UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE REGULACIÓN DE BAJO VOLTAJE, DOSIFICACIÓN E IGNICIÓN DE COMBUSTIBLE UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS ESTUARDO ARAGÓN CETINA

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 1,999.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideracion mi trabajo de tesis titulado:

SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE REGULACIÓN DE BAJO VOLTAJE, DOSIFICACIÓN E IGNICIÓN DE COMBUSTIBLE UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 10 de julio de 1,997, referencia EIME.231.97.

Luis Estuardo Aragón Cetina

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Herbert René Miranda Barrios.
VOCAL 1º: Ing. José Francisco Gómez Rivera.
VOCAL 2º: Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez.
VOCAL 3º: Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana.
VOCAL 4º: Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán.
VOCAL 5º: Br. Mauricio Grajeda Mariscal.
SECRETARIA: Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas.

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: Ing. Julio Ismael González Podszueck.
EXAMINADOR: Ing. Edwin Alberto Solares Martínez.
EXAMINADOR: Ing. Jacobo Estuardo Ponce Chavarría.
EXAMINADOR: Ing. Juan Pablo Pastor Cojulún.
SECRETARIO: Ing. Francisco Javier González López.

Guatemala, 22 de Septiembre de 1,998.

Ingeniero
Julio César Solares Peñate.
Coordinador del Area de Electrónica.
Presente.

Señor Coordinador:

Atentamente me dirijo a usted, para presentarle el trabajo de tesis titulado: SISTEMAS ELECTRONICOS DE REGULACION DE BAJO VOLTAJE, DOSIFICACION E IGNICION DE COMBUSTIBLE UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ, realizado por el Br. Luis Estuardo Aragón Cetina.

A mi juicio, el trabajo cumple con los objetivos planteados, habiéndolo revisado, encuentro su contenido interesante y de actualidad, por lo que me es, en su totalidad, satisfactorio.

Por lo tanto, el autor de esta tesis y yo, como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Sin otro particular, me suscribo de usted como su seguro servidor.

Ing. José Francisco Solís Cabrera.
Colegiado No. 3961.
Asesor.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 6 de abril de 1,999

Señor Director
Ing. Roberto Urdiales Contreras
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Señor Director.

Me permito dar aprobación al trabajo de tesis titulado: Sistemas electrónicos de regulación de bajo voltaje, dosificación e ignición de combustible utilizados en la industria automotriz, desarrollado por el señor Luis Estuardo Aragón Cetina, por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador Area Electrónica

JCSP/sdem.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante **Sistemas electrónicos de regulación de bajo voltaje, dosificación e ignición de combustible utilizados en la industria automotriz**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Roberto Urdiales Contreras
Director

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION ESCUELA DE INGENIERIA
MECANICA ELECTRICA
DE GUATEMALA

Guatemala, 8 de abril de 1,999.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: **Sistemas electrónicos de regulación de bajo voltaje, dosificación e ignición de combustible utilizados en la industria automotriz**, del estudiante **Luis Estuardo Aragón Cetina**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios
Decano

Guatemala, abril de 1,999.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA
DE GUATEMALA

DEDICATORIA

A Dios.

A la Vírgen María.

A mis padres:	Sandra Cetina de Aragón. Luis Rubén Aragón Reyes.
A mi hija:	Cynthia Paola Aragón Paniagua.
A mis tíos, en especial a:	Elmira Cetina Pacheco. (Q.E.P.D.). Julio César Cetina (Q.E.P.D.). Julio Romeo Aragón Reyes (Q.E.P.D.).
A mis hermanos:	Sandra Jeannette Aragón de Chea. Danilo Enrique Chea Herrera.
A mis sobrinos:	Danilo Esteban Chea Aragón. Luis Antonio Chea Aragón.

A todos mis familiares y amigos.

A mi patria Guatemala y a su entrañable pueblo.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala

Al Instituto Técnico Vocacional "Dr. Imrich Fischmann"

AGRADECIMIENTOS

A Dios	Por su generosidad y su presencia inefable en mi vida.
A la Virgen María	Por ser el modelo de cristiano y por venir con nosotros a caminar.
A mis padres	Por darme su enorme amor y apoyo en todo momento.
A mi hija	Gracias por haber nacido y confirmarme que Dios nos ama.
A mis sobrinos	Por darme la seguridad y tranquilidad de que el futuro será mucho mejor.
A mis hermanos	Por lo todo lo que significan para mi.
A mi familia	En especial a mis tíos: Magdalena, Gilda, Coralia, Sandra, Maribel, Julia Palma, Rafael, Américo, Obdulio, Antonio, Francisco, Delfina, Efraín y Julio, gracias por su presencia y ayuda en los momentos en que los he necesitado.
A mis amigos	Por compartir conmigo su agradable presencia y compañía, en especial a Lorena López ya que por su ayuda recobré lo que creí perdido, asi como a mis grandes amigos Hugo Chacón, Edmundo Rodríguez y José Solís.
A la USAC	Por todas las enseñanzas recibidas.
A Guatemala	Porque por su generoso pueblo tuve la oportunidad de una educación superior.
Al I.T.V.	Por ser cantera industrial por antonomasia de mi nación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

GLOSARIO

Aislante Material que presenta una muy alta resistencia al flujo de electrones por su medio.

Alternador Máquina eléctrica, a su salida se tiene una forma de onda trifásica senoidal, requiriéndose un bloque de seis rectificadores para su conversión a una c.d. pulsante.

Amperímetro Aparato analógico o digital destinado a la medición de corriente.

Analizador de gases Aparato que cuantifica las emanaciones de gases producto de la combustión de la gasolina.

Analógico En electrónica, dispositivo o circuito en el cual se tiene una variación continúa de las magnitudes eléctricas, dichos sistemas trabajan por analogía, es decir, por comparación de magnitudes.

Ángulo de apertura Número de grados de giro de la leva del distribuidor mientras se mantienen los contactos del ruptor abiertos.

Ángulo de cierre Número de grados que gira la leva del distribuidor mientras se mantienen los contactos del ruptor cerrados.

Avance del encendido Acción de adelantar el momento de aplicación de la chispa en el cilindro, para compensar el retardo de la explosión.

Balastro Resistencia de potencia y bajo valor óhmico, que se conecta al circuito primario de la bobina y la protege de sobrecorrientes.

Batería Dispositivo electroquímico capaz de almacenar energía química y suministrarla en forma de energía eléctrica, consta de un grupo de celdas eléctricas conectadas generalmente en serie.

Bimetálico Dispositivo compuesto por dos metales en contacto físico solidario, teniendo ambos diferente coeficiente de dilatación térmica, que al ser calentados se comban de manera tal que se unen o separan según convenga a la aplicación.

Bobina Nombre dado a ciertos tipos de inductores, en los sistemas de ignición automotriz el termino se aplica a un autotransformador elevador destinado a la producción de alto voltaje a su salida que produce a su vez la chispa en el cilindro.

Bobinado Nombre dado a los arrollamientos de alambre en una máquina eléctrica.

Bomba de Inyección Aparato generador de la presión necesaria para la circulación del combustible hacia los inyectores.

Bujía Dispositivo provisto de dos electrodos muy próximos, fijados sobre un cuerpo aislante, encargado de producir la chispa dentro del cilindro.

C.A. Siglas de corriente alterna.

C.D. Siglas de corriente directa.

Capacitor Dispositivo eléctrico pasivo, capaz de almacenar energía eléctrica en forma de campo eléctrico, consta básicamente de dos placas conductoras separadas por un dieléctrico.

Carburador Dispositivo del sistema de alimentación que produce las mezclas de aire y gasolina, valiéndose de medios mecánicos.

Carrera Distancia que recorre el pistón entre el PMI y el PMS.

Cartografía Técnica para la generación de mapas.

Caudalí-metro Aparato destinado a la medición del volumen de aire que ingresa al sistema de inyección, siendo su salida una magnitud eléctrica.

Cilíndro Estructura tubular, dentro de la cual se desplaza el pistón.

CO Monóxido de carbono, gas tóxico producido en el funcionamiento del motor a causa de la combustión incompleta de la gasolina.

CO2 Dióxido de carbono, gas incoloro e inodoro, se produce cuando la combustión es completa.

Conector Dispositivo de conexión, consistente en una pieza macho, que encaja en una pieza hembra, proporcionando un sólido contacto eléctrico.

Contacto Dícese de todo punto de conexión eléctrica, generalmente aplicado a los puntos de apertura y cierre de algunos dispositivos electromecánicos.

Corriente Flujo de electrones por unidad de tiempo en un conductor.

Darlington Transistor compuesto por dos transistores conectados de forma que los dos circuitos emisor-colector se hallan en derivación, mientras los circuitos de emisor-base se encuentran en serie, dando como resultado una ganancia muy alta.

Delga Segmentos de cobre, aislados entre sí, y que forman el colector de un generador o un motor.

Dieléctrico Material aislante eléctrico, carece de conductibilidad eléctrica, pero en su interior puede existir un campo electrostático.

Digital En electrónica, dispositivo o circuito en el cual para su funcionamiento se asume la existencia de solamente dos estados, es decir, se basa en una lógica binaria.

Dínamo Máquina generadora eléctrica, a su salida se tiene una c.d. gracias a la acción de un sistema de colector interno a el mismo.

Diodo Elemento electrónico básico, compuesto por un cristal P y un cristal N, el cual posee la particularidad de dejar pasar la corriente en un solo sentido.

Distribuidor Elemento del sistema de encendido que conmuta al circuito primario y distribuye el alto voltaje del secundario a las bujías.

Disyntor Componente utilizado conjuntamente con las dinamos, se encarga de la desconexión de la batería y la dínamo cuando esta no funciona evitándose asi su descarga.

Driver Término inglés que significa manejador, en electrónica se denomina asi a la etapa de baja potencia previa a una de mayor potencia, siendo el driver el que controla la operación de todo el conjunto.

Dwell Termino inglés para el ángulo de cierre del ruptor.

Entrehierro Espacio vacío que se encuentran en determinados puntos de una máquina electromagnética y que presenta un aumento en la reluctancia del circuito magnético.

Escobilla Barra conductora, generalmente de carbón comprimido, que al descansar sobre un anillo giratorio o colector, provee de contacto eléctrico contínuo.

Estator En un alternador, el conjunto de los conductores que se hallan fijos.

Estequio-metría En química, estudio de las proporciones según las cuales los elementos deben combinarse entre sí.

F.E.M. Siglas de Fuerza Electro Motriz.

Fusible Dispositivo encargado de proteger de sobrecorrientes a un circuito eléctrico, consta de un conductor de bajo coeficiente de fusión.

Generador En electricidad, todo dispositivo que crea energía eléctrica a partir de otra forma de energía.

IGN En un automóvil, posición del interruptor de encendido previa a la posición de arranque, donde se le aplica voltaje a la bobina de encendido.

Ignición Salto de un arco eléctrico en el interior de un cilindro, en el cual se produce la quema de la mezcla que ahí se encuentra.

Impulso Cambio abrupto (y corto en duración) de corriente o voltaje.

Inducido En una máquina eléctrica, es el bobinado en el cual se induce un voltaje dado por la interacción magnética con el bobinado de excitación y el cambio de posición relativa de ambos.

Inductor Dispositivo eléctrico pasivo, capaz de almacenar energía eléctrica en forma de un campo magnético, consta básicamente del arrollamiento de un conductor, pudiendo tener o no un núcleo.

Interruptor Dispositivo eléctrico destinado a la apertura o cierre de un circuito.

Inyector Dispositivo mecánico o electromecánico destinado a la atomización de algún fluido.

Leva Pieza giratoria de determinada forma geométrica diseñada para accionar el movimiento de alguna otra pieza.

Ley de Lenz Ley descubierta por el físico ruso Heinrich Lenz (1804-1865), que enuncia que el sentido de una corriente inducida electromagnéticamente es tal que se opone a la causa que la produce.

