire que en algún momento gases del escape puedan regresar. Este flujo de retorno podría ocurrir durante una muy alta presión en el escape o en el caso que la bomba de inyección fallara.

III.2.4. Control de Emisiones Evaporativas

Este sistema evita que el combustible en estado líquido o gaseoso salga del automóvil sin pasar por la cámara de combustión. El sistema puede empezar con boquillas llenadoras especiales, para recoger el vapor, como se hace en algunas gasolineras. El tapón del tubo llenador del tanque de combustible, el separador de líquido de combustible en la parte superior del tanque, las líneas y las válvulas de vapor que guían a este al cartucho de carbón activado, el filtro del

cartucho, válvula de control y la manguera al múltiple de admisión, algunos de estos componentes se observan en el esquema de la figura III.2.3. y se explican a continuación.

Operación del sistema

El objetivo del sistema es reunir los vapores que se forman cuando el combustible esta almacenado. Estos vapores se conducen, a través de mangueras, al área de almacenamiento, al cartucho de carbón activado, y finalmente hasta que el motor los quemara.

El carbón activado tiene una propiedad muy especial. Un pequeño trozo tiene una área muy grande. Si se examina un carbón activado con una lupa potente, se verá que es muy áspero y lleno de agujeros. El vapor de la gasolina es atraído por la superficie del carbón activado y retenido por absorción. La gasolina no es absorbida como sucede por una esponja sino que se adhiere a la superficie del carbón activado. Unas cuantas onzas de carbón granulado pueden tener una superficie de varios miles de pies cuadrados.

El cartucho de carbón activado que tiene el automóvil, es un recipiente de plástico que contiene varias onzas de carbón granulado, un filtro por donde entra el aire, conexiones de manguera al tanque de combustible y una válvula eléctrica de control. Un accesorio final de la manguera dirige los vapores al interior de del cuerpo de aceleración, o múltiple de admisión, para que se quemen en el motor durante el proceso normal de combustión.

Cuando el combustible se evapora, se crea una presión de vapor. Esa presión fuerza al vapor de combustible que ya está en esas areas, a que salga. El mando de la válvula del tapón del tanque de combustible no permite que esta presión, relativamente baja, empuje los vapores hacia la atmósfera. El separador de vapor y la conexión de manguera en la parte superior del tanque de combustible, dirige los vapores hacia el cartucho de carbón.

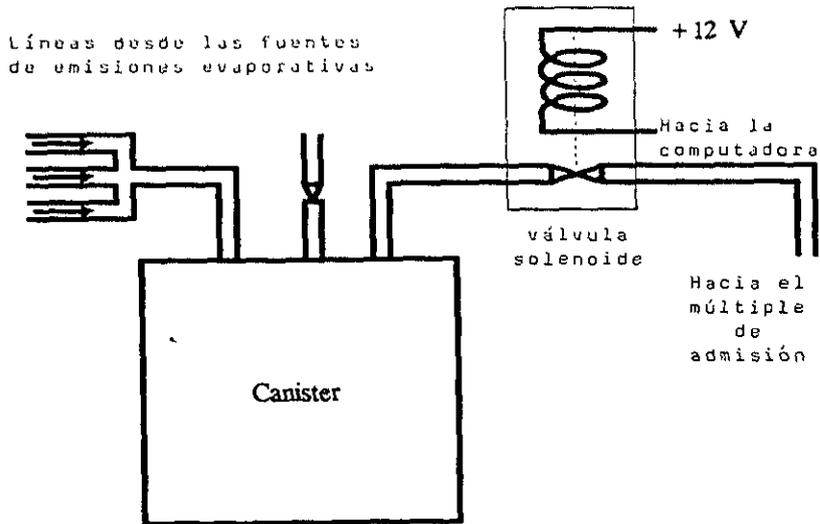


Figura III.2.3. Sistema típico para el control de emisiones evaporativas.

El vapor del combustible entra al cartucho y se condensa sobre el carbón activado. Los vapores no pueden atravesar el carbón y salir del cartucho a través del filtro de aire. La cantidad de carbón que tiene el cartucho es suficiente para almacenar el combustible vaporizado durante las muchas horas en que el auto este bajo los rayos del sol.

Una vez que el automóvil se pone en marcha, el sistema de control de emisión de vapores decidirá cuando y a que velocidad se aplica un vacío, proveniente del múltiple de admisión del motor, al cartucho de carbón activado. Una vez que el vacío se aplica al cartucho, se hace pasar aire fresco al interior del mismo a través del filtro. Ese aire vaporiza al combustible que había en la superficie del carbón y se mezcla con él. La mezcla es arrastrada hacia el interior del múltiple de admisión

para quemarse con el combustible que esta alimentando al sistema de inyeccion de combustible.

La purga del cartucho en los vehiculos mas recientes es controlada, la mayor parte de las veces, mediante una valvula solenoide que esta en la linea de purga y conecta al cartucho con el suministro de aire del motor. La valvula solenoide es controlada por la computadora que dirige al motor. Antes de que la computadora envie la senal para que la valvula solenoide abra permitiendo la purga del cartucho, deben satisfacerse los parametros especificos del motor, el tiempo que el motor ha estado funcionando, y la velocidad a la que funcionaba el motor. La valvula de control de solenoide puede estar montada en el cartucho o en cualquier otro lugar del compartimiento del motor.

III.2.5. Control de emisiones de gases del cárter

Todos los motores, nuevos o viejos, tienen gases de combustión que se abren camino a través de los anillos de compresión y llegan hasta el cárter. Estos gases contienen algo de combustible que no se ha quemado en la combustión que se efectuó mal, dióxido de carbono y vapor de agua que provienen del combustible y sin quemar, pudieran escapar hacia la atmósfera, serían una fuente importante de contaminación. A principios de los años sesenta los fabricantes comenzaron a poner sistemas positivos de ventilación en el cárter de los automóviles.

Estos sistemas han evolucionado a un concepto básico que usan la mayoría de los fabricantes de automóviles. El aire y los gases son arrastrados del cárter a través de una válvula especial, al limpiador de aire o múltiple de admisión. Ahí se combinan con la mezcla aire/combustible que entra y se queman en el ciclo normal de combustión. A base de continuidad, el filtrado aire nuevo es dirigido hacia el cárter, para sustituir a los gases que salen arrastrados. Puede haber dos resultados: se eliminan virtualmente, la contaminación proveniente de las emisiones del cárter y el desgaste del motor debido a los gases corrosivos que quedan en el cárter.

III.2.6. Sistemas de aire calentado en la entrada

Los motores deben calentar el aire que les entra durante el periodo en que están fríos. El aire calentado vaporiza el combustible con más rapidez y ayuda en la distribución de combustible a todos los cilindros. También, cuando se usa aire calentado a la entrada, el sistema del ahogador puede abrirse

con mayor rapidéz. Estos sistemas tratan de mantener el aire, a la entrada del motor, a una temperatura de 100 hasta 125°F (37°- 51°C).

Una ventaja real de este sistema es un mejor kilometraje. También, si el motor se calienta mas rápido y el combustible líquido no arrastra al lubricante de la pared del ciclindro, habrá menos desgaste en el motor. Los sistemas de aire calentado en la entrada constan de las siguientes partes (figura III.2.4.):

1. Una tolva de lámina, colocada arriba del múltiple de escape.
2. Un ducto que conecta la tolva con el limpiador de aire.
3. Una válvula de motor o puerto, a la entrada del filtro de aire. Esta válvula ordena la proporción de aire caliente o frío que entra al filtro de aire. La puerta es accionada por un resorte a la posición del aire frío.
4. Una válvula solenoide de vacío que es controlada por la computadora.
5. Mangueras de vacío.

Durante un funcionamiento en frío, el aire de entrada pasa a través de la tolva alrededor del tubo de escape. El tubo de escape se calienta muy rapidamente desde el encendido del motor. El aire de entrada puede ser rapidamente calentado para proveer una mejor evaporación del combustible.

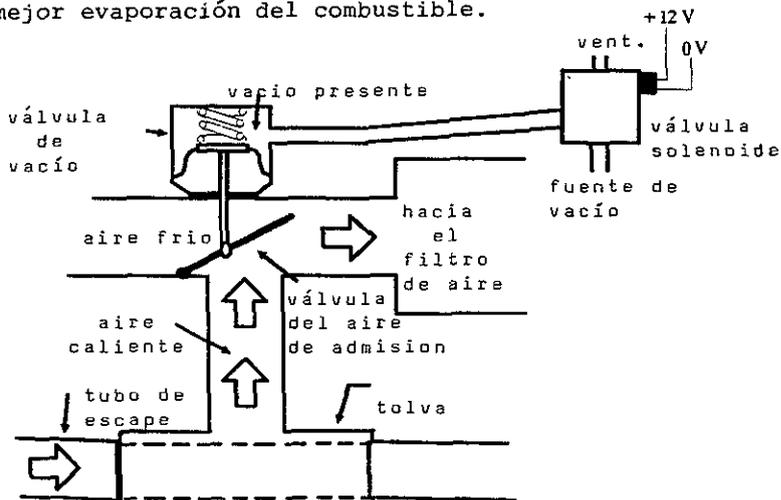


Figura III.2.4. Sistema de aire calentado a la entrada.

III.2.7. Control de aire en marcha mínima

Para la mayoría de los sistemas de inyección de combustible, el flujo de aire de marcha mínima es controlado por una válvula eléctrica de paso. La válvula es movida por un motor de pasos, abriendo y cerrando el flujo de aire (ver la figura III.2.5.).

Si bien un motor común de CD podría efectuar la función, la mayoría de los sistemas aplican un motor de pasos. Este tipo de motor se mueve en segmentos individuales. Una bobina da los pasos en una dirección y otra bobina da los pasos en dirección contraria. Cada paso requiere un solo pulso que proporciona la computadora.

Los diferentes fabricantes usan distintas estrategias para operar el motor de marcha mínima. Generalmente la velocidad de marcha mínima se ajusta en una velocidad rápida para un funcionamiento del motor en frío. Una vez que la máquina incrementa su temperatura, la velocidad de marcha mínima disminuye hasta alcanzar la temperatura normal de trabajo (aproximadamente de 220°F). La velocidad de marcha mínima se incrementa también si la transmisión se coloca en la posición "park" o "neutral", o cuando el aire acondicionado entra en funcionamiento.

Cuando la ignición se apaga, la computadora ajustará la posición a su mínimo valor. Esto reduce el flujo de aire y ayuda a prevenir el efecto diesel (la ignición espontánea).

El control de aire en marcha mínima también previene la reducción de velocidad drásticamente cuando se cierra la mariposa de aceleración de forma repentina. Cuando esto sucede, la velocidad es ajustada a una reducción gradual, esto reduce la posibilidad de que el motor se pare durante una rápida desaceleración.

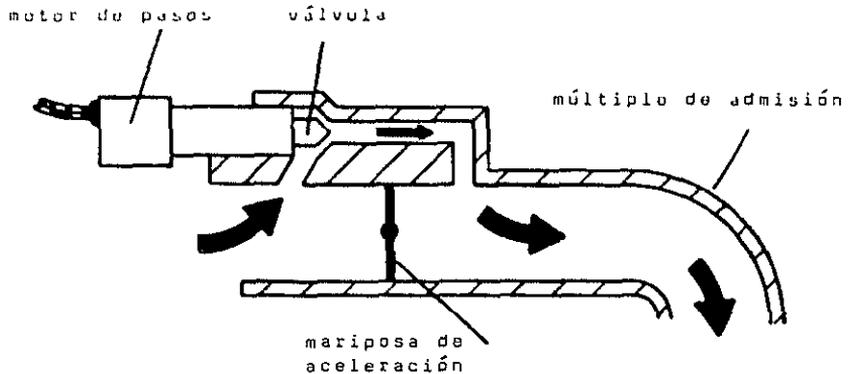


Figura III.2.5. Sistema de control de aire en marcha mínima.