Magneto-resistencia Aumento de la resistencia que se produce en un generador por efecto Hall cuando se somete a trabajo.

Manifold Término inglés para denominar al múltiple de admisión.

Módulo Bloque que encierra un sistema o subsistema.

Motor de combustión interna Dispositivo capaz de suministrar potencia mecánica a base de la quema de algún combustible en su interior.

Muelle antagonista Resorte dispuesto de forma tal que su fuerza elástica se opone al movimiento de la pieza a la que se halla unido.

Normal-mente abierto Dícese del interruptor que forma parte de un sistema de control, el cual cierra un circuito al recibir excitación.

Normal-mente cerrado Dícese del interruptor que forma parte de un sistema de control, el cual abre un circuito al recibir excitación.

Octanaje Medida del poder antidetonante de la gasolina, entre mayor es el octanaje mas antidetonante es la gasolina.

Ohmetro Aparato analógico o digital, destinado a la medición de resistencia eléctrica.

Opto-electrónica Parte de la electrónica que se dedica al estudio y aplicación de las radiaciones en el espectro tanto visible como invisible.

Pistón Pieza cilíndrica dotada de movimiento alternativo en el interior del cilindro.

Platino Nombre comúnmente dado al ruptor.

PMI Siglas de punto muerto inferior, punto mas bajo que alcanza el pistón en su carrera en el cilindro.

PMS Siglas de punto muerto superior, punto más elevado que el pistón alcanza en el cilindro.

Polarizar Acción de aplicar voltajes de ciertos valores calculados, en puntos específicos de un circuito con el propósito de lograr un funcionamiento determinado en dispositivos electrónicos.

Potenciómetro. Resistencia variable, su valor depende de la posición sea angular ó lineal de su contacto móvil.

Puente Nombre genérico que se le da en electrónica a una disposición de componentes en forma de cuadro en el cual se inyecta señal en una diagonal y se recibe procesada en la otra diagonal, generalmente sirve para comparación de magnitudes, rectificación y conocimiento de valores desconocidos de componentes.

R.P.M. Siglas de revoluciones por minuto.

RAM Del inglés random access memory (memoria de acceso aleatorio), circuito electrónico diseñado para almacenar bytes, de forma tal que puedan ser almacenadas o recuperadas de forma aleatoria, sin tener que recurrir secuencialmente a cada una de las celdas de memoria.

Rectificador Diodo.

Regulador En electrónica, dispositivo destinado a mantener una magnitud eléctrica (generalmente un voltaje) dentro de límites preestablecidos.

Relé Dispositivo electromagnético que mediante una corriente baja circulante por un bobinado de mando, puede controlar el cierre o apertura de contactos que pueden manejar una corriente mucho mayor.

Reluctor En el automóvil, disco almenado, mediante el cual se producen señales eléctricas en los sistemas de ignición por generador de impulsos.

Resistencia Propiedad eléctrica que poseen en mayor o menor medida todos los materiales, consistente en la oposición al paso de la corriente eléctrica.

ROM Del inglés read only memory (memoria de solo lectura), circuito electrónico que contiene datos almacenados de manera permanente desde fábrica, los cuales no pueden ser cambiados por el usuario.

Rotor Dispositivo rotativo que conecta secuencialmente el contacto central del distribuidor con cada una de las bujías. Toda pieza dotada de rotación.

Ruptor Dispositivo destinado a la conmutación del circuito primario de ignición.

Sensor Transductor eléctrico.

Tacómetro Aparato mecánico o eléctrico destinado a la medición de la velocidad taquimétrica de un cuerpo.

Termo-contacto Interruptor normalmente abierto o cerrado, que cambia su estado de conducción al llegar a determinada temperatura en su cuerpo.

Tierra En un circuito eléctrico o electrónico, punto de retorno de la corriente eléctrica al polo de retorno de la fuente o del generador.

Tiristor Dispositivo semiconductor de cuatro capas que mediante realimentación interna produce un enclavamiento.

Trans-ductor eléctrico Dispositivo que convierte una magnitud física en una magnitud eléctrica.

Transistor Palabra compuesta del inglés TRANsfer reSISTOR (resistor de tensferencia), elemento electrónico compuesto por una superposición de cristales semiconductores, posee tres terminales llamados base, colector y emisor. Actúa como un amplificador de corriente en su mayoría de aplicaciones, pudiéndose utilizar como un interruptor con polarizaciones apropiadas.

Unidad electrónica de control Circuitería electrónica, encargada de procesar las señales provenientes de los diversos sensores del motor, y producir las salidas necesarias, para una inyección óptima.

Vacío Atmósfera en la cual la presión existente es menor a la presión atmosférica.

Velocidad de ralentí Velocidad en la cual el motor funciona sin carga, sin aceleración.

Velocidad taqui-métrica Dícese de la velocidad angular expresada en r.p.m..

Venturí Estrechamiento en la sección de paso de un carburador que produce un aumento en la velocidad del paso del aire, con lo que se da una depresión en dicha zona absorviendose asi el combustible.

Voltaje Presión eléctrica, necesaria para el flujo de electrones en un medio conductor.

Voltaje Zener Voltaje inverso al que un diodo Zener entra en conducción.

Voltímetro Aparato analógico o digital, destinado a la medición de voltaje.

Zener Elemento semiconductor de silicio que tiene las mismas características que un diodo rectificador normal cuando trabaja en polarización directa, en polarización inversa puede conducir al llegar a determinado voltaje.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los adelantos en la industria automotriz, se deben en su mayoría a las mejoras que los sistemas electrónicos introducen en los diversos subsistemas; virtualmente no hay factor en la fabricación de un automóvil en que la electrónica no tenga incidencia directa o indirecta; desde su diseño hasta su montaje.

Los sistemas automotrices susceptibles de adelanto van desde los de funcionamiento básico: carga de baja tensión, ignición e inyección de combustible, pasando por los de control de marcha: frenos ABS y suspensiones inteligentes, llegando a los de funciones periféricas y de confort: alumbrados automáticos, control de limpiaparabrisas, calefacción, la computadora de viaje, alarmas, detectores de somnolencia, sistemas de audio, etc.

En el presente trabajo se describen los sistemas básicos para el funcionamiento del motor, los cuales guardan una estrecha relación entre sí, ya que si el sistema de regulación de bajo voltaje opera incorrectamente, el sistema de ignición y el de inyección no operaran debidamente, análogamente la falla de cualquiera de los otros dos sistemas básicos repercute en los demás.

Posterior a la descripción de los componentes de los diversos sistemas, se presentan las diferentes configuraciones, realzando sus ventajas operativas, después de lo cual se propondrá un método de resolución de fallas, utilizándose un sistema para la determinación de la posible falla, de forma tal que partiendo de un síntoma determinado, se enumeren los puntos de comprobación de mayor a menor probabilidad de falla.

Se pretende poder transmitir un conocimiento básico de los diversos sistemas analizados, para poder tener las herramientas necesarias para su reparación y puesta a punto, ya que de esto depende el buen funcionamiento y la máxima eficiencia, teniéndose como resultado una optimización energética y por ende una mayor economía, además de un impacto ambiental lo mas bajo posible.

En Guatemala, actualmente, el parque automotriz sobrepasa el medio millón de unidades, la mayoría de los cuales utilizan alguna de las tecnologías en este trabajo enumeradas, por lo que se confía que el mismo responde a las necesidades actuales de información técnica básica en el país.

SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE REGULACIÓN DE BAJO VOLTAJE, DOSIFICACIÓN E IGNICIÓN DE COMBUSTIBLE UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.

1. SISTEMAS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS APLICADOS EN LOS AUTOMOTORES PARA LA REGULACIÓN DE BAJO VOLTAJE

1.1. Requerimientos del sistema

El sistema eléctrico en el automóvil se alimenta por medio de la generación de energía eléctrica producida por una parte de la fuerza mecánica disponible en el eje del cigüeñal del motor de combustión interna, tal generación se lleva a cabo por medio de máquinas eléctricas específicas, puede observarse que ya desde esta primera premisa se tiene un problema grave, puesto que al conocerse que la producción de f.e.m. (fuerza electromotriz) en tales máquinas se basa en la ley de inducción de Faraday, que enuncia:

$$f.e.m. = -d(\phi n)/dt$$

Donde ø es el flujo magnético, n es el número de vueltas del bobinado y t el tiempo, el signo negativo es consecuencia de la ley de Lenz.

Se infiere de lo anterior que la fuerza electromotriz inducida es función de los factores siguientes:

a) El número de vueltas del bobinado del inducido.
b) El número de líneas de flujo magnético producidas por el bobinado excitador.
c) El número de revoluciones (velocidad taquímetrica) a que gira el rotor, que es la que determina cuantas veces por unidad de tiempo, las líneas de flujo magnético cortan al plano de las espiras del inducido.

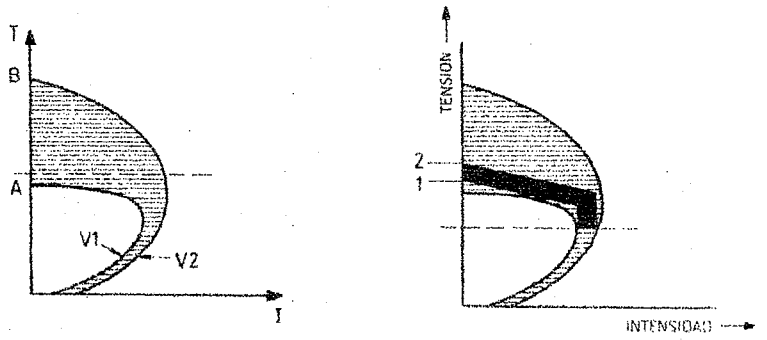
A partir de lo anterior y si se tiene en cuenta que el primer factor es invariable, puesto que es dado por la construcción física de la máquina, los dos factores determinantes son:

Primero, la velocidad taquimétrica en el eje del generador, dicha velocidad es variable en un amplio margen (aproximadamente de 0 a 6000 r.p.m., en condiciones normales), el voltaje obtenido a la salida del generador variará a su vez; por lo que el sistema a alimentar será sometido a voltajes por arriba y abajo de su voltaje nominal, con lo que puede resultar en un mal funcionamiento y deterioro.

Segundo, el flujo magnético de excitación sobre el cual se puede tener control por medio de la corriente circulante por el bobinado de excitación.

La magnitud de las variaciones mencionadas puede observarse claramente en la figura número 1, en la cual se plotea la curva característica de la salida de una máquina generadora (específicamente de un alternador), se tiene en el eje de las abscisas (x) a la corriente (I) y en el eje de las ordenadas (y) al voltaje (E). Ambos parámetros están relacionados con la velocidad taquimétrica (V), de forma tal que para la curva V1 corresponde la velocidad taquimétrica más baja en la cual el alternador alcanza su voltaje nominal y V2 es la velocidad máxima de giro.

FIGURA 1. Curvas E vrs. I relacionadas por la velocidad taquimétrica del eje



Fuente: Electrónica del automóvil. Stefano Guilleri, página 93.

Se observa que los valores de voltaje obtenidos entre una y otra curva varían en un amplio rango (entre el punto A y el punto B), situación totalmente indeseable.

Para mantener el buen funcionamiento del sistema deben mantenerse los valores eléctricos entre la zona negra de la curva, esta es la función de los sistemas de regulación.

Se plantea entonces la necesidad de acoplarle al sistema de generación un sistema específico de regulación, utilizándose para el efecto dispositivos electromagnéticos o electrónicos, o bien, una mezcla de ambos, lo que nos conduce a una diversidad de diseños, los cuales son objetivos de este análisis. Para tal fin se principia con una descripción de las partes componentes, para después mostrar su interconexión así como sus diversas configuraciones y variantes.

1.2. Descripción de componentes de los sistemas de carga

1.2.1. Máquinas utilizadas para la generación

1.2.1.1. Dínamo

Generador utilizado en los primeros sistemas eléctricos automotrices de uso práctico (sigue siendo utilizado en la actualidad en algunos modelos). En sus bornes de salida se tiene corriente directa pulsante por la acción del sistema de colector y escobillas contenido en su interior, con lo que se elimina la necesidad de rectificación, las partes básicas de esta máquina son:

Carcaza: envoltura metálica que contiene todo el conjunto, y que sirve como parte del circuito magnético del estator, su construcción se efectúa con algún tipo de material magnético apropiado, generalmente acero dulce debido a su gran permeabilidad.

Masas polares: son las encargadas de reforzar el flujo generado por las bobinas inductoras, proporcionándoles un paso de baja reluctancia en su circuito magnético.

Bobinas inductoras: son bobinados de relativa gruesa sección, encargados de generar un campo magnético que haga funcionar a la dínamo, al ser recorridas por parte de la corriente producida por la misma, la conexión de ambas es en serie y de forma tal que forman polos contrarios.

Inducido: es el elemento que se somete a rotación por medio de una polea que gira solidariamente a él, es a dicha polea a la que se le aplica el giro proveniente del eje del cigüeñal por medio de una faja adecuada; consta de tres partes:

*__Eje:__ atraviesa todo el inducido y en sus extremos se apoya todo el conjunto por medio de cojinetes.

*__Tambor:__ pieza unida sólidamente al eje y en contacto eléctrico con el eje, formada por láminas prensadas con un impregnado de barniz entre ellas para evitar corrientes parásitas (ya que provocarían calentamiento y vibración), en los canales formados por tales laminas se alojan las bobinas del inducido.

*__Colector:__ es un anillo de cobre troceado, formando delgas que se encuentran aisladas eléctricamente entre sí por aislantes de mica, en estas delgas se conectan las bobinas del inducido.

Polea: es la pieza que gira solidariamente con el eje y le transmite la rotación obtenida de la polea del cigüeñal.

Escobillas: piezas de carbón o antracita prensadas y calentadas a una temperatura de 1200 grados celcius, se hallan aplicadas contra el colector 180 grados una de la otra por la acción de resortes, se asegura contacto eléctrico por medio de un cable flexible entre la escobilla y el porta escobilla que contiene el punto de conexión.

Turbina: su función es la de refrigerar el interior de la máquina aprovechando el giro del eje.

1.2.1.2. Alternador

Máquina eléctrica que produce en su salida primaria corriente alterna de tipo trifásica por la disposición de sus bobinados en el estator, los cuales se encuentran colocados a 120 grados respecto a los otros, por lo que se hace necesario el uso de un juego de 6 diodos rectificadores para su conversión en corriente directa pulsante.

Presenta un desempeño mejor respecto a la dínamo ya que el alternador puede producir corrientes relativamente altas (aproximadamente 15 amperios) a bajas revoluciones del motor (aproximadamente 750 r.p.m.) cosa que la dínamo no puede hacer, de ahí su mayor utilización en la actualidad, sus partes constitutivas básicas son:

Estator: en este caso hace las veces de inducido, y en él se colocan las bobinas del mismo, como ya se mencionó se hallan dispuestas a 120 grados una de la otra, son un conjunto efectivo de tres bobinados, están sujetas mecánicamente a un núcleo que presenta forma de anillo laminado estriado en su interior.

Rotor: hace la función de inductor, va montado en el interior del núcleo del estator, puede girar gracias a cojinetes colocados en el extremo de su eje.

Está constituido por dos piezas con un numero determinado de orejas que encajan unas con otras, cada oreja de una pieza conforma el polo norte y las de la otra el polo sur; en el interior de las mencionadas piezas se aloja la bobina inductora, cuyos terminales se conectan a dos anillos de cobre colocados en un extremo del eje, contra los cuales son aplicadas las escobillas, con lo cual se evita el uso de colector y sus inconvenientes de chispeo de conmutación.

Bloque rectificador: es el encargado de rectificar la corriente en la salida del estator de la máquina, típicamente se utiliza un puente trifásico con seis diodos de silicio, tales rectificadores son de tipo especial, diseñados para soportar alta corriente en sentido directo y temperaturas de operación relativamente altas, pueden venir presentados individualmente con su encapsulado para montaje en disipador a presión o en bloques sellados dobles, existen también paquetes integrales con los seis rectificadores incluidos en un solo bloque.

Además de la rectificación los diodos evitan la descarga de la batería través del circuito del alternador puesto que si el bloque rectificador está en buenas condiciones, el circuito de descarga alternador-batería se encuentra en polarización inversa.

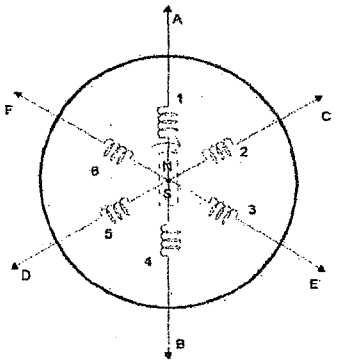
Carcaza: es el conjunto de tapas delantera y trasera que juntamente con el núcleo del estator conforman el cuerpo que da sostén mecánico al sistema completo.

La diferencia desde un punto de vista mecánico entre el alternador y la dínamo es que en el primero el inductor (rotor) gira y el inducido (estator) esta fijo, mientras que en el segundo se dan condiciones inversas. Desde un punto de vista eléctrico, se tiene la ausencia de colector en el alternador y por consiguiente ausencia de rectificadores en la dínamo.

1.2.1.2.1. Fundamentos del alternador

La base teórica que sustenta el funcionamiento del alternador como ya anteriormente se indicó es la misma que la de la dínamo, es decir la ley de inducción de Faraday. La cual de una forma física se traduce en la presencia de una f.e.m. inducida en los extremos de un conductor el cual se encuentra inmerso en un campo magnético, al existir un movimiento relativo entre ambos, siendo indiferente cual de los dos es el que se mueve. Este principio será útil ahora para explicar con la ayuda de la figura 2 el funcionamiento del alternador.

FIGURA 2. Representación esquemática de un alternador



Si se tiene un arreglo de un imán de barra con sus respectivos polos N-S y se hace girar sobre su eje llamado "e", frente a una bobina con terminales A-B, entonces:

(1) Con condiciones iniciales de las líneas de flujo magnético del imán perpendiculares al eje de la bobina, se presenta una inducción de f.e.m. en esta última nula, ya que prácticamente ninguna línea de flujo magnético corta el plano de las espiras de la bobina.

(2) Al tener el imán en la posición mostrada en la figura 2, y establecer una rotación que arbitrariamente tomaremos en sentido horario, se genera una f.e.m. de la polaridad mostrada con un valor máximo ya que es la posición angular en la cual se cortan la mayor cantidad de líneas de flujo magnético por el plano de las espiras de la bobina.

(3) Se da la misma situación que en (1) solo que la posición del imán es diametralmente opuesta.

(4) Es situación similar que en (2) solamente que la posición del imán nos da una polaridad de la f.e.m. opuesta, con un máximo también.

Es de hacer notar que las posiciones angulares intermedias de la barra imantada entre (1) y (2), (2) y (3), (3) y (4), (4) y (1), dan valores de f.e.m. inducida que son función de su posición angular relativa obedeciendo a la función senoidal.

En la figura 2 se presenta también la disposición de los bobinados en el interior de un alternador, se tienen tres pares de bobinas que forman los siguientes pares ordenados: 1-4, 2-5 y 3-6. (nótese el sentido de arrollamiento de las bobinas).

Si inicialmente la posición de la barra imantada (que llamaremos rotor o inductor) es la mostrada, el par de bobinas 1-4 se encuentran con inducción de voltaje máximo, y dado que se encuentran arrolladas en sentido contrario, sus polaridades se suman, tal f.e.m. se dirige en este ejemplo de B hacia A.

Al girar 60 grados en sentido horario, se presenta inducción máxima en el par de bobinas 2-5, pero nótese también que existe cierta cantidad de inducción en menor cuantía para los otros dos pares de bobinas, tal inducción tiene el sentido de D hacia C.

Si se produce un giro en el mismo sentido de otros 60 grados, ahora la inducción máxima esta en el par de bobinas 3-6, con un sentido de F a E.

Hasta aquí hay una inducción sucesiva al giro del rotor con un mismo sentido, es decir que si uniéramos los bornes de las bobinas A, C y E la corriente resultante sería continua.

Si se produce un giro de 60 grados más, la inducción en el par de bobinas 1-4 dada la posición polar invertida del rotor, es también de polaridad inversa, es decir con sentido de A hacia B; de esto se infiere que si se sigue el giro simultáneo, obtendremos polaridades opuestas, es decir de C a D y de E a F secuencialmente.

De lo anterior se desprende que en 180 grados de giro del rotor la f.e.m. inducida tiene una polaridad, mientras que en los 180 grados complementarios se tiene la f.e.m. con polaridad opuesta, es decir, que la f.e.m. inducida es alterna.

Cada par de bobinas conectadas se denominan fases del alternador, existen alternadores con un par de fases denominados bifásicos y los más comúnmente utilizados de tres fases o trifásicos.

1.2.2. Dispositivos periféricos

1.2.2.1. Disyuntor

Dispositivo electromecánico utilizado conjuntamente con las dínamos, y que generalmente forma un conjunto único con el regulador.

Es el encargado de evitar que la batería se descargue por medio del circuito dínamo-regulador, ya que como se sabe la dínamo por su naturaleza carece de bloque rectificador que evita tal situación.

1.2.2.2. Regulador

Es el dispositivo electromecánico o electrónico, encargado de mantener los niveles de tensión y corriente en el sistema dentro de márgenes aceptables, la mayoría de reguladores permiten ajustes tanto de voltaje como de corriente.

El efecto de regulación se produce con el control del flujo magnético que se proporciona a la bobina inductora del generador, y esto se logra variando la corriente que atraviesa la misma.

1.3. Sistemas de regulación para dínamos

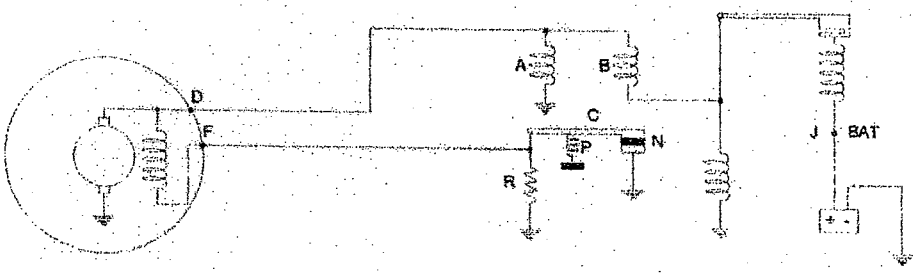
Para producir el efecto de regulación en las dínamos, se controla el campo magnético inductor, el regulador se instala en el circuito excitador del generador en los bornes D (del inductor) y F (del campo). El circuito de control consiste en un dispositivo electromecánico capaz de provocar una disminución en la corriente de excitación si detecta que la f.e.m. inducida por la dínamo se pasa de determinado nivel, con lo cual se tiene un efecto de disminución en el campo generado por las bobinas inductoras lo que conlleva un decremento del voltaje en bornes de salida del generador.

Al detectarse un descenso en dicho voltaje por debajo de un nivel determinado, el circuito de control hace que se vuelva a aumentar la corriente de excitación, con lo cual el campo magnético inductor aumenta y por consiguiente se tiene un incremento en el voltaje presente en la salida del generador.