Sistemas de suministro de combustible

Uno de los más importantes factores que afectan la emisión de gases contaminantes es la mezcla aire/combustible. Una proporción de 14.7 partes de aire por una de gasolina producirá un balance entre el número de átomos de oxígeno y el número de átomos de hidrógeno y carbono. Si hay más cantidad de aire, la potencia de la máquina sufrirá pérdidas. Si hay mas gasolina, serán emitidos hidrocarburos sin quemar y monóxido de carbono.

La computadora debe calcular el flujo de aire para así poder calcular el flujo de combustible. Señales eléctricas desde los diferentes sensores que posee la máquina son usadas por la computadora para calcular la cantidad de aire que entra a los cilindros.

La computadora divide esa cantidad de masa de aire entre 14.7 para obtener la cantidad correcta de combustible que necesita en determinado momento.

La explicación de los diferentes sistemas de inyección y el análisis funcional de los mismos, son tratados en el capítulo que refiere a la inyección electrónica de combustible.

III.3. El encendido electrónico

El encendido es una de las partes más fundamentales y delicadas de un motor de explosión. Por lo mismo debe ser atendido con la máxima exigencia pues de él depende el mayor compromiso en el funcionamiento práctico de este tipo de motores.

En efecto: Sin un encendido correcto, que este exento de fallos y anomalías a pesar de estar sometido a las más duras condiciones no puede pensarse en un motor de explosión que pueda darnos potencia; y sin ella nada valen todos los más perfectos dispositivos, electrónicos o no, de cualquiera de las partes del automóvil.

Podría establecerse que el avance en el rendimiento de los modernos motores de explosión se ha hecho posible gracias al encendido al que se le encomienda una proporción extraordinariamente elevada de responsabilidad en el correcto funcionamiento del motor. Los aumentos de potencia y la rebaja en los consumos de combustible, son pues, en buena parte, debidas a los eficientes y seguros sistemas de encendido que equipan hoy a los modernos motores.

Esto es hasta tal punto cierto que puede afirmarse que los motores de explosión no han conseguido funcionar correcta y fiablemente hasta que los encendidos electrónicos han venido a hacerse cargo del problema y a aportar sus interesantes soluciones.

III.3.1. Requerimientos del encendido

El problema del encendido en general no es ni más ni menos que conseguir objetivos tan básicos y difíciles como las siguientes:

PRIMERO: Conseguir una corriente que tenga la cualidad de poder saltar entre los electrodos de una bujía, es decir, por el aire, a través de una interrupción del circuito y a través de una atmósfera densamente comprimida.

SEGUNDO: Disponer de la energía suficiente no solo para saltar entre estos electrodos sino también para iniciar la inflamación de la mezcla explosiva compuesta por gasolina pulverizada y aire.

TERCERO: Hallarse perfectamente sincronizado el salto de esta chispa con el giro del motor, de modo que el resultado final de la inflamación de la mezcla se produzca en el mismo punto muerto superior (PMS) del émbolo o muy pocos grados después de este, pero nunca antes.

Estos tres sencillos puntos comportan un oceano de dificultades a la hora de crear un mecanismo capaz de cumplir con estos requisitos en cualquier estado de giro del motor y bajo cualquiera de las condiciones eléctricas en que puede encontrarse el motor.

Cumplimiento de los objetivos

Para cumplir el primer objetivo se necesita poseer un dispositivo capaz de conseguir trabajar a alta tensión, es decir, con valores del orden de los 14 000 voltios para comenzar a conseguir unos resultados que puedan considerarse satisfactorios. Si las tensiones son inferiores, el salto de la chispa a través de los electrodos de la bujía se compromete y en determinados momentos de pérdidas por fugas o de un llenado completo por el cilindro con la consiguiente alta compresión pueden evidenciarse fallos.

Para cumplir el segundo objetivo se necesita una chispa

que posea cierta energía, capaz de conseguir iniciar bien la inflamación de la mezcla. Una chispa de este tipo debe poseer una cierta intensidad, del orden de los 0.04 a 0.06 amperes.

Para cumplir con el tercer objetivo se necesita un sistema que disponga de un mecanismo capaz de conocer en todo momento el punto donde se encuentran los pistones con respecto a los cilindros, de modo en que puedan dar una orden de chispa en las condiciones angulares más convenientes.

A todos estos objetivos todavía tenemos que unir la dificultad representada por la velocidad de giro del motor, ya que las condiciones en que son necesitadas las chispas varían sensiblemente según esta velocidad.

El número de chispas por minuto depende de dos factores fundamentales: En primer lugar el número de cilindros de que disponga el motor, y en segundo lugar, de su velocidad de giro o régimen.

En los motores de cuatro tiempos, en los que cada dos revoluciones del cigüeñal se produce una explosión en cada uno de los cilindros, el número de chispas por minuto es bastante grande. Supongamos por ejemplo que un motor de cuatro cilindros que está funcionando a un régimen de 4000 RPM, régimen que puede considerarse tranquilo en los modernos motores que pueden alcanzar de 5 800 a 6 300 RPM en algunos modelos.

En el caso del ejemplo tendremos que la producción de chispas necesarias para su alimentación será por cilindro de $4000/2=2000$ chispas por minuto. Si el motor dispone de cuatro cilindros deberá proveer $2\ 000 \times 4 = 8\ 000$ chispas en un minuto.

El tiempo de que dispone el dispositivo será pues el resultado de dividir los sesenta segundos que tiene el minuto por las 8000 chispas que ha de proveer. En total: 0.0075 segundos para cada chispa, o lo que es igual, 7.5 milésimas de segundo por chispa.

De la misma forma podríamos calcular el tiempo disponible

para alimentar un motor de seis u ocho cilindros girando a diferentes velocidades.

Momento del salto de la chispa

Aún hay otro factor no menos importante que el anterior, que consiste en la elección del momento más conveniente para que se efectue el salto de la chispa.

Desde el punto de vista teórico la chispa debe producirse cuando el pistón se encuentra en el punto muerto superior. Pero la chispa es solamente el inicio de la combustión que, por el contrario precisa de unas milésimas de segundo para consumarse. Existe pues, una demora que se hace tanto más sensible cuanto más elevado sea el régimen de giro del motor.

Contando con esta demora y con la necesidad de que la fuerza de la expansión de la mezcla coincida con el PMS del pistón ya puede verse que hay una necesidad de conseguir que la chispa salte unos milisegundos antes del citado PMS para que el grueso de la inflamación se corresponda en este mismo punto.

Esto es a lo que se le llama un "adelanto del encendido", el cual debe ser proporcional a la velocidad de giro del motor, en el sentido de aumentar el avance de salto de la chispa a medida que la velocidad de giro aumenta, para dar tiempo a que se produzca la inflamación y esta coincida con el PMS.

Ahora bien: La necesidad de un avance correcto depende de varios factores fundamentales que un buen encendido debe tomar en cuenta: Por ejemplo, de la riqueza de la mezcla y de la temperatura de la misma.

Una mezcla en donde haya una cierta preponderancia de la gasolina sobre el aire resulta mucho más explosiva que en el caso contrario.

También la temperatura del motor o de la mezcla influye de manera que se varíen las condiciones de requerir un mayor o menor adelanto independientemente de la velocidad de giro.

Como puede verse por lo dicho, el problema del encendido es uno de los más complicados que se han tenido que resolver en toda la historia del automóvil. Y de hecho no se han encontrado soluciones verdaderamente válidas hasta la aplicación de la electrónica a este sistema.

Evolución de los sistemas de encendido

A continuación se enumeran los tipos de encendido según su aparición en vehículos cada vez más modernos:

- 1.-Encendido electromecánico con ruptor de contactos.
- 2.-Encendido electrónico con ruptor de contactos.
- 3.-Encendido electrónico sin contactos.
- 4.-Encendidos integrales I.
- 5.-Encendidos integrales II.

En el primero tenemos las principales características de un encendido con ruptor de tipo electromecánico, del mismo tipo ya descrito. Vemos que el distribuidor comporta el elemento que distribuye la energía, los contactos del ruptor y los dos tipos de avance de encendido tradicionales, es decir, el centrífugo y el de vacío. Todo ello más la conocida bobina de encendido y la bujía.

En el segundo nos encontramos un escalón intermedio compuesto por los encendidos que recibieron el nombre de "transistorizados". Aquí entre el distribuidor y la bobina existía un módulo electrónico que tenía la misión de liberar a los contactos del ruptor de un desgaste excesivo al convertirlo en un interruptor de la base de un transistor hacer que por el circulara una corriente mucho menos intensa aunque no así por el primario de la bobina. Este sistema opera sin eliminar los desgastes mecánicos producidos en el ruptor y en la leva.

Un tercer importante escalón se consiguió en los encendidos señalados en el tercer lugar que consisten en la eliminación del ruptor y la sustitución de este por un captador. Aquí se eliminan todos los defectos que han sido indicados antes pero se sigue manteniendo el tipo mecánico de avance que también está sujeto a desajuste. De este tipo son la mayoría de los encendidos actuales.

En cuarto lugar estan los llamados encendidos integrales. La unidad electrónica de control se hace cargo de las ordenes de los avances de encendido y capta la posición de los cilindros por medio de un sensor, pero conserva todavía el captador en el distribuidor. Esta característica desaparece en los encendidos integrales de segunda generación, cuyas unidades electrónicas de control se hacen cargo de todo y controlan el momento del encendido de acuerdo con muchos parametros tales como la temperatura del motor, las condiciones de riqueza que reúne la mezcla, la contaminación que producen los gases quemados, la temperatura del aire y el estado de carga o de presión del colector de admisión.

Estos encendidos van integrados en los sistemas de inyección de gasolina por control electrónico de los que es un ejemplo muy conocido el equipo Motronic de la casa alemana Bosh.

III.3.2. Antecedentes

Como quiera que el motor de explosión tiene más de un siglo de existencia ya puede comprenderse que el sistema de encendido tuvo que solucionarse, durante muchos años, por medio de dispositivos electromecánicos cuya efectividad fue mejorando a través de los tiempos, pero que siempre comportaron muchos problemas y dificultades a conductores y mecánicos.

Puede decirse que el mejor invento capaz de dar una respuesta a las necesidades mencionadas se llevo a cabo por la casa americana Delco Remy cuando diseñó un sistema compuesto por un distribuidor y una bobina de encendido independiente. Durante mucho tiempo al distribuidor se le dio el nombre generico de "delco" en honor a la casa que lo había ideado.

Después de haber recibido una serie de inovaciones y mejoramientos constituyo el sistema universalmente utilizado en los motores de explosión hasta los años ochenta en que los encendidos electrónicos comenzaron a desplazar, casi por completo, a los encendidos electromecánicos.

III.3.3. Sistemas electromecánicos

Para dar la solución a todos los requerimientos indicados al principio, se estudio un sistema como el que se presenta en la figura III.3.1.

En primer lugar se considera la presencia de una bateria por medio de la cual se alimenta de corriente eléctrica la red mientras que el motor de explosión no funciona, puesto que despues será el alternador el que se hará cargo de la alimentación general.

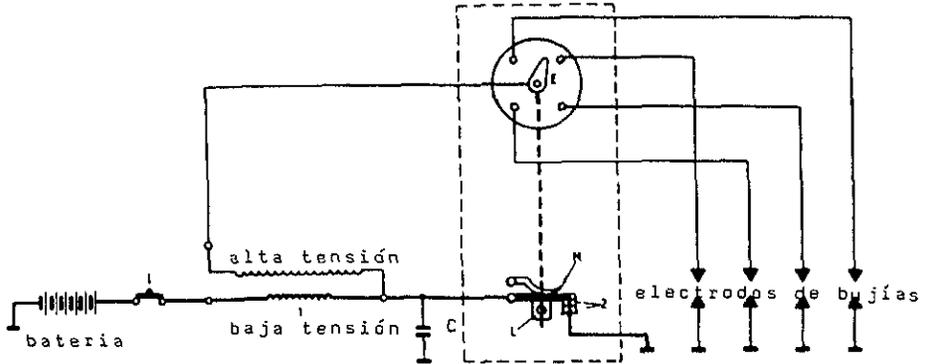


Figura III.3.1. Esquema eléctrico de un circuito de encendido electromecánico para un motor de combustión interna. (L) leva, (2) contactores del ruptor, (M) muelle, (E) escobilla, (I) interruptor de encendido, (C) condensador.

Después tenemos la llave de contacto en el interruptor del mismo nombre desde el que la electricidad se reparte en los principales circuitos del automóvil. Uno de ellos es el formado por la bobina de encendido la cual posee dos arrollamientos.

Uno de estos arrollamientos es grueso y forma el circuito de baja tensión por el que circula la corriente a 12 voltios aproximadamente.

También existe otro circuito de un devanado muy fino y con muchas vueltas que forma el circuito de alta tensión por ser aquel en el que se induce una corriente de unos 14 000 voltios de acuerdo con el funcionamiento electromagnético de la citada bobina de encendido.

Observese pues, que la bobina de encendido comporta dos maneras de trabajar, en baja y en alta tensión.

La corriente procedente del arrollamiento primario pasa a un segundo dispositivo que recibe el nombre de distribuidor que también tiene una misión centralizadora de varias funciones. En su parte baja consta de un interruptor, que recibe el nombre

de ruptor, por medio del cual se puede interrumpir el paso de la corriente por el arrollamiento primario de la bobina cuando sus contactos se separan.

Esta parte del distribuidor va provista de un condensador y de un mecanismo de avance del encendido, y por otra parte, lleva un eje, que esta accionado directamente por el cigueñal del mismo motor térmico y sincronizado con el giro de éste. Gracias a éste eje del distribuidor conoce en todo momento la posición de los émbolos en su carrera a través del cilindro.

Por otro lado, y a partir de la bobina de encendido tenemos el arrollamiento de hilo fino que constituye el circuito de alta tensión.

Cuando, por medio del fenómeno de la inducción, se establece el paso de la corriente de alta tensión, esta circula hasta la cabeza del distribuidor por medio de un borne central de entrada. Desde allí se distribuye a las bujías de una forma tal que sigue el mismo orden de encendido de los cilindros.

En el momento del paso de la corriente por el arrollamiento primario gracias a que los contactos del ruptor se encuentran cerrados, la corriente procedente de la batería o bien del alternador atraviesa el interruptor de contacto, circula a través de todas las vueltas que componen el arrollamiento primario en la bobina y pasa al distribuidor, a través de los contactos del ruptor que se encuentran cerrados (juntos), puede pasar a masa y establecer el circuito.

Cuando el eje del distribuidor gira posee una leva que en una determinada posición de la misma separa los contactos del ruptor. Cuando ello ocurre, el circuito primario se queda sin negativo y la corriente no circula por el primario. Este corte se efectúa de una manera brusca de modo que se induce una corriente en el arrollamiento secundario de la bobina al producirse una gran cantidad de líneas magnéticas que cortan los muchísimos arrollamientos del secundario. Esto genera una

nueva corriente de mucho menor intensidad que la primaria, pero de una elevada tensión superior a un valor de 14 000 voltios, la cual constituye la corriente de alta tensión.

La corriente de alta tensión que sale por el borne central de la bobina va a parar a la cabeza del distribuidor. Desde allí, y por medio de una pipa giratoria que es arrastrada por el mismo eje, se va distribuyendo la corriente de alta tensión a cada una de las bujías por un orden que es el mismo que corresponde al orden de encendido de los cilindros.

De acuerdo con todo lo expuesto vemos que se consigue en todos estos mecanismos una serie de sincronizaciones mecánicas que determinan la llegada de la chispa en condiciones aceptables de recepción para el motor.

Por una parte, el eje del distribuidor, que está movido y sincronizado por el cigüeñal, abre los contactos del ruptor gracias a una leva solidaria del eje a través de un mecanismo de avance que puede hacer variar su posición relativa por medio de la fuerza centrífuga.

Luego, una vez interrumpido el circuito de baja tensión, se produce la inducción de la corriente de alta tensión, la cual pasa a la zona de la cabeza del distribuidor. Desde aquí se distribuye hasta cada una de las bujías. La chispa salta de esta forma en un tiempo más o menos preciso y el motor consigue sacar del combustible la energía que necesita para su giro.

Cada dos vueltas completas de cigüeñal, en un motor de cuatro cilindros, la operación descrita se produce cuatro veces.

Inconvenientes de los sistemas electromecánicos

Un sistema de encendido como el que se acaba de ver presenta, en primer lugar, los defectos que son propios de todos los circuitos electromecánicos, es decir, el desgaste de los

contactos y de las piezas sometidas a desajustes mecánicos.

En cuanto a los primeros hay que tener en cuenta que la corriente que ha de circular a través de ellos ha de ser de bastante importancia, pues tiene que servir para alimentar el primario de la bobina. El corte de una corriente tan intensa produce chispas y calentamientos importantes sobre el metal de los contactos, todo lo cual tiende a proporcionarles un relativamente rápido desgaste.

En cuanto a los desajustes mecánicos pueden provenir de cualquiera de los puntos en los que hay movimiento sometido a un rápido giro. La leva se desgasta; lo hace también el muelle de accionamiento del ruptor y el mismo eje puede tomar juego que modifique los puntos de ataque requeridos, todo ello con las consiguientes repercusiones en la exactitud de funcionamiento del aparato.

Los sistemas de encendido electromecánicos deben ser revisados con mucha frecuencia, ajustados y puestos a punto, si se quiere que el motor esté en buenas condiciones de funcionamiento. Y el conjunto del ruptor debe cambiarse cada 20 a 25 mil kilómetros.

A estos inconvenientes hay que añadir también deficiencias de tipo eléctrico ya que los valores de tensión obtenidos para el circuito de alta tensión son, generalmente pobres. Las bujías duran menos y necesitan hacerlo con separaciones entre electrodos mucho más estrechas que en el caso de los encendidos electrónicos modernos. Ello hace que los fallos en el salto de la chispa sean mucho más frecuentes.

Evidentemente, los encendidos del futuro son, sin duda, los integrales. El conjunto de dispositivos electrónicos que comportan las unidades electrónicas de control (UEC) es complejo como corresponde a un pequeño ordenador que es lo que son, en el fondo, estos dispositivos. La aplicación de estos encendidos se produce en los casos de motores equipados con otros importantes conjuntos que se hayan regidos por procedimientos electrónicos tal como es el caso de los sistemas de inyección de gasolina.

En los motores equipados con sistemas de alimentación por carburador, el encendido mas corriente es el electrónico con generador de impulsos o captador en el mismo distribuidor, el cual proporciona una alta fiabilidad y está exento prácticamente de averías. El único inconveniente que presenta es el de no disponer de unos avances de encendido memorizados en una máquina, la cual pueda decidir el avance más conveniente en cada momento del funcionamiento del motor. Esta es, precisamente, la cualidad que tienen los encendidos integrales.

A continuación se hará una revisión de los principales sistemas utilizados en la actualidad. Los sistemas a tratar serán los siguientes:

- 1.-Sistemas de un solo transistor
- 2.-Sistemas con generador de impulsos
- 3.-Sistemas integrales

III.3.4. Sistemas de un solo transistor

Estos sistemas estan en desuso en la actualidad, sin embargo, presentan una gran ventaja de tipo didáctico pues permiten entender muy bien la forma como se ha actuado para

conseguir realizar encendidos electrónicos.

La idea principal que presidió la entrada de la electrónica en el terreno del encendido fué la de facilitar el trabajo de los contactos del ruptor. Dadas las excelentes características de conmutación que presenta este elemento electrónico, el transistor, no fué difícil diseñar un sistema como el presentado en la figura III.3.2. por medio del cual se libera a los contactos del ruptor del paso de una corriente muy intensa, lo cual era la base de la mayor parte de sus problemas por desgastes y defectos.

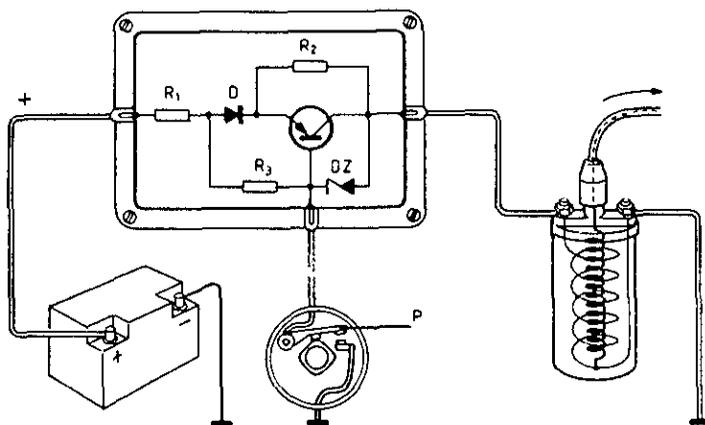


Figura III.3.2. Sistema de encendido de un solo transistor.

Observando la figura III.3.2. podemos ver la presencia de un solo transistor, en este caso del tipo PNP. La corriente procedente del borne positivo de la batería atraviesa la resistencia R_1 y luego el diodo (D) de protección. Así llega al transistor.

El transistor permanece bloqueado mientras no tenga corriente negativa de base, por lo que, en este momento, el primario de la bobina de encendido no está alimentado. La abertura del contacto del ruptor (P) debida a la posición de la leva, es la causa de este bloqueo del transistor.

Cuando la leva permite que los contactos del ruptor se junten, el transistor se desbloquea por tener polarización negativa en la base. La corriente pasa al primario de la bobina de modo que éste se satura debidamente.

Cuando vuelve a girar la leva y se levanta el contacto móvil del ruptor se repite el ciclo ya descrito produciendose la inducción en el secundario de la bobina y el paso de corriente de alta tensión al distribuidor.

En la misma figura se pueden ver los elementos de protección formados por las resistencias R2 y R3 y el diodo zener (DZ) que se dispara cuando en el circuito se detectan tensiones excesivas o peligrosas, poniendo en corto circuito al transistor.

Un encendido como el que se acaba de ver, muy simplificado, aporta ya muchas ventajas al encendido electromecánico.

La primera de estas ventajas hay que encontrarla en la conmutación. El transistor puede permitir el paso de la corriente óptima para la alimentación del primario de la bobina. Aún suponiendo que se precisara una corriente muy intensa (que, por otra parte, resultaría excesiva para los contactos de un ruptor por el excesivo calentamiento producido en ellos y el consiguiente desgaste rápido) el transistor de potencia estaría en condiciones de suministrar esta corriente. Ello da como resultado una mejor alimentación del primario a cualquier velocidad a que gire el motor y, por lo mismo, a cualquier necesidad de saturación de la bobina. El resultado final es la consecución de buenas chispas a altas revoluciones por minuto.

La segunda e importante ventaja es, por otro lado, que la corriente de base que circula por el transistor es mínima y, desde luego, muy inferior a aquella que normalmente soportan los ruptores de los encendidos convencionales. Por estas razones el desgaste de los contactos del ruptor es mínimo y su duración mucho más larga de lo normal en estos casos.

En la práctica, los encendidos transistorizados suelen

tener un pequeño módulo electrónico al que van conectados los cables de la bobina y del distribuidor, en lo que respecta al círculo de baja tensión.