1.3.1. Regulador de voltaje sencillo

Como se muestra en la figura 3, este tipo de regulador dispone de un par de bobinados, uno de sección alta y pocas vueltas (B) colocado en serie con el circuito de carga, y otro de sección baja y muchas vueltas (A), en paralelo a tierra, los cuales actúan atrayendo magnéticamente a la placa C de contactos normalmente cerrados (NC) gracias a la acción del muelle antagonista (P), al abrirse dicho contacto se obliga a la corriente del inductor pasar por la resistencia limitadora R, se observa que la placa j (disyuntor) se encuentra en el conjunto.

FIGURA 3. Regulador de voltaje sencillo



Al ponerse el motor del automóvil en marcha, la dínamo empieza a producir f.e.m., la cual crea el flujo de corriente por medio del borne D que está conectado al borne D del regulador, sigue el circuito que pasa por la bobina de alta sección B y llegando al disyuntor, que le surte a la batería para su carga. Una pequeña parte de la corriente se deriva a tierra por el bobinado de baja sección A. Las bobinas inductoras por medio de la escobilla positiva toman corriente que esta disponible en el borne F del regulador, el cual tiene dos caminos a tierra: por la resistencia R o directamente a ella por medio del contacto de la placa C, puesto que este último es el camino de menor resistencia es el que tiende a seguir la corriente.

Cuando la dínamo aumenta su velocidad taquimétrica, y suponiéndose constante el campo magnético de las bobinas inductoras, la velocidad de corte de líneas de flujo magnético es mayor que antes, con lo que se tiene una f.e.m. mayor, es decir que el regulador tiene que procurar bajar este parámetro.

La corriente que fluye por el borne D va por medio del disyuntor a cargar la batería; ya con las condiciones de f.e.m. alta en el generador planteadas, el arrollamiento de baja sección A crea un campo magnético capaz de vencer la resistencia mecánica del muelle P con lo que se separan los contactos N y la corriente de las inductoras que pasaba por ellos ahora tiene que recorrer el circuito al que se le ha intercalado la resistencia limitadora R, con esto se disminuye la corriente disponible para crear campo magnético inductor, que trae como consecuencia una disminución de la f.e.m. producida por la dínamo.

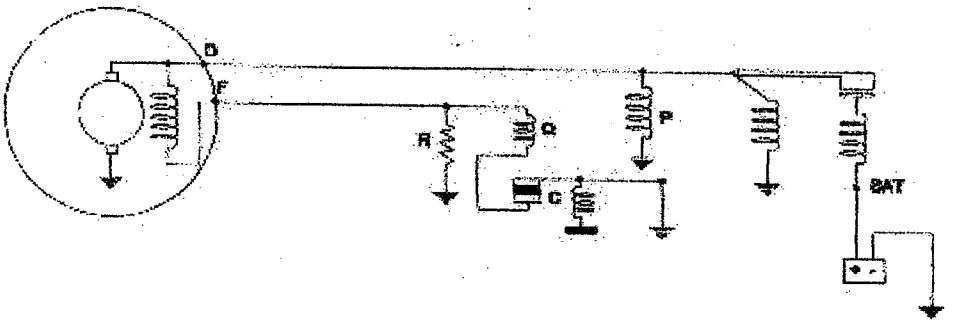
En el caso de que la dínamo esté produciendo un sobre voltaje, porque su velocidad taquimétrica es elevada con la batería semicargada, se da una resistencia interna de la batería baja, con lo que se establece una corriente en el circuito de carga muy alta, dado que esta corriente pasa casi en su totalidad por la bobina de alta sección B, se da un reforzamiento en la atracción de la placa C con la consiguiente apertura de contactos N por un tiempo mayor lo que redunda en una regulación mas acentuada.

Al actuar el regulador, la tensión producida en bornes de la dínamo vuelve a ser normal, entonces el campo magnético en las bobinas A y B no tienen la fuerza necesaria para mantener atraída la placa C y los contactos N se cierran, y se derivan directamente a tierra las bobinas inductoras, restableciéndose la normalidad del sistema.

Si el sistema solamente opera con la bobina A se dice que es *no compensado*, si opera con ambas bobinas (A y B) se dice que es *compensado*.

En la figura 4 se presenta un circuito alterno de regulador de voltaje, en el cual se ve que la diferencia estriba en el hecho de que el arrollamiento en serie Q no es recorrido por la totalidad de la corriente de la dínamo, sino solamente por la corriente de las bobinas inductoras; la corriente saliente del borne D pasa por el disyuntor para cargar la batería cuando se cierran los contactos de éste, de dicha corriente una pequeña parte se conduce hacia tierra por medio del bobinado de bajo calibre P, esta corriente (y por lo tanto su voltaje) estará en proporción directa a la producida por la dínamo, y se tiene una atracción mecánica proporcional ejercida por el solenoide P sobre la armadura C.

FIGURA 4. Circuito alternativo de regulador de voltaje



La corriente con que se alimentan las bobinas inductoras entran por el terminal F y cierran el circuito a tierra por medio de dos circuitos alternativos: uno con los contactos C directamente a tierra, y otro por medio de la resistencia R al abrirse los contactos mencionados, esta corriente pasa en ambos casos por el bobinado de alta sección Q.

El efecto de regulación se describe a continuación: Si se efectúa una elevación en la tensión producida por la dínamo, la bobina P tiene fuerza suficiente para atraer a la placa C, con lo que los contactos se abren y la corriente de las bobinas inductoras se fuerza a pasar a tierra por medio de la resistencia limitadora R con lo que se produce una disminución de la corriente que fluye en este circuito, que redunda en un flujo magnético inductor menor y por lo tanto un voltaje en la salida de la maquina de menor valor.

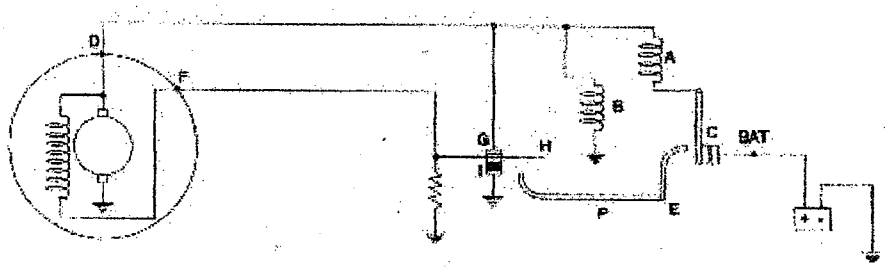
Al bajar la tensión se tiende a cerrar los contactos, ya que la bobina P llegara a tener una fuerza que no será lo suficientemente grande como para vencer la acción del resorte de retorno; ya cerrados los contactos la corriente en las bobinas inductoras pasa directamente a tierra, se incrementa y por consecuencia la tensión de la dínamo sube, llegado este punto se vuelve a las condiciones iniciales del presente análisis.

Lo anterior completa el ciclo, el cual se repite según sean las condiciones de descarga en el sistema a ser alimentado por la batería, obteniéndose una regulación óptima en todo momento.

1.3.2. Regulador de voltaje de doble contacto

Se observa en la figura 5 un regulador consistente en dos bobinados: uno, de alta sección (A) conectado en serie, y el otro de baja sección (B) conectado en paralelo; que hacen las veces de disyuntor y regulador respectivamente.

FIGURA 5. Regulador de voltaje de doble contacto



Para poder analizar el funcionamiento de este sistema de regulación, se parte de la suposición de condiciones iniciales de giro del rotor de la dínamo a bajas revoluciones, con un corte moderado de líneas de flujo magnético del inducido, entonces se establece una corriente baja saliendo del borne D, dicha intensidad tiende a pasar por el arrollamiento A y por los contactos C hacia la batería, pero en las condiciones iniciales supuestas estos se encuentran abiertos con lo que la corriente que fluye únicamente es la que demanda la bobina B hacia tierra. Este bobinado crea un campo magnético bajo debido a que es una corriente baja la que lo atraviesa y no logra aún atraer la placa P.

Al haber un aumento en las revoluciones del motor de combustión interna se presenta en la dínamo una salida de corriente proporcionalmente mayor por el borne D, a su vez en el bobinado B circula una corriente superior con el consiguiente aumento del campo magnético en el mismo, el cual ya es capaz de atraer a la placa P, que al actuar por el pivote E cierra los contactos C. Ahora la corriente circula por la bobina A hacia la batería, cargándola. Se manifiesta ahora la acción de ambos bobinados para mantener cerrados los contactos C. Parte de la corriente que sale de la escobilla positiva llega a las bobinas inductoras y sale de ellas por el borne F, hasta el contacto H que esta junto con él y por lo tanto pasa a este ultimo la corriente y del directamente a tierra.

Un aumento grande en las revoluciones del eje de la dínamo, provoca en la salida de la misma una tensión mayor, asi como una corriente alta circulando por la bobina A hacia la batería. El campo magnético asociado a las bobinas A y B aumenta entonces con lo que se tiene una atracción aún mayor sobre la placa P que como se observa levantara su parte izquierda, que abrirá los contactos H e I, con lo que la corriente aplicada a las bobinas inductoras no cierra circuito a tierra directamente sino a través de la resistencia R, con una corriente menor en dichas bobinas lo cual redunda en una disminución de voltaje en la salida de la dínamo, hasta que se llega al valor normal con lo que la bobina B deja de actuar y entonces los contactos H e I se cierran restableciéndose así las condiciones iniciales. Si se da un aumento abrupto de tensión por parte de la dínamo, la fuerza de atracción de la bobina B será muy grande, entonces el contacto H se une con el contacto G y las bobinas inductoras quedan en cortocircuito, sin posibilidad de inducir voltaje alguno en el rotor, se tiene entonces una regulación muy enérgica. En estas condiciones, al no producir la dínamo f.e.m. en su salida el contacto H vuelve a su posición normal, y se restablece la condición normal.

1.3.3. Regulador de voltaje e intensidad con excitación a corriente

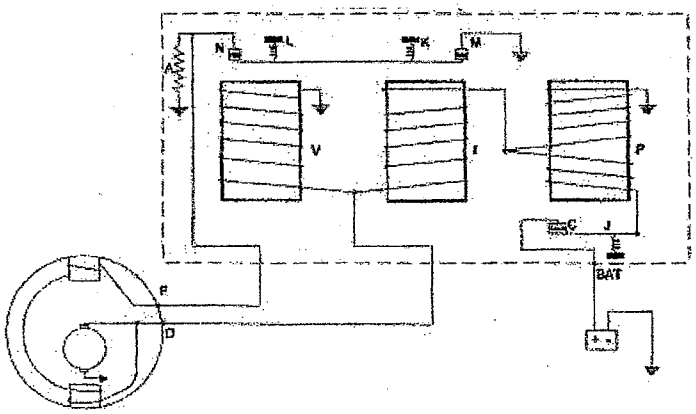
Es un regulador que consta de tres solenoides, como se observa en la figura 6:

1) El disyuntor (P), con dos bobinados superpuestos, uno de alta sección y pocas vueltas y otro de baja sección y muchas vueltas, controla un par de contactos normalmente abiertos (NA) que constituye propiamente al disyuntor.

2) El regulador de voltaje (V), se distingue por ser un bobinado de sección baja y muchas vueltas, conectado en paralelo con respecto al circuito de carga, controla un par de contactos normalmente cerrados (NC).

3)El regulador de intensidad (I), tiene un bobinado de sección alta y pocas vueltas, conectado en serie con el circuito de carga, controla unos contactos NA.