III.3.5. Sistemas con generador de impulsos

Todos los sistemas que utilizan el ruptor como elemento de mando tienen siempre el inconveniente de que no logran eliminar el juego mecánico existente entre estos contactos, ni tampoco el desgaste que se produce en la leva de accionamiento que miles de veces debe tropezar con un tope, generalmente de fibra, con el que consigue separar los contactos.

Aunque liberado del paso de corrientes intensas, el caso es que el ruptor no se muestra efectivo, sobre todo a un régimen muy elevado, pues siguen existiendo fenómenos de rebote que perturban el eficaz funcionamiento del sistema. Tampoco se evitan, por lo mismo, los trabajos de mantenimiento, y la periódica revisión de la instalación de este punto.

Aunque utilizando el ruptor se han elaborado complicados sistemas electrónicos que luego han servido de base para los sistemas mas modernos, la realidad es que no puede hablarse de encendidos electrónicos eficaces hasta el logro de los diseños que han conseguido eliminar el ruptor. Este caso se ha dado con la puesta en práctica de los sistemas provistos de generador de impulsos, los cuales actúan de un modo similar a como lo hace el ruptor, pero sin acciones mecánicas ni roce ni contacto físico alguno.

Los reguladores de impulsos mas frecuentes utilizados en los encendidos electrónicos modernos son los siguientes:

- 1.- Por efecto alternador
- 2.- Por efecto Hall

Por efecto alternador

La teoría fundamental que rige en el diseño de los generadores de impulsos estáticos no es otra que la creación de una corriente que avise al dispositivo electrónico del momento exacto en que se produce un enfrentamiento entre un núcleo que gira solidario del eje del distribuidor y el mismo dispositivo estático.

Este aviso se produce por medio de una débil corriente eléctrica generada, la cual pasa a ser amplificada convenientemente para que signifique una señal recogida en la base electrónica del dispositivo de encendido.

Uno de los sistemas más generalizados es el llamado de efecto de alternador o también de inducción electromagnética.

En la figura III.3.3. puede verse un esquema que muestra uno de estos sistemas:

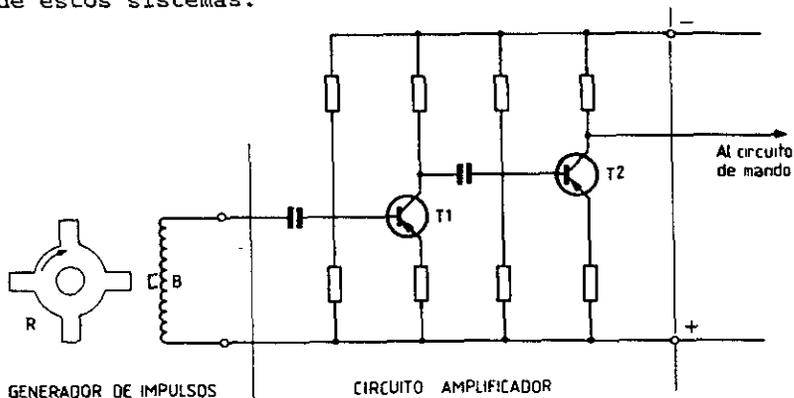


Figura III.3.3. Circuito electrónico de un sistema de encendido con generador de impulsos.

Consta fundamentalmente de un rotor magnetizado (R) que al enfrentarse al bobinado (B) induce una pequeña corriente alterna bajo el mismo principio que rige en la generación de

corriente de un alternador. Esta es la zona que corresponde al generador de impulsos propiamente dicho.

Esta pequeña corriente así obtenida alimenta la base del primer transistor (T1) del circuito amplificador. De este modo el transistor se hace conductor.

La corriente que circula por emisor-colector es ahora cientos de veces superior a la de base, pero a su vez es corriente de base del transistor (T2), el cual multiplica de nuevo el valor de la señal. En definitiva y como se ha dicho, se trata de un circuito amplificador. La corriente pasa al circuito de mando y desde allí al conjunto del dispositivo que acaba decidiendo el paso de la corriente al primario de la bobina o la interrupción de este paso.

En la figura III.3.4. está representado el conjunto de elementos que intervienen en este proceso. Está representado en 1 el distribuidor visto desde arriba.

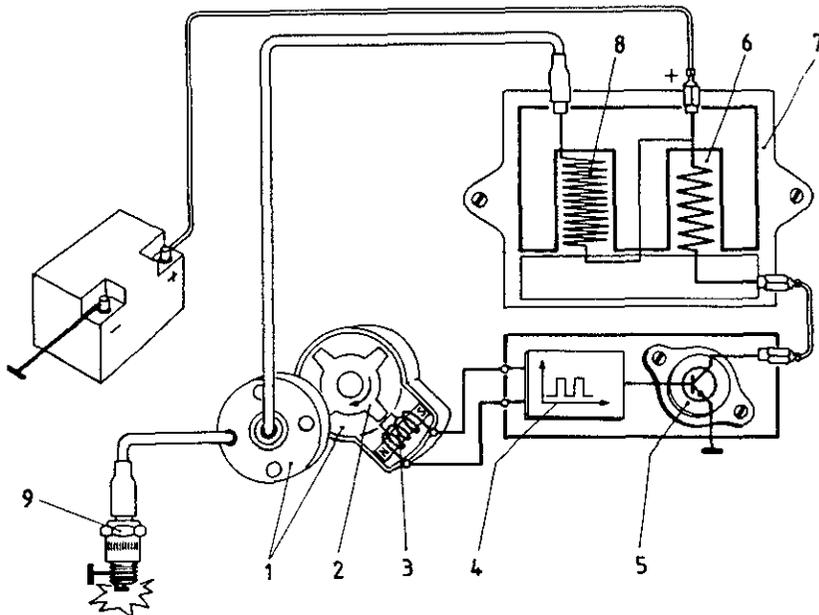


Figura III.3.4. Vista general del conjunto de elementos que forman parte de un encendido por efecto alternador. Este sistema en particular es de un motor de la firma PEUGEOT.

Tambien tenemos una rueda polar (2) que gira accionada por el motor y sincronizada con el a través del eje del distribuidor, de la misma forma que ocurre en todos los distribuidores de encendido.

En uno de los extremos del distribuidor tenemos la bobina generadora de impulsos (3) en la cual se crea un impulso eléctrico cada vez que una punta de la rueda polar se enfrenta a ella. En el momento que se observa en el dibujo pues, entre 2 y 3 , se está generando una corriente de este tipo.

Esta es la señal que pasa al bloque de amplificación (4) del módulo electrónico, cuyo resultado final es la polarización adecuada de la base del transistor de potencia (5) el cual se desbloquea y permite el paso de la corriente desde el borne positivo a masa a través del arrollamiento primario (6) de la bobina de encendido (7).

Cuando la rueda polar (2), en virtud del giro a que se ve arrastrada por su eje, pierde contacto con la bobina (3) el bloque de amplificación (4) se desactiva y no hay polarización adecuada en la base del transistor de potencia (5). Este se bloquea y se interrumpe el paso por el primario de la bobina. Es el momento que se induce en el arrollamiento secundario (8) de la bobina la corriente de alta tensión que pasara a la bujía (9) a través de la distribución llevada a cabo por el mismo distribuidor, de la manera tradicional.

Cada vez que una punta de la rueda polar se enfrenta a la bobina generadora de impulsos se produce una chispa gracias al cumplimiento del circuito electrónico que está constituido en el módulo.

Como ocurre en todos los casos de máquinas electromagnéticas, el entrehierro o distancia de separación entre la punta del rotor y la toma estática de la bobina, tiene una gran importancia para el correcto funcionamiento del sistema, pero dado que no hay contacto físico, este entrehierro suele

mantenerse en perfectas condiciones durante toda la vida útil del equipo.

En la figura III.3.5. puede verse un distribuidor que funciona por este mismo procedimiento.

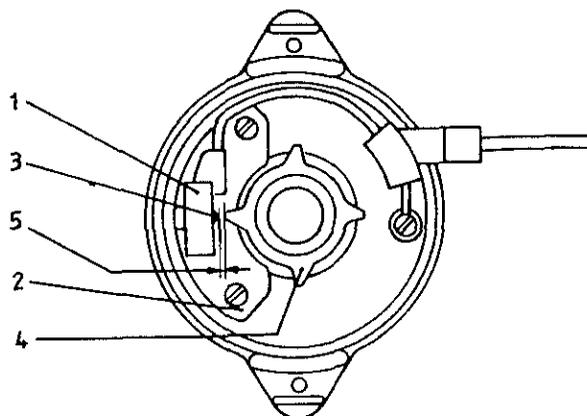


Figura III.3.5. Distribuidor con bobina generadora de impulsos.

En 1 tenemos señalada la bobina generadora de impulsos montada sobre un soporte de plastoferrita (2) para facilitar la formación del circuito magnético.

La expansión polar (3) es la que se enfrenta a las puntas de la rueda polar (4) dejando entre ellas un entrehierro (5) cuya distancia, debe hallarse calibrada y solo puede desajustarse en el caso de que el eje del distribuidor tome mucho juego en su alojamiento como producto de un desgaste muy prolongado.

Durante la rotación de la rueda polar cada vez que un diente pasa a enfrentarse a la expansión polar (3) provoca una variación del flujo magnético. Aquí hay que destacar que la forma del diente tiene una importancia muy sobresaliente para determinar la forma de onda generada. A continuación, está ilustrada la forma de onda generada por este dispositivo a unas 1000 RPM.

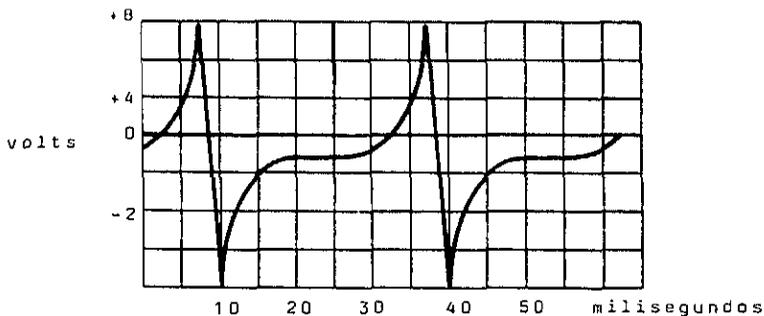


Figura III.3.6. Forma de onda generada por el minialternador de la anterior figura.

En la gráfica de la figura III.3.6. se puede distinguir una señal positiva en la fase de aproximación del diente a su punto de entrehierro; a continuación se ve una señal de paso por cero en el mismo enfrentamiento del diente, para pasar, a la fase negativa, en el momento de alejamiento del diente.

El paso por cero se aprovecha para impedir el paso de la corriente al transistor de potencia, momento en que se produce la chispa en los encendidos por transistores. La fase positiva sirve, por el contrario, para poner en conducción al transistor de potencia en la fase de carga o alimentación del arrollamiento primario de la bobina de encendido. Así pues, la forma del diente permite obtener la forma de onda más conveniente para la elaboración de la señal por medio de la cual se controla el tiempo que debe permanecer en conducción el transistor de potencia.

Por efecto Hall

Además del procedimiento llamado de efecto alternador, existe también otro procedimiento muy utilizado por algunos importantes constructores de aparatos eléctricos para el automóvil, tales como Bosh y la casa francesa Ducellier. En este nuevo procedimiento se utilizan los fenómenos de la magnetorresistencia o efecto Hall.

En este caso el fenómeno se produce en una pastilla construida con semiconductores.

En el esquema de la figura III.3.7. está representada una plaqueta realizada con materiales semiconductores del tipo del antimonio de indio, del arseniuro de indio o de fosfuro-arseniuro, del espesor de una décima de milímetro, protegida por un recubrimiento de cerámica y dotada de los cuatro electrodos que se muestran en el dibujo.