FIGURA 6. Regulador de voltaje y corriente con excitación a corriente



La operación de este dispositivo en el circuito de carga es la que se detalla a continuación: la f.e.m. inducida en la dínamo, produce una corriente que sale de la misma por el borne D y llega por el borne de idéntica denominación al regulador recorre ya dentro del dispositivo la bobina de intensidad I, que le ofrece menor resistencia que la bobina de voltaje V y llega hasta el disyuntor, para encontrar dos caminos: un circuito que abarca un bobinado de alta sección y pocas vueltas, que no puede seguir ya que los contactos C se hallan abiertos; el otro circuito es el de la parte superior en el cual se tiene un bobinado de baja sección y gran numero de vueltas, y en circuito cerrado a tierra, de ahí se tiene que exista una circulación de corriente y dependiendo de la magnitud de la misma se tiene la activación de la placa J; suponiendo que se tiene una intensidad que actúe sobre el electroimán P juntando los contactos C y J, se produce un flujo de corriente a través del disyuntor, que circula por el circuito de menor resistencia que le ofrece este bobinado, sin embargo una corriente sigue fluyendo por el bobinado de baja sección, ambos campos magnéticos generados tienden a mantener cerrados los contactos.

La corriente que toman las bobinas inductoras de la escobilla positiva sale por el borne F de la dínamo hasta la terminal F del regulador, con conexión en los contactos N, que similarmente a los contactos M, se hallan cerrados por la fuerza de los muelles L y K respectivamente, dicha corriente atraviesa ambos contactos hacia tierra, completándose el circuito.

Cuando el consumo de los accesorios eléctricos en el automóvil es alto, la dínamo tiende a producir corriente en exceso, la cual sale del borne de carga de la dínamo y pasa por el regulador de corriente hacia la batería, como la corriente es grande, produce un campo magnético fuerte que tiende a atraer en M al contacto móvil; entonces la corriente de las bobinas inductoras ya no fluye hacia tierra por medio de los contactos M, y asi queda intercalada en serie la resistencia A que reduce la corriente que fluye por las inductoras con su consiguiente disminución de f.e.m. a la salida de la dínamo, al llegar el punto de tensión entre los niveles correctos, la fuerza ejercida por el campo magnético que vence al muelle antagonista K no es suficiente y los contactos M se cierran, restableciéndose las condiciones iniciales.

Por otra parte, si hay un aumento en las revoluciones de la dínamo por acción del motor de combustión interna, la tensión en bornes de salida tiende a aumentar, por consiguiente la tensión saliente de D y que llega al terminal de idéntica denominación en el regulador, sale del mismo para cargar la batería, entonces el arrollamiento de tensión V crea un campo magnético de tal magnitud que atrae la placa de los contactos N separándolos, el efecto es análogo al de la bobina de corriente ya que se intercala la resistencia limitadora A con lo que se tiende a disminuir la f.e.m. en la salida de la dínamo.

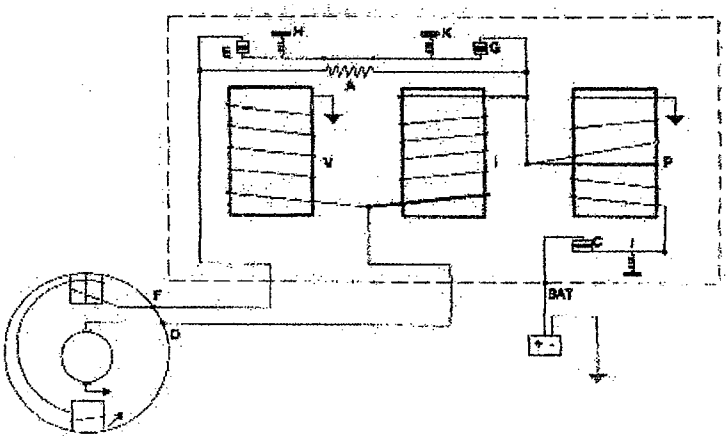
Se desprende de lo anterior que el mantenimiento del voltaje y la corriente dentro de los márgenes depende de la tensión mecánica que tengan los muelles antagonistas K y L de los que depende el ajuste de sensibilidad del regulador.

1.3.4. Regulador de voltaje y corriente con excitación a tierra

La diferencia entre este y el anterior estriba en el camino del circuito de las bobinas inductoras.

Como se muestra en la figura 7 en este tipo de regulador las inductoras absorben corriente de un punto cualquiera del circuito de carga, pasa por los contactos G y E que son normalmente cerrados y finalmente llega a la dínamo por medio del borne F, su funcionamiento es semejante al del sistema anterior.

FIGURA 7. Regulador de voltaje y de corriente con excitación a tierra



Al aumentar la corriente saliente de la dínamo por el borne D, esta atraviesa el solenoide de intensidad I, que crea un campo magnético de magnitud tal que atrae la placa móvil de los contactos G, que obliga a la corriente de las bobinas inductoras a recorrer su retorno a tierra por la resistencia R, con una reducción de la corriente generada, se produce entonces una regulación de corriente. Si se presenta un aumento de tensión, la regulación de voltaje se manifiesta igual que en el caso anterior.

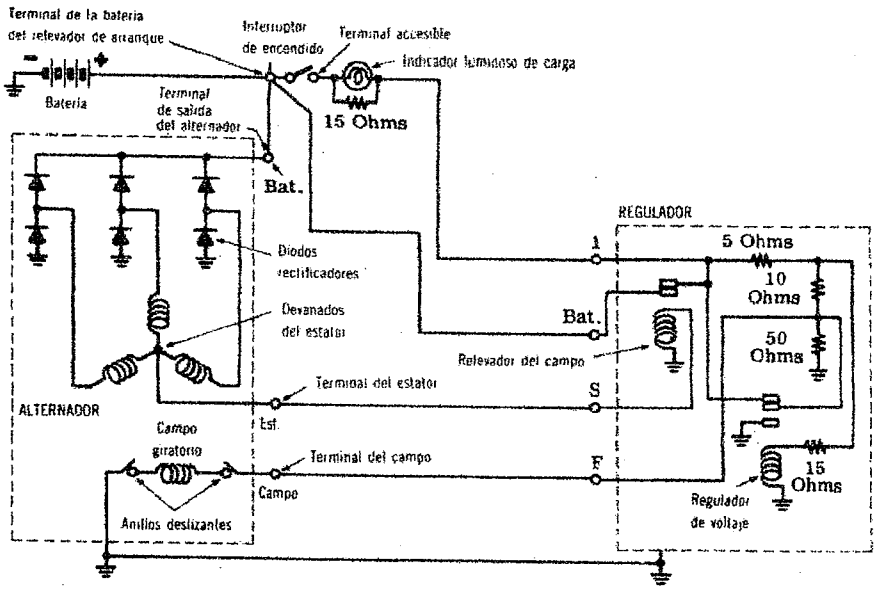
La diferencia como ya se mencionó, es que en el anterior las inductoras toman corriente de la escobilla positiva y cierran circuito a tierra en el regulador, previo haber pasado por los contactos, en este regulador la corriente se toma de cualquier punto del circuito de carga y a través de los contactos pasa a las inductoras, haciendo tierra en la carcaza de la dínamo después de atravesarlas; de lo anterior se deduce que ambos reguladores no son intercambiables.

1.4. Sistemas de regulación de voltaje para alternadores

1.4.1 Regulador electromagnético

Conocido como regulador de contactos vibratorios, la configuración más utilizada se muestra en la figura 8.

FIGURA 8. Regulador para alternador de tipo electromagnético típico



Fuente: Electricidad básica, Tomo V, Van Valkenburgh, página 154.

El circuito típico es un alternador con estator trifásico conectado en estrella, el cual alimenta al rectificador en puente de onda completa para producir d.c. pulsante. La batería actúa como un gran capacitor y estabiliza las pulsaciones de tal modo que se obtiene una salida casi libre de rizado. Existe también una ayuda en la reducción del rizado en el circuito trifásico ya que en su salida de corriente directa pulsante existen seis pulsaciones traslapadas por ciclo.

Se tiene entonces una salida de corriente directa del conjunto alternador-regulador que puede ser controlada variando la excitación del devanado de campo sobre el rotor que se encuentra alimentado por los anillos deslizantes. El regulador de voltaje de lengüeta vibratoria controla la corriente de campo y por lo tanto la salida del alternador.

El regulador conmuta resistencias conectándolas o desconectándolas del circuito de campo. El relevador de campo cierra cuando el alternador comienza a entregar potencia y aplica el voltaje pleno de la batería al regulador de voltaje.

Cuando se cierra también coloca en corto circuito a la luz piloto de carga. Antes de que el alternador entregue potencia, la corriente de campo fluye por el piloto y la resistencia en paralelo de 15 ohmios al piloto se ilumina debido al flujo de corriente que lo atraviesa.

Sin embargo, al estar el alternador entregando potencia, se cierra el relevador de campo, y queda eliminado el indicador piloto de carga, Como esta situación se da solamente cuando se cierran los contactos del campo, proporciona una indicación de que el sistema eléctrico esta operando correctamente (al estar apagado).

1.4.2. Reguladores electrónicos

Se ha logrado con los avances tecnológicos, sustituir los sistemas electromecánicos, por otros de tipo electrónico, que son más eficaces, seguros y precisos; con el agregado de un ajuste más sencillo y de mayor duración, en los cuales el efecto regulador se lleva a cabo por medio de semiconductores especiales que son manejados por circuitos de muestreo apropiados.

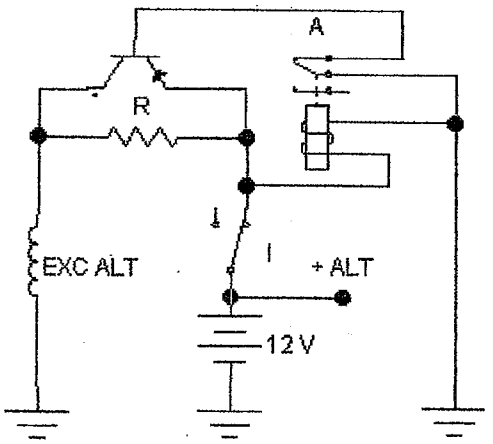
Los circuitos electrónicos de regulación pueden clasificarse según sus componentes, de tal suerte que se tienen:

1) Reguladores de voltaje tipo híbrido (electrónico-electromecánico)
2) Reguladores totalmente electrónicos

1.4.2.1. Reguladores híbridos

La idea fundamental de este tipo de reguladores es la de mejorar el desempeño y durabilidad que presentan los reguladores electromagnéticos, evitándose el desgaste y desajuste tan frecuente en los mismos, utilizándose para este fin semiconductores y una circuitería asociada. Una configuración muy utilizada se muestra en la figura 9.

FIGURA 9. Regulador para alternador de tipo híbrido



La corriente de excitación es controlada por el transistor, el cual se encuentra en función de conmutador, ya que se encuentra en saturación dura, el circuito de control es el de emisor-base que se halla ligado al contacto móvil que puede ser atraído por el campo magnético producido por el solenoide A, el que a su vez verifica el voltaje a la salida del alternador.

Con un régimen normal de carga, el campo magnético producido en el solenoide A no es le suficientemente fuerte como para separar a los contactos del relé, entonces la unión emisor-base se halla en polarización directa y por consiguiente al estar el colector a un potencial negativo, se establece un paso de corriente principal entre emisor y colector (el transistor se halla saturado severamente), que alimenta al rotor del alternador.

Si eventualmente aumenta el voltaje a la salida del alternador con referencia a los limites permitidos (aproximadamente entre 12 y 13.8 voltios a altas revoluciones), el campo magnético en el solenoide A alcanza una magnitud tal que si puede separar los contactos del relé, con lo que el transistor queda al corte, precisando pasar la corriente de excitación a través de la resistencia R con lo que el voltaje producido baja (se produce la regulación), entonces se presenta la reacción inmediata del circuito que tiende a cerrar los contactos del relé con lo cual se repite la secuencia anterior.

El aporte del transistor esta en el hecho de que ahora él es quien maneja la totalidad de la corriente de excitación, remitiéndose los contactos a manejar una corriente mucho menor que su análogo totalmente electromagnético, lo que se aumenta la duración de los mismos al no haber chispeo.