Sometiendo esta placa al paso de una corriente eléctrica entre sus electrodos M-N, cuando por B recibe la influencia de un campo magnético se observa que entre P y Q aparece una diferencia de potencial que recibe el nombre de efecto Hall.

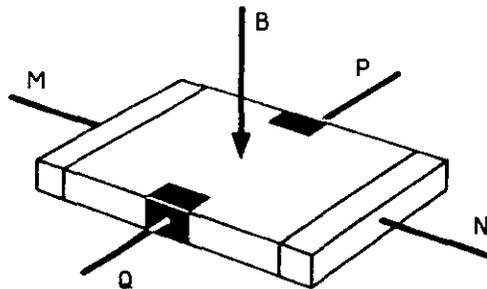


Figura III.3.7. Plaqueta fabricada con materiales semiconductores para experimentar el llamado efecto hall.

El efecto Hall puede explicarse de una manera aproximada diciendo que consiste en que entre los electrones que se desplazan en el interior de un semiconductor son desviados de su trayectoria por la acción de un campo magnético. Su distorsión es comparable a la que se produce en un conductor sometido a esta misma fuerza magnética lo que justifica el aumento de la resistencia.

Vemos que el efecto Hall es también un generador de corriente mediante el cual podemos establecer una serie de impulsos que, debidamente amplificados, podrán servirnos de señal para dirigir los órganos de mando de un equipo electrónico de encendido para conseguir el control del paso de la corriente de la red por el primario de la bobina y su consiguiente interrupción.

En la figura III.3.8 tenemos una esquematización que nos muestra la forma de aprovechar este fenómeno en un distribuidor del equipo.

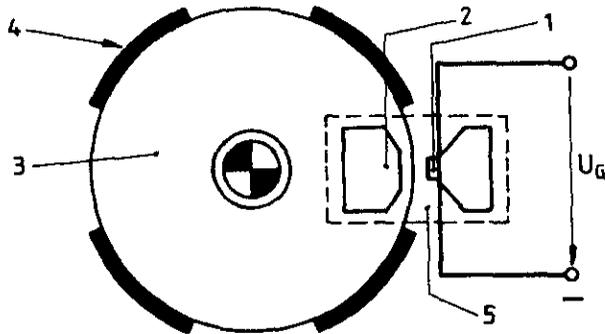


Figura III.3.8. Disposición práctica de un generador de impulsos de efecto Hall.

En primer lugar vemos la presencia de un generador Hall (1) que permanece estático frente a la pieza rotatoria (3) de un distribuidor. Por otra parte tenemos un imán permanente (2), también fijo, que se mantiene enfrentado al generador.

La pieza rotatoria (3) está provista de unas zonas (4) provistas de unas pequeñas pantallas que en su giro se interponen entre el imán y el generador Hall, de modo que se interrumpe el paso de el flujo magnético entre imán y generador cuando se produce esta interposición.

La pieza del rotor (3) es giratoria, las pantallas tapan y destapan el paso de las líneas magnéticas, lo que determina una variación de este flujo y con ello se establece la presencia de las señales, pues el rotor consta de tantas pantallas como cilindros tiene el motor.

El entrehierro (5) entre el imán (2) y el generador Hall (1) permanece, en este dispositivo, siempre invariable de modo que este sistema de generador de impulsos tiene la ventaja sobre el efecto alternador, de que nunca pueda haber desajuste por el problema del entrehierro.

Una vez resuelto el problema de la eliminación del ruptor mecánico, los esquemas realizados para el control del encendido pueden adoptar diferentes diseños básicos. estos diseños básicos pueden ser fundamentalmente los siguientes:

- Encendido de descarga de condensador
- Encendido por transistores

Encendido por descarga de condensador

Se trata de uno de los diseños más utilizados cuando se ha de llevar a cabo un encendido realizado con elementos discretos. Proporciona unos valores de alta tensión excelentes y una gran seguridad y fiabilidad a cualquiera de los regímenes de giro de los motores modernos.

Este sistema también se conoce con el nombre de encendido capacitivo ya que, como veremos, la pieza básica es un condensador que descarga una fuerte corriente almacenada sobre

el primario de la bobina. El condensador debe tener una capacidad que puede oscilar entre un a dos microfaradios y una fuente de tensión continua que sea capaz de proporcionar alrededor de los trescientos voltios como mínimo.

Podemos decir que la teoría de funcionamiento de este sistema consiste en dos etapas: Una primera, en que el condensador se conecta a una fuente de carga, para que alcance la tensión de la fuente que debe ser de unos trescientos voltios o más. En esta situación en condensador se carga.

En la segunda etapa de funcionamiento, ya cargado el capacitor, se coloca sobre los bornes del arrollamiento primario de la bobina de encendido. En este momento el condensador se descarga con rapidéz, de forma instantánea al cesar este impulso de corriente se induce un alto voltaje en el arrollamiento secundario.

Por supuesto en la práctica se requiere de un circuito que consiga hacer estas funciones. Un circuito como este se observa en la figura III.3.9. y consta de tres partes fundamentales:

- Dispositivo elevador de la tensión.
- Dispositivo de descarga del condensador.
- Dispositivo de control de la descarga.

A. Dispositivo de elevación de tensión

Como se indica su nombre, este dispositivo es el encargado de elevar la tensión que recibe de la batería hasta varios cientos de voltios.

Consta de un convertidor en el que existen dos transistores(T1 y T2), una resistencia (RB) y un diodo (D7), además de los arrollamientos del transformador y se hallan conectados por la parte central al borne + de la batería a través del punto de conexión señalado con 1. Después están unidos al

polarización positiva a las bases de los transistores, de una manera que, en principio, puede considerarse simultánea.

Pero debido a la disimetría propia del circuito, en la práctica se observa que siempre uno de los dos transistores se hace conductor antes que el otro y aquí se inicia el funcionamiento del dispositivo.

Supongamos que conduce primero el transistor T1. En el primer instante de la alimentación de la base se produce de inmediato el paso de la corriente entre emisor-colector a través del semiarrollamiento N1. Esta corriente pasa en parte a realimentar la base del mismo transistor a través de D7 y N3. Cuando la corriente de base se refuerza de este modo, aumenta también el paso entre emisor-colector de T1, con lo que la corriente va creciendo rápidamente.

Cuando el núcleo magnético se halla saturado, la inductancia del arrollamiento N1 desciende rápidamente a cero, la corriente de base se derrumba y el transistor T1 pasa a situación de bloqueo.

Ante esta situación es el transistor T2 el que pasa a conducir ya que se reproduce en el mismo proceso explicado para T1, con la misma velocidad y resultados.

Este ciclo de oscilación entre el paso de la corriente por uno u otro transistor se repite unas trescientas veces por segundo.

La resistencia R8 hace el efecto de resistencia de puesta en marcha, mientras el diodo D7 sirve para bloquear la tensión inversa entre el emisor y base de los dos transistores.

En cuanto al segundo arrollamiento del convertidor (N5) es el encargado de transformar la corriente a la tensión elevada que se necesita para la carga del condensador principal (C1). La corriente así transformada es alterna y debe convertirse en continua, lo que se logra, como es tradicional, por medio de un puente de diodos rectificadores (2), de modo que la

corriente que sale por el borne C es continúa.

Por último, en esta parte A del funcionamiento del encendido, hemos de destacar la presencia del condensador C3, de baja capacidad, que tiene la misión de nivelar la tensión continúa que sale del borne C y reducir las ondulaciones de la corriente rectificada.

B. Dispositivo de descarga del condensador

El órgano principal de esta sistema esta constituido, por el conjunto del condensador (C1) y del tiristor (TH).

La corriente que proviene del borne C no puede pasar a través del tiristor por que se encuentra bloqueado. Tampoco puede hacerlo por el diodo D1 que se encuentra en oposición. Por lo tanto la corriente se aplica al condensador y se procede a la carga del mismo.

Cuando se produce un impulso de control en el electródo de gobierno del tiristor, procedente del circuito de mando a través del generador de impulsos, el tiristor se convierte en conductor, por lo que pone en corto circuito al convertidor el cual no soporta este efecto y se detiene. De esta forma deja de oscilar y no proporciona tensión. Ante la variación importante de tensión del circuito ocurre que, por una parte, el condensador principal (C1) se descarga sobre el primario de la bobina de encendido y, por otra, el tiristor se bloquea al quedarse por un instante sin tensión.

De este modo se deshace el corto circuito y el convertidor comienza de nuevo a oscilar.

Esta situación de funcionamiento se reproduce a cada chispa que salta entre los electrodos de la bujía.

C. Dispositivo de control de la descarga

Este circuito está formado por un conjunto consistente en el generador de impulsos y su circuito de amplificación, y su correspondiente circuito de mando para la alimentación del electródo de gobierno del tiristor (TH).

Su funcionamiento se consigue de la siguiente forma: En estado de reposo la corriente de la batería entra en el dispositivo por el borne positivo +BAT.

El transistor TA no es conductor porque no tiene corriente de base, por lo que la corriente positiva pasa a alimentar la base del transistor TB. Este transistor es NPN, por lo que la base queda alimentada con polarización positiva de modo que TB conduce para la corriente que procede del borne en contacto con el condensador C2, que es el condensador de mando para el electródo de gobierno del tiristor.

En estas condiciones la corriente pasa a masa por el emisor-colector y permite la carga de este condensador de disparo C2.

Esta situación descrita cambia completamente cuando el rotor (RO) se mueve y genera impulsos eléctricos en virtud de su enfrentamiento al bobinado del generador de impulsos. En este momento se genera una corriente que pasa a alimentar la base del transistor TA, por lo que este se hace conductor, la corriente pasa entre emisor-colector y la base del transistor TB se polariza negativamente por lo que este transistor se bloquea.

Al no circular corriente por TB el condensador C2 sufre los efectos de la variación de tensión y se descarga. Ello se produce a través del diodo D2 hasta el electródo de gobierno del tiristor (TH). Este elemento electrónico se convierte en conductor y de esta forma se queda en corto circuito el convertidor, reproduciéndose ahora la situación descrita en

el apartado B descrito anteriormente.

Esta es la base del funcionamiento de los encendidos por descarga del condensador. El esquema referido corresponde a un diseño de la casa Magneti Marelli, la cual ha logrado un encendido muy fiable y experimentado que es utilizado en motores de turismo de buenas prestaciones.

III.3.6. Encendido transistorizado

Este tipo de circuitos tienen la gran ventaja de su reducido tamaño en comparación del sistema de descarga por condensador y la facilidad con la que puede conseguirse una miniaturización que haga que el módulo electrónico sea de un tamaño muy reducido. Por esta razón es uno de los sistemas que más se está utilizando en la actualidad.

Sin embargo comporta un peligro importante para su integridad lo poco cuidadosos que resultan algunos mecánicos que para trabajos de reparación poco importantes, no tienen en cuenta la necesidad de desconectar siempre la batería cuando se han de efectuar estas reparaciones, de modo que la soldadura eléctrica (o la cercana presencia de una fuente de calor importante) puede llegar a perjudicar seriamente al módulo electrónico. Lo peor es que el módulo no suele fallar en ese mismo momento sino que lo hace al cabo de algunos kilómetros de modo que no se sabe porque se ha producido la avería la cual solamente se soluciona con el cambio del modulo electrónico.

A continuación se revisarán algunos esquemas que se asemejan a los diseños que se valen en la práctica los módulos electrónicos comunes.

En la figura III.3.10. tenemos el esquema de un encendido a base de transistores, en un diseño de la casa francesa Ducellier. Como puede verse, consta, fundamentalmente, de tres fases de funcionamiento determinadas por los bloques de captación de los impulsos (A), de preamplificador (B) y de amplificador de potencia (C).