Además, está la ventaja del manejo de una corriente de excitación mayor con este sistema ya que los sistemas totalmente electromecánicos pueden manejar una corriente comparativamente menor.

Su mayor desventaja reside en el hecho de que su ajuste sigue siendo estrictamente de tipo mecánico, ya que su sensibilidad esta determinada por la tensión mecánica del brazo del relevador.

1.4.2.2. Reguladores completamente electrónicos

Debido a que las piezas en los relés están sometidos a diversos fenómenos físicos: inercia de sus piezas (efecto que aumenta gradualmente con la rapidez del movimiento efectuado en ellas), esfuerzos mecánicos (fatiga del material), desgaste por chispeo, oxidación, desalineamiento, etc.; y el principio de funcionamiento de los reguladores electromagnéticos es el cierre y apertura de los contactos (vibración), al aumentar en frecuencia comienza a producir fallos en su accionar; para solventar dichos defectos se busco una alternativa que lograra aparte de una minimización de los inconvenientes citados, una buena regulación de voltaje, dicha alternativa fue hallada en forma muy satisfactoria con la utilización de los semiconductores de potencia.

La subclasificación de los reguladores de este tipo es la siguiente:

a) Regulador electrónico transistorizado
b) Regulador por tiristores
c) Reguladores por circuitos integrados específicos

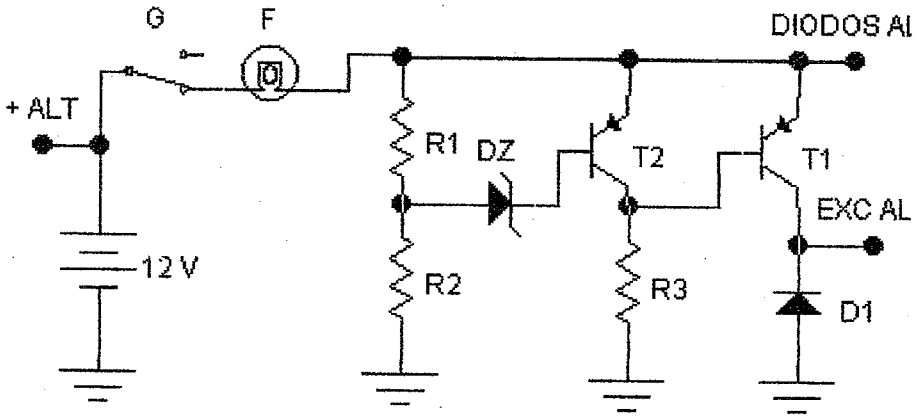
1.4.2.2.1. Regulador transistorizado monoetapa

En orden cronológico son los siguientes a los de tipo híbrido, aparecen en la década de los sesenta, sus primitivos modelos basaban su funcionamiento en transistores como elementos de control y diodos Zener como elemento de referencia de voltaje.

Lo más común es hallarlos hechos con componentes discretos montados en una placa de circuito impreso, de lo cual se deduce que este tipo de regulador es susceptible a ser reparado (sin embargo, se verán mas adelante algunos reguladores que no admiten reparación alguna), dicha placa se halla dentro de una envoltura metálica mecanizada de forma tal que además de proporcionar robustez física sirva como disipador de temperatura para el transistor de potencia. El regulador puede hallarse físicamente unido o separado al alternador.

Para ilustrar la idea básica del uso de los semiconductores en la regulación de voltaje automotor, se tiene en la figura 10 una topología básica.

FIGURA 10. Regulador transistorizado monoetapa



Consta, básicamente, de dos transistores conectados en configuración Darlington, denominados T1 (transistor de potencia PNP) y T2 (transistor driver o de mando PNP), el diodo Zener (DZ) que da la referencia de voltaje, el diodo de silicio D1 que protege al circuito de altos voltajes inversos, ya que se trata de un circuito fuertemente inductivo el que maneja (el rotor del alternador), y para polarizaciones y limitaciones de corriente las resistencias R1, R2 y R3.

El funcionamiento es el siguiente: se asume que el interruptor de llave G se encuentra inicialmente abierto, el motor esta parado y el circuito no está energizado, al cerrarse este se da paso a la corriente proveniente de la batería, la cual alimenta a la lampara piloto F, para después establecer el circuito de excitación a través de T1 del rotor, el cual en estas condiciones se halla en el valor máximo de flujo magnético. La corriente que proviene del borne positivo de la batería pasa por el emisor de T1, al haber en su base una tensión negativa, se produce un paso de corriente entre emisor y colector con lo cual esta corriente principal puede llegar al borne de excitación (EXC AL) y pasar a alimentar al devanado del rotor en el alternador. Con estas condiciones, el transistor T2 se mantiene al corte con una polarización positiva en su base por medio del diodo Zener DZ.

Al ponerse en marcha el motor de combustión interna, el alternador obtiene fuerza mecánica para mover su rotor lo cual unido a la excitación eléctrica previamente proporcionada al mismo se obtiene inducción de corriente en el estator, los diodos de campo alimentan ahora al regulador, presentándose al mismo tiempo una referencia de la tensión disponible en bornes del generador.

Mientras la tensión se mantenga por debajo de la cota superior permitida (típicamente entre 13,8 y 14,7 voltios, según el fabricante), la alimentación al rotor se produce a través de T1, al haber un alza de tensión el Zener llega a su punto de voltaje de ruptura con lo que permite un paso de corriente en un período de tiempo muy pequeño del borne positivo de la batería a través de T2, ya que la base de este se polariza negativamente al producirse el cebado del Zener; al pasar la corriente de T2 entre su emisor y su colector se produce una polarización positiva en la base de T1 y éste entra a corte, bloqueando la corriente de excitación para el alternador (EXC AL).

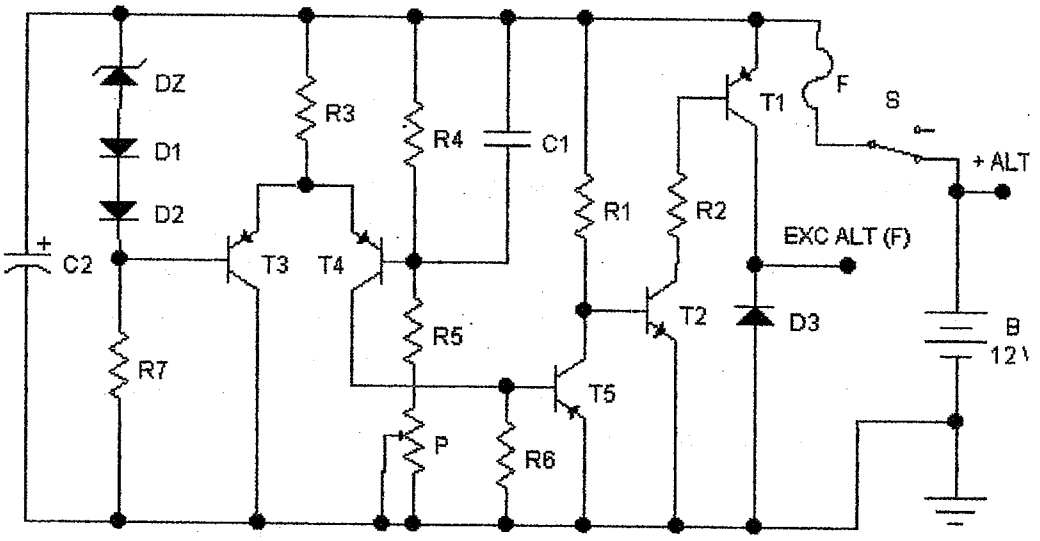
Al quedarse sin voltaje de excitación, el alternador tiende a no producir tensión a su salida con lo cual el voltaje cae por debajo del voltaje umbral, produciéndose el bloqueo del diodo Zener DZ, entonces el transistor de potencia T1 pasa al estado de conducción, y la excitación del alternador se restablece.

Se observa que para llevar a cabo la regulación de la tensión aplicada al circuito de excitación del alternador, se evita el uso de componentes mecánicos susceptibles de desgaste y desajustes.

1.4.2.2.2. Regulador transistorizado de dos etapas

Este regulador supone un adelanto en lo que a desempeño y sensibilidad se refiere, en comparación al anterior de una sola etapa, su topología se muestra en la figura 11, lo cual facilitará su posterior análisis.

FIGURA 11. Regulador transistorizado de dos etapas



Los componentes periféricos que están interconectados con el circuito electrónico en sí son, la batería (B) y el conjunto de bobinados del inducido del motor con su respectivo puente de rectificadores (entrada +AL) y el interruptor de llave (S), al cerrarse este ultimo el paso de corriente se da a la batería por medio del fusible F, y llega por medio de la resistencia R1 a la base del transistor T2, que entra en conducción.

Por consiguiente, se establece una polarización negativa de la base de T1 por medio de R2, con lo que T1 que es el transistor de potencia entra también a conducción, alimentándose por su medio a la excitación del alternador.

Con las mencionadas condiciones se establece plena corriente en la excitación, en espera de recibir fuerza mecánica en el eje para comenzar la generación de corriente.

Simultáneamente, existe tiene una corriente positiva, que pasa a través de R3 para permitir la circulación de corriente entre emisor y colector del par de transistores PNP T3 y T4, T3 está en conducción para casi toda la corriente, que va a tierra por la base a través de R7, la corriente principal se desvía también a tierra.

Dadas estas condiciones, la corriente circulante entre el emisor y el colector de Q4 es casi nula, debido a que su corriente de base es muy baja por la limitación que da el divisor de voltaje variable dado por la red resistiva compuesta por R4, R5 y el potenciómetro de ajuste P, entonces la corriente en la base de T5 es nula.

Al arrancar el motor de combustión interna, el giro del eje del alternador, tiende a aumentar el voltaje generado a la salida de este con lo que el diodo Zener DZ polariza positivamente la base del transistor T3, y este al ser de tipo PNP se pone en corte. Con estas condiciones T4 se polariza mucho más, de tal suerte que tiende a conducir polarizando la base de T5 negativamente, entrando en conducción; lo anterior produce que haya una caída de tensión sobre T2, esto provoca a su vez la corriente se deriva a tierra a través de T5, T1 entra al corte y por consiguiente la alimentación para el bobinado de excitación se corta, como resultado la tensión a la salida del alternador decrece.

Al llegar el nivel del voltaje a un valor por debajo del umbral del diodo Zener, éste se bloquea y la tensión en la base de T4 se queda por debajo de la de T3 con lo que conduce menos. Con ello T5 se queda al corte, volviéndose a las condiciones iniciales, es decir, que el bobinado de excitación vuelve a ser alimentado; este ciclo se repite continuamente, de modo tal que el voltaje se mantiene en un valor aceptable dentro de cierta tolerancia.

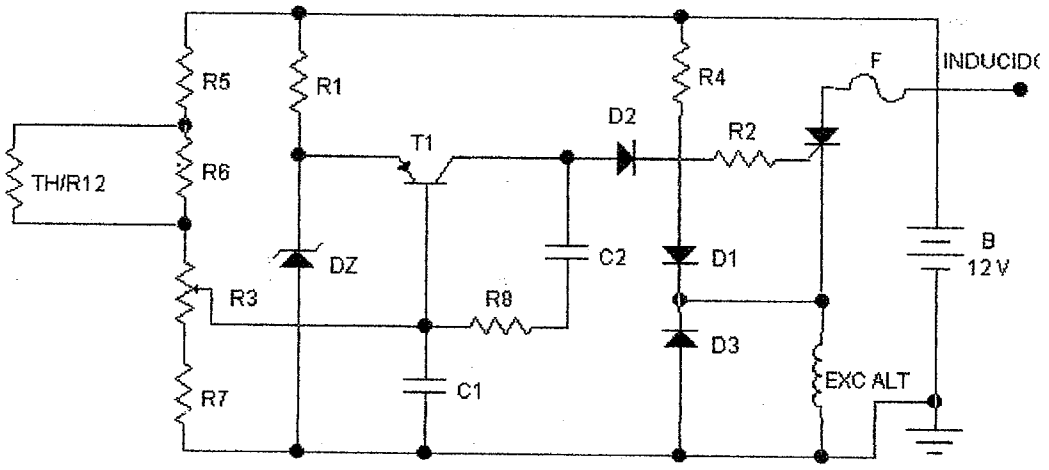
El diodo D3 protege al circuito de la inducción en sentido inverso que se produce al cesar el giro del rotor, ya que puede verse que al estar en funcionamiento normal se halla polarizado inversamente, pero al cesar el movimiento del eje del motor de combustión interna, el bobinado de campo eléctricamente se comporta como una fuente de corriente con polaridad inversa a la que produjo el campo magnético sobre ella (ley de Lenz), lo que somete al transistor a una tensión entre colector y emisor que probablemente lo dañaría, pero al estar el diodo D3 en estas condiciones polarizado directamente, extingue rápidamente el transitorio.