Hecha ya esta observación previa del circuito en general, pasemos a realizar un estudio del funcionamiento del mismo.

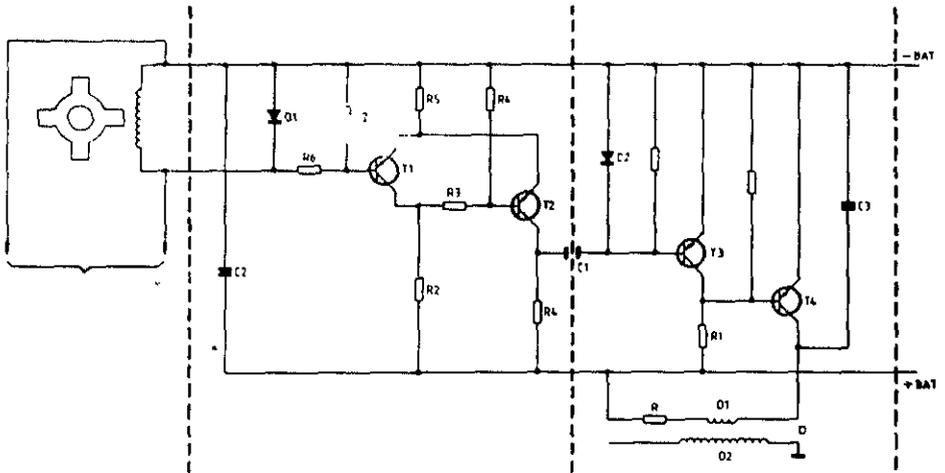


Figura III.3.10. Esquema de un encendido electrónico por transistores de la casa francesa DUCELLIER.

Cuando la sonda captadora de impulsos se encuentra en posición neutra, es decir, sin alimentar la base de T1, ocurre que el transistor de potencia (T4) está en posición de circulación de la corriente ya que esta le llega a través de la resistencia (R1) y le da polarización positiva de base. De este modo el transistor de potencia T4 conecta a masa la electricidad que proviene de +BAT a través de la resistencia de reglaje R. El arrollamiento primario está en este momento, debidamente alimentado.

Por otra parte, y en el circuito preamplificador, la entrada de corriente por la línea positiva +BAT alimenta la base del transistor T2 a través de las resistencias R2 y R3. Esta polarización positiva de la base de T2 permite el paso de la corriente desde R4 hasta el emisor-colector del transistor NPN y su búsqueda de masa a través de la resistencia R5. En estas condiciones el condensador C1 se carga pero permanece inactivo

mientras no haya cambio en el flujo de la corriente que circula entre emisor y colector de T2.

Cuando se produce una señal en la onda captadora que circula hacia la base del transistor T1 polarizandolo positivamente a través de la resistencia R6, este transistor se vuelve conductor y absorbe la corriente en el circuito de las resistencias R2 y R5, haciendo negativa la base de T2 por lo que este transistor ahora se bloquea. El condensador C1 sufre una descarga positiva que alimenta su base y entonces el transistor T3 se vuelve pasante entre R1 y masa. Ello deja en posición de polarización negativa la base del transistor de potencia T4 el cual también se bloquea.

De este modo, el arrollamiento primario de la bobina de encendido se queda sin masa y se interrumpe el paso de la corriente. Este es el momento en que se produce la inducción en el arrollamiento secundario, y con ella, la generación de una corriente de alta tensión que pasara al distribuidor y posteriormente a la bujía.

Cuando el impulso positivo dado a la base del transistor T1 cesa, este transistor se bloquea de inmediato, de nuevo es T2 el que se vuelve conductor y da pie a la nueva carga del condensador C1 mientras T3 se queda sin corriente de base y desbloquea al transistor de potencia (T4). Como resulta de todo ello, el arrollamiento primario de la bobina de encendido vuelve a estar alimentada de corriente y se produce su saturación.

El ciclo continuará cuando, de nuevo, el captador de la sonda envíe otro impulso a la base de T1 en que volveremos a la situación de la segunda fase del ciclo de funcionamiento de este equipo. Y así sucesivamente.

Los otros componentes de que consta el circuito tienen las siguientes funciones: El condensador C2 tiene una acción de filtro mientras el C3 permite las oscilaciones del arrollamiento primario de la bobina que son útiles para el encendido.

El diodo D1 cumple la función de impedir el paso de las señales negativas de ataque que el captador manda, mientras D2 protege el circuito de base del transistor T3.

El resto de las resistencias indicadas cumple funciones de protección de los circuitos y limitación de los valores de la corriente.

Este es el funcionamiento básico del sistema Ducellier, muy parecido, por otra parte, a los equipos de encendido de transistores modernos.

III.3.7. Sistemas de encendido integrales

El encendido electrónico integral es es tipo de encendido que se está montando en la actualidad en muchos motores, sobre todo en aquellos que incorporan la inyección de gasolina a su equipo.

La característica mas distintiva de estos encendidos debemos encontrarla en el hecho de que una unidad electrónica de control integra a sus memorias un enorme numero de posibilidades de avance del encendido en virtud del régimen de giro, de la carga a que este sometido el motor y de la temperatura a que este funcionando. La decisión de los grados de avance de encendido que resultan adecuados para cada momento de acuerdo con el estado del motor, se determinan por procedimientos electrónicos.

El distribuidor que había sido siempre un aparato fundamental en la construcción de un encendido al incorporar las funciones de mando (a través de los contactos del ruptor o de los generadores de impulsos); del control del avance de encendido y de la distribución de la corriente de alta tensión, en los encendidos integrales pasa a ocupar una función de segundo plano pues es despojado de todos estos trabajos fundamentales a excepción del sencillo acto de distribuir la corriente de alta tensión a cada una de las bujías segun el correcto orden de encendido. Todo el trabajo incluso la misma bobina de encendido queda incorporada al módulo desde el que sale la corriente de alta tensión completamente elaborada, conjuntamente con el momento exacto de recepción de ésta corriente entre los electrodos de las bujías.

Los proyectos técnicamente mejor resueltos y que corresponden a un funcionamiento mas eficaz de los dispositivos de encendido se encuentran incorporados en aquellos motores que llevan la inyección electrónica de gasolina, del tipo de los L-Jetronic de la casa Bosh.

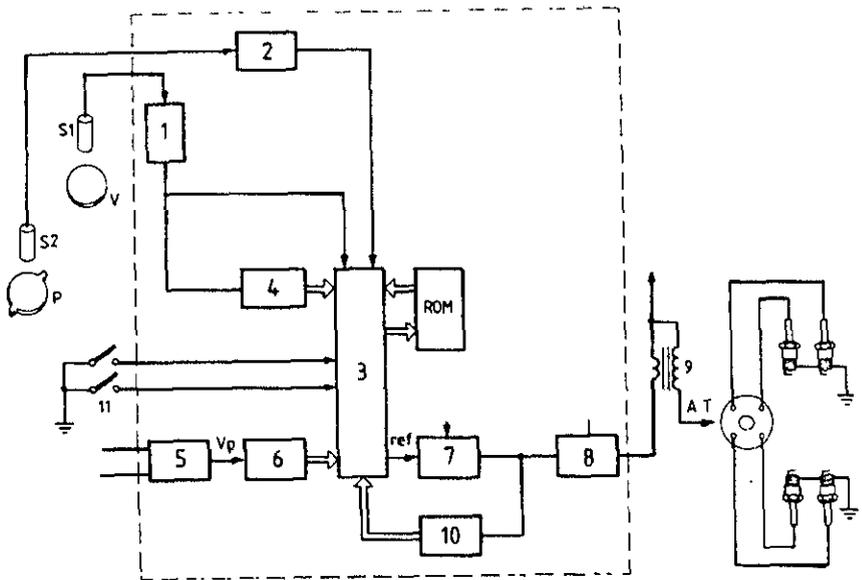
En el mercado existen, entre otras muchas variantes de encendido integral, los esquemas estudiados y realizados por Magneti Marelli y los realizados por la casa francesa Renix para los motores de Renault. También las casa Ducellier y Lucas han realizado proyectos destacables. Pero entre todas hay que distinguir la casa Bosh que, durante muchos años, está siendo en Europa la pionera en las técnicas más avanzadas de aplicación de la electrónica al automóvil y a todos los problemas de control que este presenta.

Antes de empezar a hacer una descripción de los sistemas de encendido integrados es conveniente indicar que se tratará en lo sucesivo estos diseños a partir de esquemas de bloques dada la complejidad electrónica que presentan sus circuitos internos a los que, no hay posibilidad de acceso desde el exterior.

Como ocurre en la mayoría de los casos en los que intervienen dispositivos electrónicos complejos cuando se presentan posibles averías en sus circuitos, la solución pasa exclusivamente por la posibilidad de cambiar integros los grupos de elementos independientes en los que se haya observado el fallo, sin la menor oportunidad para llevar a cabo la recuperación del módulo dañado.

De acuerdo con lo dicho, pasemos a ver a modo de ejemplo, algunas de las realizaciones que la industria ha llevado a cabo en el terreno de los encendidos integrales de los que ahora nos estamos ocupando.

Una de las soluciones de este tipo que son muy claras consistente en el encendido integral Digiplex. Esta es la solución aportada por la casa italiana Magneti Marelli. Un esquema general de bloques presentado en la figura III.3.11. es explicado a continuación.



Consta de dos sensores electromagnéticos (S1 y S2), los cuales se hallan enfrentados respectivamente al volante (V) de inercia del motor y a la polea del cigüeñal (P). De esta manera la información recibida por el módulo electrónico proviene, por una parte, del control exacto de la posición del pistón en su carrera hacia el PMS (información dada por el sensor S2), mientras que por otra parte tenemos la información de régimen de giro a que está funcionando en cada momento el motor, lo cual está proporcionando por medio del sensor S1 desde el mismo volante del motor.

Estas señales pasan a ser amplificadas por unos transistores en los circuitos electrónicos señalados con 1 y 2 en la citada figura, las cuales son recibidas por el microcomputador (3) que constituye la base del sistema.

Por otra parte, y procedente del colector de admisión, un nuevo sensor de presión absoluta transforma la información de

esta misma presión en señal eléctrica.

La entrada se produce a través del bloque 5 mientras el bloque 6, siguiente, se encarga de analizar la medida. El resultado pasa al pequeño microcomputador (3).

Este computador comporta su correspondiente memoria permanente ROM en la que se han almacenada previamente las instrucciones para elaborar los datos recibidos y tomar decisiones según los valores eléctricos dados por las informaciones.

Ello provoca a su vez una serie de ordenes inmediatas dirigidas al conjunto del encendido electrónico, las cuales se llevan a cabo de la siguiente manera: La señal procedente del microcontrolador (3) pasa a un primer circuito de mando (7) que controla el circuito de potencia (8), del que es responsable el circuito de alimentación del arrollamiento primario de la bobina de encendido (9). El microcontrolador (3) controla el momento del salto de la chispa por medio del modulo (10) para hacer las correcciones precisas en cada caso del avance de encendido.

En forma general este es el funcionamiento del esquema de bloques. Pero hay que destacar la importancia básica de un encendido integrado se encuentra en la manera como ha integrado los diferentes valores del avance de encendido. Se profundizará un poco sobre este tema.

Avance de encendido integrado

En los distribuidores tradicionales el avance centrífugo de encendido se produce de una forma que solo tienen en cuenta las revoluciones por minuto del motor, el avance asciende en grados antes del punto muerto superior de una forma lineal, de la manera que se presenta en la gráfica de la figura III.3.11. y que se explica a continuación.

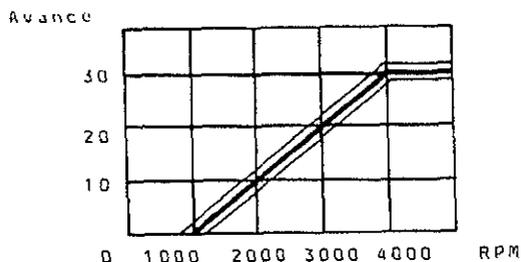


Figura III.3.11. Gráfica que muestra el aumento en los grados de avance de acuerdo con la velocidad de giro del motor con regulador centrífugo de avance.

Un sistema semejante no se corresponde ni se adecua con las necesidades reales del motor al respecto, ya que no basta exclusivamente con girar más deprisa para que el motor necesite mayor avance, pues el avance depende también del estado de carga a que este sometido en ese momento el motor, la temperatura a que este trabajando, y algunos otros factores importantes.

Teniendo en cuenta este nuevo parámetro, la curva de avance de un motor puede y debe ser tan irregular como la indicada en la cartografía siguiente de la figura III.3.12.

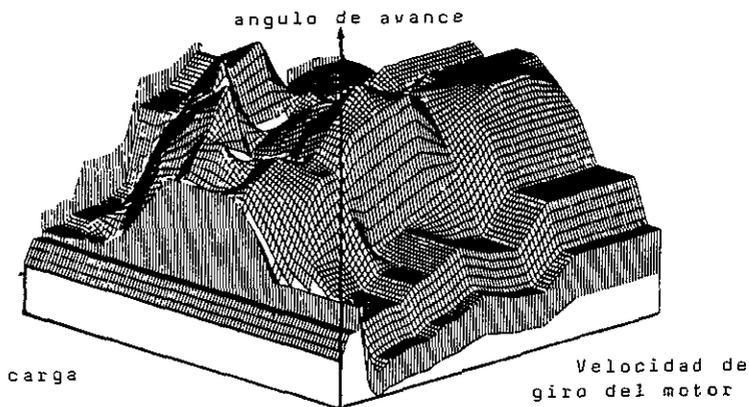


Figura III.3.12. Cartografía compleja del avance de encendido en un equipo Motronic de la casa Bosh.

Aquí, teniendo en cuenta los parámetros del grado de presión absoluta (carga) y la velocidad de régimen, se han ido obteniendo, en un banco de pruebas en el que se estudiaba y se hallaba sometido el motor concreto en cuestión, nada menos que 512 situaciones diferenciadas en las que el valor del avance de encendido debe ser diferente con respecto a cualquier otra situación similar.

Como resultado de estas pruebas se ha visto que solamente en muy contados casos el avance de encendido puede considerarse lineal si se pretende sacar del motor el máximo rendimiento posible.

Estas experimentaciones exhaustivas llevada a cabo en el laboratorio de pruebas han dado como resultado la cartografía de avance de un motor hipotético como el que se ha puesto de ejemplo anteriormente.

Todos estos 512 casos posibles pueden memorizarse en un bloque de memoria y pasar a convertirse en una orden de acuerdo con lo indicado por cada uno de los sensores que intervienen para captar los parámetros de base, esto es, la velocidad de régimen (RPM) y la presión absoluta (carga). El resultado de avance será los grados de giro del cigüeñal a que este debe producirse, valores que están reflejados en la línea vertical indicada con el título de "grado".

Las cartografías de este tipo pueden llegar a ser extraordinariamente complejas. Aunque este tipo integra el encendido y la inyección electrónica en una misma unidad de control, el avance de encendido se refiere exclusivamente a esta cartografía.

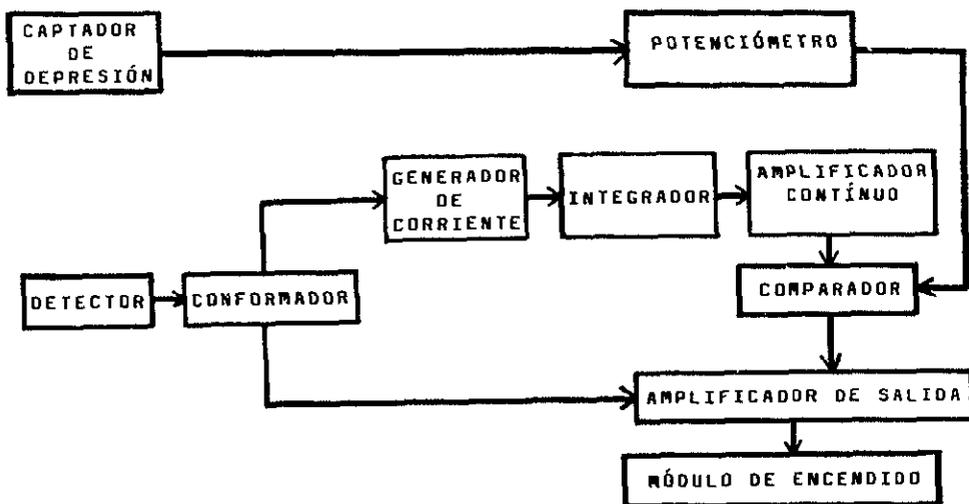


Figura III.3.13. Esquema funcional a bloques mostrando la forma de actuar de un encendido analógico integral.

Los sistemas analógicos para encendidos integrados

La idea general en que se basan los encendidos integrales que utilizan las técnicas analógicas pueden verse representadas en el esquema de bloques de la figura siguiente III.3.12.

Realmente, la pieza básica de todos estos diseños es un dispositivo comparador que tiene la misión de contrastar constantemente la corriente que recibe por una línea (procedente de un sensor) con la corriente que le mandan de otro punto o el valor que tiene grabado en su propia estructura.

Cuando ambos valores concuerdan, por ejemplo, dá por buena la señal y manda una orden. Pero cuando los valores son diferentes de lo esperado su orden es diferente. Existe pues, un constante estado de comparación entre lo que recibe el dispositivo.

Las ordenes cruzadas suelen pasar siempre a un amplificador de salida desde el que, por una "puerta", pasan al bloque que se esta controlando, en este caso a un modo electrónico de encendido.

Posteriormente se ha pasado a la aplicación de los sistemas electrónicos digitales que han hecho posible la creación de maravillas de control en forma de pequeños microcontroladores capaces de efectuar un control muy preciso no solamente del encendido y la inyección de gasolina, sino de otros muchos parámetros de interes que confieren seguridad durante la marcha. Por ejemplo, del estado de presion ejercida por el conductor sobre el pedal del freno en relación con el estado de adherencia del pavimento (frenos antibloqueo), así como el aspecto del control de las velocidades del cambio adecuadas para cada caso, el control de muchos accesorios vitales y otras combinaciones.

Como se ha visto, inicialmente estos equipos se han diseñado utilizando las técnicas analógicas que son, sobre el esquema, mucho más compresibles que las digitales.

CONCLUSIONES

Al finalizar este trabajo puedo concluir que los objetivos planteados al inicio fueron logrados satisfactoriamente, ya que están cubiertos los temas más importantes referentes al control electrónico del motor de combustión interna de uso automotriz y a su vez constituye un documento de gran interés y utilidad para quien desee tener una explicación más amplia de los fenómenos que se presentan y los métodos electrónicos que existen para obtener el máximo rendimiento de un motor en cuestión de seguridad, economía, potencia y con el debido cuidado del medio ambiente.

La aplicación de unidades electrónicas de control tiene un porvenir tan inmediato y afortunado como pueda imaginarse. Es el sistema ideal e inimitable para conseguir actuar sobre todas aquellas partes que sean susceptibles de control o que, de hecho, deba efectuarse este control por parte del conductor.

El control del funcionamiento del motor de combustión interna es solo una parte de las aportaciones de la Electrónica al automóvil. Entre otros servicios están los **Frenos Antibloqueo, suspensiones electronicas, direcciones asistidas, sistemas antirrobo**, así como las centrales de información que representan las "computadoras de a bordo", que pueden informar en todo momento de las condiciones de trabajo presentes.

Si bien, existen en la actualidad otras opciones tecnológicas tales como los automoviles eléctricos, motores que funcionan con otros combustibles (gas natural, alcohol e incluso hidrógeno líquido) que no producen residuos peligrosos, la industria presente alrededor de los autos a gasolina es tan grande, que no solo están involucrados los fabricantes automotrices, sino que la industria del petróleo y la producción de gasolina es inmensa. Esto hace que el proceso para cambiar la infraestructura

automotriz y la producción de vehículos con motor de combustión interna a una nueva tecnología más limpia, será de algunas décadas, en las que tendremos todavía que perfeccionar la tecnología ya existente. Incluso existen estudios con inversiones de dinero bastante importantes por parte de los fabricantes para fabricar automoviles híbridos, es decir, combinaciones de las mejores características de los autos eléctricos con autos de motor de combustión interna, todo esto, controlado electronicamente.

Un automóvil asistido electronicamente de esta forma está al alcance de ser diseñado por técnicos proyectistas actuales, quizá el precio de coste resultante de un equipo semejante y el elevado costo de mantenimiento de máquinas tan evolucionadas sean los mayores obstáculos, capaces de dilatar la puesta a punto de unidades de este tipo.

Durante el tiempo que duró la investigación para la realización de esta tesis, he notado que una cantidad importante de gente que trabaja en la capacitación y mantenimiento automotriz, tiene un gran interés en comprender como funciona esta tecnología y poder algun día participar directamente en el diseño de los vehículos.

Desafortunadamente, en nuestro país no se alcanzan todavía las condiciones económicas necesarias para poder desarrollar en gran escala nuestra propia tecnología.

Estoy convencido en que este deseo pueda lograrse con el trabajo continuo y todas las aportaciones que los que estamos interesados hagamos.

GLOSARIO

Actuador. Nombre que se da a cualquier dispositivo de salida controlado por computadora, tal como un inyector de combustible, una válvula solenoide de cualquier sistema etc. El término se refiere también a un componente específico que se usa en sistemas de inyección continua Bosch KE-Jetronic y KE-Motronic.

Amortiguador. Es también llamado acumulador, y es un dispositivo instalado en la línea de combustible entre la bomba y el filtro en muchos sistemas de inyección de combustible, el cual amortigua las pulsaciones de la bomba de combustible y mantiene presión residual en el sistema de combustible, aún después de que el motor se ha apagado, para prevenir el bloqueo de vapor.

Amplitud. Elevación máxima (o caída) de una señal de voltaje desde los 0 voltios.

Amplitud de pulsación. La cantidad de tiempo en que un dispositivo eléctrico se energiza. Por ejemplo, el pulso de inyección de combustible que determina la cantidad de combustible que necesita el motor.

Arranque en caliente. Poner en marcha el motor cuando esta cerca o en su temperatura normal de operación.

Avance de chispa. Es el instante en que ocurre el arco eléctrico en los electrodos de la bujía antes de que el pistón llegue a su punto muerto superior y se mide por grados de giro de cigüeñal.

Avance de vacío. Es un método para mover el avance de chispa de acuerdo al vacío que el motor produce.

Bimetal. Un resorte o tira hechos de dos metales diferentes con valores de expansión térmica diferentes. Una temperatura creciente causa que un elemento bimetal se doble o tuerza hacia un lado cuando esta frío y hacia el otro cuando está caliente.

Bobina captadora. Es una bobina de alambre fino montado en un imán permanente. La bobina captadora desarrolla un campo que es sensible al metal ferroso (como un reluctor). Cuando el reluctor pasa por la bobina captadora, se produce una pequeña corriente alterna. Esta corriente alterna se envía a la unidad de control electrónica. La bobina captadora se denomina a veces estator o sensor.

Bobina de encendido. Es el transformador que eleva el voltaje de la batería a un alto voltaje del orden de 30,000 o 50,000 voltios que se requieren para la ignición de la mezcla aire-combustible.

Bomba de combustible. Es el dispositivo que entrega el combustible desde el tanque hasta el sistema de inyección y proporciona la presión necesaria.