El condensador C1 evita que fluctuaciones rápidas en el circuito de alimentación, provoquen funcionamientos erróneos del circuito de cebado del transistor de potencia, es decir, se trata de un eliminador de tensiones parásitas, el potenciómetro P tiene como función fijar el punto de disparo del regulador, su ajuste de este se detallará en una sección posterior.

1.4.2.2.3. Regulador por medio de tiristores

Como una solución electrónica más al problema de una regulación de voltaje confiable, se presenta una alternativa con el uso de sistemas con tiristores (generalmente SCRS), una de las configuraciones mas utilizadas es la que se gráfica en la figura 12.

FIGURA 12. Regulador basado en rectificador controlado de silicio



El efecto de regulación se obtiene al gatillar convenientemente al SCR de forma tal que se module la corriente que por su medio conmuta al devanado de excitación del alternador, por su respectivo circuito de cebado. La red que alimenta inicialmente a la excitación es la formada por la resistencia limitadora de corriente R4 y el diodo D1, la corriente que recorre esta red es de baja magnitud y su función es la de proporcionar la corriente necesaria, para poder iniciar la generación de corriente.

Se tiene la alimentación del circuito del tiristor que proviene del alternador (IND), con una protección de sobrecorrientes por el fusible F. La corriente de alimentación como ya mencionamos es controlada por el tiristor que hace las veces de un transistor de potencia, con la particularidad de que esta corriente es proporcional a la producida a la salida del generador ya que proviene del inducido. El tiristor es manejado por medio de los pulsos de corriente aplicados a su compuerta (gate), provenientes del transistor de control T1, el cual los produce al recibir la corriente del positivo de la batería a través de la resistencia R1 con lo que entra en conducción, el diodo de paso D2 y la resistencia limitadora R2 alimentan a la compuerta desde el colector de T1.

El control de dicha corriente se efectúa por medio de un potenciómetro (R3), que puede ajustar la corriente de base de T1. Cuando la corriente aumenta de magnitud, el diodo DZ1 se dispara y ofrece el mejor paso hacia los bornes de la batería por su medio y R1, el transistor T1 se queda al corte, sin aplicar a su vez corriente alguna a la compuerta del tiristor.

El SCR seguiría conduciendo puesto que no se ha producido que pase una cantidad inferior de corriente que su corriente mínima de mantenimiento (Ihold), pero debido a que el tiristor maneja una corriente alterna, sin rectificar y procedente de una sola fase del inducido trifásico, al haber una variación de voltaje de una a otra semionda y sin corriente de compuerta, el SCR deja de conducir cortando la corriente de excitación.

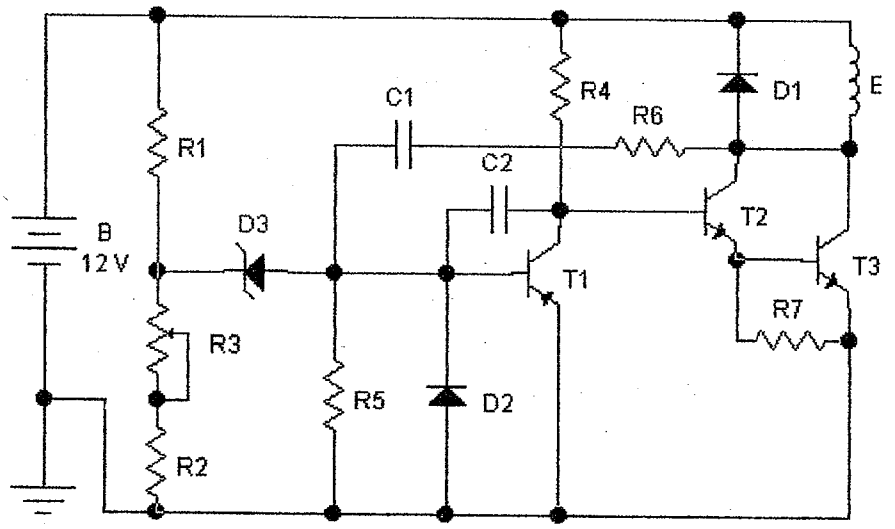
El divisor compuesto por las resistencias R3, R5, R6 y R7, presenta en su configuración un termistor puesto en paralelo con R6, el cual compensa los cambios de temperatura cuando el regulador funciona. El capacitor C1 actúa como un estabilizador de la tensión de la base de T1 y el resistor R8 en serie con C2 constituyen un circuito de reacción.

Como puede observarse este sistema presenta un funcionamiento muy elaborado, sin embargo, no mejora por mucho los resultados obtenidos con los reguladores transistorizados, lo que los hace poco utilizados en la práctica.

1.4.2.2.4. Reguladores de voltaje con circuitos integrados

Este tipo de regulador es, de hecho, el más utilizado en la actualidad, tiene un circuito integrado que contiene un montaje tipo Darlington miniaturizado de tal manera que puede ser colocado en el interior del alternador, de tal suerte que, los fabricantes masivos de alternadores pueden ofrecer una maquina además de sólida mecánicamente, potente y segura, la cual puede generar corriente con muy pocas vueltas del eje de la maquina, puede asimismo soportar condiciones de giro extremas, proporcionando al mismo tiempo el voltaje a su salida ya rectificado y regulado. Para efectos de análisis, en la figura 13 se grafica una configuración típica del mismo.

FIGURA 13. Regulador que emplea un transistor en configuración Darlington



El punto clave de este regulador es el transistor en configuración Darlington, el cual presenta las siguientes ventajas a un transistor de regulación único:

a) La corriente de base en un transistor de potencia, no contribuye a la corriente de colector, en el Darlington se da una devolución de la corriente de base al circuito de colector.

b) Los transistores se dividen la cantidad de corriente que deben de manejar, que implica que se requiere de dos componentes de potencia media, en lugar de uno solo de alta potencia.

c) El calor generado de una configuración en Darlington es comparativamente menor al generado por un transistor único.

El funcionamiento del circuito completo, es el siguiente: al establecerse contacto por medio del interruptor de llave, se polariza positivamente la base del transistor Darlington a través de R5, este conduce y la corriente pasa por él hacia el bobinado de excitación del alternador, con un máximo de corriente hacia el mismo.

Al comenzar a recibir rotación en el eje del alternador y llegar a una velocidad angular tal que produce un voltaje que pasa el nivel de regulación del diodo Zener de referencia DZ, este se ceba creándose un paso de corriente que polariza positivamente a la base del transistor de control T1.

Al entrar éste en conducción, se establece en su colector un voltaje negativo, dado esto el Darlington se bloquea y el bobinado de excitación queda sin corriente. Al existir estas condiciones finales se da una caída del voltaje inducido, y el diodo Zener deja de conducir en sentido inverso, con lo que se tienen las condiciones iniciales.

Al producirse una consecución de los pasos anteriormente descritos, se obtiene un voltaje de salida estable, es decir, se obtiene una regulación dentro de los limites permitidos. Puede observarse un elemento que es casi una constante entre los diversos tipos de reguladores electrónicos, se trata del divisor de voltaje integrado por el conjunto de resistencias R1, R2 y R3, siendo estas dos ultimas ajustables, que determinan el punto de disparo del diodo Zener de una manera permanente.

Los componentes periféricos tales como el diodo D1 tiene la función de protector de las descargas de autoinducción que se producen al detenerse el alternador, mientras que el diodo D2 es una protección contra las sobretensiones; la red formada por el capacitor C1 en serie con el resistor R7 procuran el mejoramiento de las características de conmutación de los transistores al darle referencias de frecuencias de funcionamiento más altas con la consiguiente disminución del calentamiento del conjunto. El capacitor C2 sirve para atenuar las interferencias generadas en el circuito que puedan afectar el rango radioeléctrico, es decir es un supresor de Interferencia de Radio Frecuencia (IRF o RFI por sus siglas en inglés).

1.5. Ajustes en los sistemas de regulación

1.5.1. Sistema con dínamo

El ajuste que se detalla debe seguir el orden riguroso en el que se presenta ya que un ajuste incide sobre el siguiente.

El ajuste puede llevarse a cabo en dos situaciones: primera, en el banco de pruebas, para lo cual se efectúan las conexiones eléctricas de forma idéntica que las existentes en el vehículo, y se le proporciona giro al eje de la dínamo por medio de un motor auxiliar apropiado, y, segunda, en el propio auto; en ambas situaciones se aplica el método siguiente.

Se conecta un voltímetro en una escala conveniente que sobrepase los 20 voltios de corriente directa (de preferencia analógico, para poder observar fielmente los cambios que se produzcan), con su borne positivo al terminal de dínamo (D) y su borne negativo a tierra; posteriormente se intercala un amperímetro (analógico también), que debe poseer cero central y con excursiones extremas mínimas de 30 amperios, su colocación se verifica entre el cable que conecta al borne de batería del regulador (borne B) y el terminal positivo de la batería.

Primeramente, teniendo el arreglo detallado se retira la tapa del regulador y se pone el motor del auto en marcha, se procede a acelerarlo progresivamente hasta lograr que los contactos del disyuntor se unan, y se mide el voltaje al cual ocurre tal acción, este debe ser aproximadamente de 13.2 voltios para instalaciones de 12 voltios (6.6 voltios para instalaciones de 6 voltios), se tiene al mismo tiempo una deflexión en la aguja del amperímetro. Si no se produce la activación en este voltaje, se efectúa un cambio de tensión en el muelle del disyuntor, de manera tal que se le da mas tensión mecánica si se cierran en un voltaje inferior, o menos tensión si se cierran con un voltaje mayor.

En segundo término se procede al ajuste del regulador de voltaje, para lo cual se acelera el motor de una forma progresiva y se observa al mismo tiempo el voltímetro, el voltaje deberá ir aumentando su valor mostrado en el voltímetro hasta un punto en el cual ya no habrá cambio, tal voltaje limite debe ser aproximadamente el voltaje estipulado por el fabricante (típicamente es de 15 y 7.5 voltios en sistemas de 12 y 6 voltios respectivamente). Si se tiene una lectura diferente, se procede a actuar en el muelle del regulador de voltaje de manera tal que si se tiene un voltaje inferior se le da una mayor tensión mecánica, y si se tiene un voltaje mayor se le da una menor tensión.

El tercer punto de ajuste es la corriente de carga de la dínamo, se acelera nuevamente el motor y se observa al amperímetro, el cual mostrará una carga en aumento, hasta llegar un punto en que al acelerar mas no se produce cambio alguno en la lectura de carga, dicho punto debe ser aproximadamente el indicado por el fabricante (aunque tal punto depende de varios factores, por ejemplo la capacidad en amperios-hora de la batería), si no se tiene esta información, un valor típico es de 15 a 20 amperios en un sistema de 12 voltios (7.5 a 10 amperios en un sistema de 12 voltios).