Camara de combustión. Espacio que queda entre la cabeza del cilindro y la parte superior del pistón en el punto muerto superior; donde se lleva a cabo la combustión de la mezcla de aire-combustible.

Carrera. Movimiento completo del punto muerto superior al punto muerto inferior de un pistón de un motor.

Catalizador. Materia que activa o acelera una reacción química.

Ciclo cerrado. Modo de operación en el que entra un sistema con un sensor de oxígeno, una vez que el motor se calienta lo suficiente. En este modo de operación la computadora controla la mezcla de aire-combustible en función de la cantidad de oxígeno en el gas del escape.

Ciclo de trabajo. Es una medida de la cantidad de tiempo que un dispositivo eléctrico se energiza o se enciende, expresada como un porcentaje del ciclo completo de encendido/apagado.

Circuito primario. Es el circuito de bajo voltaje en el sistema de encendido. Generalmente de 12 voltios.

Circuito secundario. Es el circuito de alto voltaje del sistema de encendido. Generalmente medido en miles de voltios.

Coefficiente de temperatura. Terminó que se usa para describir la relación que tiene el cambio de una resistencia térmica en relación al cambio de temperatura. Este coeficiente puede ser negativo si la resistencia baja cuando la temperatura sube o positivo si la resistencia sube cuando la temperatura sube.

Combustible rico/pobre. Una evaluación cualitativa de la relación aire-combustible basada en un valor conocido como estequiométrico y que es de 14.7 partes de aire por una parte de combustible a nivel del mar y a una temperatura de 25°C. Si la relación aumenta el combustible se dice que se enriquece, pero si la cantidad de combustible disminuye se dice que empobrece.

Controlador. Es uno de varios nombres para un microcomputador

de estado solido que controla los sistemas de inyección de combustible y sincronización del encendido. Genericamente se les denomina controladores a los modulos ECM (Modulo de control electrónico), ECU (Unidad de control electrónica), Modulo de poder, modulo lógico, SBEC (Controlador de motor de cilindro simple), SMEC (Sistema controlador del motor de módulo sencillo).

Dwell. La cantidad de tiempo que el voltaje primario es aplicado a la bobina de encendido para energizarla. Las medidas se expresan en grados de rotación de cigüeñal.

Desplazamiento. Una medida de volumen de aire desplazado por un pistón a medida que se mueve del punto inferior al punto superior de su carrera. El desplazamiento del motor es el desplazamiento del pistón multiplicado por el número de cilindros del motor.

Dinamómetro. Un dispositivo que se usa para medir la potencia mecánica que entrega un motor.

Eficiencia volumétrica. Describe la eficiencia de llevar aire al cilindro. Llevar 5.0 litros de aire a un motor de 5.0 litros se describe como un 100% de eficiencia volumétrica. La mayoría de los motores alcanzan hasta un 80% de eficiencia volumétrica. En un motor turbocargado esta eficiencia puede llegar hasta el 100%.

Fahrenheit. Unidad de medición de temperatura en que el agua hierve a 212 grados y se congela a 32 grados a nivel del mar.

Gas inerte. Es un gas que no experimentará ninguna reacción química. Se dice que el gas del escape es inerte porque ya no sirve para la combustión y por esto se usa para el sistema de recirculación de gas del escape.

Golpeteo. También llamado detonación o preignición. Es el aumento repentino en la presión del cilindro causada por el preencendido por parte de la mezcla aire-combustible a medida que el frente de la llama sale del punto de encendido de la bujía. Ondas de presión en la cámara de combustión chocan contra las paredes del pistón. El resultado es un sonido conocido como golpeteo o detonación. Este fenómeno puede ser causado por el uso de un combustible con un grado de octanaje demasiado bajo, por excesivo calentamiento, por un avance de encendido demasiado adelantado o por una relación de compresión elevada.

Grado de viscosidad SAE. Un sistema de números representa la viscosidad del aceite a una temperatura específica; asignado

por la Sociedad de Ingenieros Automotrices.

Hidrocarburo. Es un compuesto químico constituido por hidrógeno y carbono. Un alto contaminante arrojado por un motor de combustión interna. La gasolina misma es un compuesto de hidrocarburo.

Inhibidor antioxidante. Un aditivo de gasolina que se usa para prevenir la oxidación y la formación de goma.

Integrador. Este dispositivo está incorporado dentro de la computadora y usa información del sensor de oxígeno para energizar los inyectores, para alcanzar una relación de aire y combustible exacta.

Intervalo de encendido. El número de grados de rotación del cigüeñal entre chispas de encendido.

Inyección de aire. Una manera de reducir las emisiones de escape inyectando aire en cada una de las lumbreras de escape de un motor. El aire se mezcla con los gases calientes de escape y oxida el HC y el CO para formar H₂O y CO₂.

Inyección secuencial de combustible (SFI). Un sistema de inyección de combustible que usa un microcomputador para determinar y controlar la cantidad del combustible requerido por el motor en la misma secuencia del encendido.

Inyector de combustible. Es una válvula de solenoide (electromagnética) cargada con un resorte que entrega combustible al múltiple de admisión en respuesta a unas señales eléctricas del módulo de control.

Marcha mínima base. Son las revoluciones por minuto mínimas a las cuales el motor puede trabajar todavía sin perder su continuidad.

Medidor de flujo de aire. Es el dispositivo que mide la cantidad de aire que usa el motor. La unidad de control usa esta información para determinar la carga mecánica en el motor.

Memoria de acceso aleatorio (RAM). Es la memoria temporal de la computadora que se puede leer y cambiar pero se pierde cuando se apaga la computadora.

Memoria de solo lectura. La parte permanente de una función de almacenamiento de memoria de la computadora. ROM se puede leer pero no cambiar, y queda retenida cuando se apaga la computadora.

Memoria en bloque. Memoria grabada a largo plazo de las razones aire/combustible almacenadas en la computadora. Si se desconecta la batería esta memoria se perderá.

Memoria programable de solo lectura. Mas comunmente conocida como PROM, lleva toda la información particular del vehículo tal como (el numero de cilindros, el peso, automático o estandar, tipo de inyección etc.) y no se puede cambiar de un vehículo a otro, debido a sus particularidades.

Motor de pasos (stepper). Son actuadores (motores) de dispositivos digitales que trabajan con corriente DC, que se mueven en una cantidad fija de incrementos desde la posición de partida.

Nivel de octanaje. Medida del valor antidetonante de una gasolina.

Piezoeléctrico. El voltaje causado por la presión física aplicada a la cara de ciertos cristales.

Piezorresistente. Un sensor cuya resistencia varía con la presión o fuerza que se aplica. Un sensor piezorresistivo recibe un voltaje constante de referencia y devuelve una señal variable con relación a su resistencia.

Potenciómetro. Elemento variable de reóstato que actúa como un divisor de voltaje para producir una señal de salida continuamente variable proporcional a una posición mecánica.

Presión absoluta. Presión medida desde el punto de vacío total. Por ejemplo, la presión atmosférica absoluta a nivel del mar es de 14.7 psi, sobre vacío o de cero absoluto.

Ralentí. Marcha mínima.

Relación de compresión. La relación del volumen máximo del cilindro del motor (cuando el pistón está en el punto muerto inferior de su carrera) al volumen mínimo del cilindro del motor (con el pistón en el punto muerto superior).

Relación estequiométrica. La relación ideal de mezcla aire/combustible en la que se obtiene el mejor arreglo entre el rendimiento del motor (mezcla más rica) y la economía y las bajas emisiones (mezcla más pobre). Es de 14.7 partes de aire por una parte de gasolina a 25°C y sobre el nivel del mar.

Reducción. Es el proceso químico en el que el oxígeno es removido o separado de un compuesto.

Regulador de presión. Una válvula de alivio de presión tipo diafragma cargada con un resorte que controla la presión del combustible entregado a los inyectores de combustible devolviendo el exceso de combustible al tanque.

Relevador o relé. Es un dispositivo interruptor electromecánico operado por un circuito de corriente baja que controla la apertura y cierre de otro circuito de capacidad de corriente más alta.

Reluctancia magnética. Es la propiedad que tienen ciertos materiales para impedir el flujo del campo magnético.

Retardo de la 'chispa. Es el hecho de introducir la chispa al cilindro mas tarde con respecto a los grados de giro del cigüeñal.

Riel de combustible. Tubo hueco sobre el cual están montados los inyectores de combustible, el cual tiene en su interior la gasolina presurizada, también están montados sobre él un amortiguador de presión y la válvula reguladora de presión.

Saturación magnética. Es la condición en que un campo magnético alcanza un máximo de fuerza y un máximo de densidad.

Sensor. Un dispositivo que controla la condición de funcionamiento de un motor y envía una señal de voltaje a la unidad de control. Esta señal varía de acuerdo con los cambios en la condición que se controla.

Sensor de detonación. Un sensor de vibración montado en el bloque del cilindro que genera un voltaje cuando la detonación ocurre.

Sensor de la masa de aire. Un medidor de la cantidad de aire que entra al motor para que la computadora calcule la carga mecánica del motor.

Sensor de oxígeno. Sensor montado en el múltiple de escape o tubo de escape, que reacciona a cambios en el contenido de oxígeno de los gases de escape.

Sensor de temperatura. Es una resistencia térmica. Se usa para medir la temperatura de refrigerante y la temperatura de carga de aire.

Sensor de reluctancia variable. Un transductor sin contacto que convierte el movimiento mecánico en señales de control eléctricas.

Smog fotoquímico. Una combinación de los contaminantes que, al ser afectados por la luz solar, forma compuestos químicos dañinos para la vida.

Vacío. Cualquier presión menor a la presión atmosférica.

Valor antidetonante. Característica de la gasolina que ayuda a prevenir la detonación o golpeteo.

Venturi. Es una restricción en el flujo de aire, eso apresura el flujo de aire creando un vacío, tal como sucede en los carburadores.

Viscosidad. Es la tendencia de un líquido para resistirse a fluir.

Volatilidad. La facilidad con la que un líquido cambia de estado a gas.

Voltaje de referencia. Es una señal constante de voltaje aplicada a un sensor por la computadora. El sensor altera el voltaje según las condiciones de funcionamiento del motor y lo devuelve como una señal variable de entrada a la computadora que ajusta la operación del sistema en forma correspondiente.

BIBLIOGRAFIA

1. H. Gerschler
Tecnología del automóvil
Editorial Reverté S.A. España 1991.
2. SEP Varios autores.
La técnica del automóvil Bosh
Editorial Reverté S.A. México 1993.
3. Ben Watson
Fuel Injection Ford, Chevrolet y Bosh.
Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
México, 1993.
4. Herbert E. Ellinger y James D. Halderman
Ajuste de motores y control de emisiones
Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
México, 1993.
5. Albert Paul Malvino
Principios de electrónica
Editorial McGraw Hill. México, 1991.
6. Varios autores
Transductores y medidores electrónicos
Editorial Marcombo. México, 1989.
7. Jose María Urunuela
Microprocesadores, programación e interconexión
McGraw Hill. México, 1994.
8. William H. Crouse
Sistemas de alimentación de combustible, lubricación y
refrigeración del automóvil.
Editorial Marcombo. México, 1990.
9. Stefano Gillieri
Dispositivos electrónicos en el automóvil
Editorial CEAC. España, 1993.

10. Motorola
Sensor Device Data
Estados Unidos, 1997.
11. Varios autores
Engine Sensors and Controls
Applied Education Systems, Inc.
Estados Unidos, 1993.
12. Varios autores
Emission Control Systems
Applied Education Systems, Inc.
Estados Unidos, 1993.
13. NISSAN
Electronic Concentrated Engine Control System
Japón, 1998.
14. Varios autores
Circuits and Electronics Devices
Electronica Veneta. Italia, 1997.