1.5.2. Sistemas con alternador

Los reguladores para estos sistemas son solamente para mantener el voltaje dentro de limites establecidos, ya que la intensidad es regulada automáticamente por las características intrínsecas del alternador.

El efecto de regulación de corriente se da porque si se tienen unas corrientes salientes en las tres fases del alternador, estas producen un campo magnético que se opone a la corriente inducida (Ley de Lenz), produciéndose una reducción en la corriente resultante; se tiene un refuerzo en la regulación de corriente en el hecho de que si existe un aumento en las revoluciones del motor se produce un aumento en la autoinducción.

Existiendo diferentes sistemas para lograr la regulación, se explicará el ajuste de los más utilizados en la práctica.

1.5.2.1. Sistema electromagnético

Con el sistema normalmente instalado en el automóvil y con la certeza de que el alternador se halla en buenas condiciones se procede a destapar al regulador y dejarlo accesible para su manipulación, después de lo cual se conecta un voltímetro de d.c. entre el borne de batería del alternador y tierra, se arranca el motor y se acelera comprobándose al mismo tiempo las lecturas en el instrumento, estas no deben exceder los 14 voltios, si se tiene un valor mayor debe de disminuirse la tensión mecánica en el muelle de la bobina sensora de voltaje, de tal manera que se produzca más fácilmente la operación de ésta y propicie mas rápidamente el efecto regulador sobre la corriente de campo, debiéndose graduar cuidadosamente la fuerza del muelle de manera tal que no se produzca un decremento excesivo en el voltaje obtenido a su salida.

1.5.2.2. Sistema electromecánico asistido electrónicamente y sistemas de regulación completamente electrónicos

En estos sistemas el punto de regulación de voltaje es fijado por una resistencia ajustable, la cual es generalmente accesible desde el exterior por medio de una ventana provista en el cuerpo del regulador, por lo cual solo se requiere la conexión de un voltímetro al terminal de batería del alternador.

Se verifica la lectura del instrumento al correr el motor aproximadamente a la velocidad taquimétrica de 2000 r.p.m., la cual no debe sobrepasar los 14 voltios, si se tiene un valor superior a este se procede a actuar sobre el cursor de la resistencia ajustable hasta que se obtiene el valor de voltaje recomendado por el fabricante (típicamente 13,8 voltios).

1.6. Pruebas de los dispositivos en los sistemas de carga

1.6.1. Prueba dinámica de la dínamo

Como primera medida se comprueba si la dínamo produce f.e.m., para esto no se requiere el desmontaje de la misma del auto, se procede a la desconexión de los bornes que van hacia el regulador (los bornes D y F), determinándose ahora a cual tipo corresponde la dínamo bajo prueba, si es del tipo de excitación a corriente se conecta el borne F a tierra y se conecta una lámpara de 25 vatios entre el borne D y tierra, se arranca el motor, la lámpara debe de encenderse si la dínamo se halla en buen estado.

Si se trata del tipo de excitación a masa, se hace un puente entre los bornes D y F, ahora conectándose la lampara de 25 vatios entre tal puente y tierra, la prueba de aquí en adelante es idéntica a la anterior (si se desconoce el tipo de dínamo, se procede a efectuar ambas pruebas, sí ninguna de estas da resultado positivo, se tiene la dínamo defectuosa).

Si se tiene resultado positivo de las pruebas anteriores, la dínamo probablemente esté bien, procediéndose a asegurarnos siguiendo las comprobaciones conectando un amperímetro entre el borne de carga y el borne D del regulador, si se tiene una dínamo con excitación a corriente se pondrá el borne F directamente a tierra, con una dínamo con excitación a tierra, el borne F se une al borne D de la dínamo.

Se procede a continuación a acelerar el motor, debe obtenerse una lectura en el amperímetro superior a los 10 amperios, si se tienen resultados positivos, se procede a medir el voltaje entre el borne D de la dínamo y tierra, el cual debe ser superior a los 16 voltios; si no se tienen estos resultados, la dínamo está defectuosa, en caso contrario, el defecto se halla en el regulador.

Si se sospecha de la dínamo, se procede a hacer una prueba dinámica de la misma, se le retira la faja del eje, y se conecta el negativo de la batería a tierra, y el positivo de la misma al punto D en el caso de una dínamo de excitación a corriente, uniéndose asimismo el borne F a tierra o a un puente entre los bornes D y F si se trata de una dínamo con excitación a tierra.

Debe producirse la rotación del eje de la dínamo en el mismo sentido en el que el motor del auto la hace girar cuando funciona, de no producirse esto, se procede a desmontarla y a practicarle pruebas de banco (estáticas).

1.6.2. Prueba estática de la dínamo

Primeramente, se desarma la máquina, se limpia con un solvente liviano (kerosene o similar); posteriormente, se somete a una inspección visual, para determinar la presencia de defectos evidentes, los que incluyen holguras entre el eje del inducido y sus respectivos cojinetes, deformaciones en el eje, masas polares flojas o desgastadas, desgaste excesivo en el colector y escobillas (carbones), pérdida de presión en los muelles de las escobillas, etc.

Después de reparar todo defecto mecánico encontrado, se comprueban los bobinados, utilizándose un medidor de aislamiento (megger de aislamiento), un voltímetro, un ohmetro, un amperímetro y una batería de tensión adecuada a la dínamo bajo prueba.

Para probar las inductoras se desconectan completamente las mismas, y efectuando la prueba con el medidor de aislamiento entre sus terminales y tierra (debe marcar tendiendo a infinito); posteriormente, se le comprueba su continuidad con el ohmetro en escala baja (Rx1), la cual no debe de exceder de algunos ohmios.

Después se prueba si existe o no cortocircuito en las bobinas inductoras, para lo cual se conecta la batería, el amperímetro y las bobinas en disposición serie. Las medidas en el amperímetro deben ser de aproximadamente de 3 a 6 amperios para dínamos de 12 voltios y de 3 a 5 amperios para dínamos de 6 voltios, si existieran lecturas superiores, se tiene un corto circuito en tales bobinas.

Al inducido se le prueba su aislamiento respecto a tierra con el megger, su continuidad, y se le somete a prueba de cortocircuito, aplicándole 2 voltios DC (el voltaje de una celda de batería), al portaescobillas aplicado a las delgas del inducido, intercalando al amperímetro, se gira entonces lentamente el eje debiéndose tener siempre lecturas en el rango entre 5 y 10 amperios.

1.6.3. Prueba de alternadores

Para hacer una prueba válida con el fin de conocer el estado del alternador, se desconecta a éste de sus conexiones externas y se aplica un voltímetro con su punta positiva conectada al borne positivo del alternador y su punta negativa a tierra, se aplica el voltaje de la batería al borne de excitación del alternador, y con el motor en marcha se procede a efectuar la lectura del voltímetro, la cual debe llegar a dar un valor superior a los 20 voltios. Si no se tiene este resultado se procede al desarme del alternador para determinar la causa de su fallo. Ya que con estas circunstancias no existe regulación en el circuito, puesto que no se esta conectado al circuito de regulación de voltaje, esta prueba debe ser tomada a la brevedad posible, ya que si se tiene en funcionamiento al alternador un tiempo considerable se corre el riesgo de dañar alguno de los diodos del puente rectificador trifásico.

Posterior al desarme de la carcaza exterior del alternador se procede a hacer las pruebas en el rotor, con un ohmetro en escala baja (Rx1) se mide la continuidad entre cada uno de los anillos al principio y fin de la bobina (colectores), debiendo existir una pequeña resistencia en el mismo.

En caso contrario, se tiene un rotor en circuito abierto (requiere reembobinado), seguidamente en escala alta (Rx1000 o más) se prueba el aislamiento de la misma bobina respecto al núcleo metálico que la contiene, poniéndose una punta del instrumento en contacto con el cuerpo metálico del rotor, mientras la otra se aplica a uno de los anillos del colector, debiendo de existir una lectura de resistencia infinita.

Se pasa a probar a continuación, el estado del bobinado de un punto de vista de que tan bien se halla el aislamiento interespiras, que de hallarse en buen estado garantiza un flujo magnético apropiado, para tal fin se forma un circuito serie con la batería apropiada (6 o 12 voltios según el alternador), un amperímetro de corriente directa y la bobina del rotor, con tal arreglo se debe tener una lectura aproximadamente de 7 amperios, si se tiene un valor mayor, la causa es que se tienen cortocircuitos entre espiras (también requiere reembobinado).

Seguidamente procede la prueba del estator, la cual se inicia con la desconexión de los terminales del mismo del puente rectificador; posteriormente, se conecta un ohmetro en escala baja a los terminales de cada una de las bobinas de cada fase en el estator (3 bobinas en total), debiéndose obtener medidas de baja resistencia, de lo contrario el bobinado se halla abierto debiéndose reembobinarse.

Se mide, a continuación, el aislamiento entre los bobinados y el núcleo del estator; para lo cual se coloca el ohmetro en escala alta y se aplica una de las puntas fija al núcleo en un punto que provea un buen contacto eléctrico, la otra se aplica a uno de los terminales de cada bobina de fase (indistintamente cual), debiéndose obtener lecturas de resistencia eléctrica infinita, de lo contrario se tiene aterrizado el bobinado lo que significa un reembobinado de la unidad.

Se efectúan seguidamente las mediciones del estado de cada uno de los diodos que conforman el puente rectificador trifásico, lo que conlleva una prueba de 6 diodos, dependiendo del tipo de sistema, los diodos se pueden tener en forma individual, por pares, o en bloque único.

1.7. Método de detección de fallas en sistemas de regulación

Para poder tener un método de fácil aplicación en la práctica, se hará uso del sistema de presentación del síntoma dando sus principales manifestaciones a continuación se enumeran las probables causas en orden de mayor a menor probabilidad, seguido de la acción a tomar para su reparación (cuando se mencione prueba o ajuste de dispositivos debe remitirse a la sección correspondiente en este capítulo).

1.7.1. El sistema no carga

Manifestación del defecto:

La batería no logra impulsar el motor de arranque después de un lapso de tiempo corto de inactividad del motor de combustión interna, el voltímetro marca un valor menor al especificado, el amperímetro marca carga cero o descarga, los aparatos conectados al sistema presentan un mal funcionamiento.

Posibles causas:

1) Batería agotada.
2) Faja del generador floja o rota.
3) Circuito de carga con interrupción.
4) Generador defectuoso.
5) Regulador mal ajustado.
6) Regulador defectuoso.

Acciones por seguir:

1) Verificar datación de la batería, comprobar con hidrómetro el estado de cada una de las celdas.
2) Apretar o reemplazar la faja, con la tensión recomendada por el fabricante.
3) Verificar estado de conexionado y aislamiento en el circuito (terminales y bornes).

4) Aplicar prueba al generador.
5) Ajustar según las especificaciones.
6) Aplicar prueba al regulador, repárese o reemplazase.

1.7.2. El sistema presenta carga muy baja

Manifestación del defecto:

La batería no retiene carga, de forma tal que no puede accionar al motor de arranque después de una noche de inactividad, el amperímetro marca una carga baja, el voltímetro muestra una lectura cercana a los 12 voltios con el motor desarrollando alrededor de las 2,500 r.p.m..

Posibles causas:

1) Alta resistencia en el circuito de batería.
2) Faja del generador floja.
3) Regulador mal ajustado.
4) Generador defectuoso.

Acciones a seguir:

1) Limpieza de bornes-terminales de batería.
2) Apretar faja según las especificaciones.
3) Ajustar regulador según especificaciones.
4) Comprobar estado del generador.

1.7.3. El sistema sobrecarga

Manifestaciones del defecto:

La batería requiere constantemente del llenado de sus celdas con electrolito.

Además, los accesorios eléctricos conectados tienden a fundirse, en especial los dispositivos del sistema de alumbrado, al acelerar y estar las luces prendidas éstas presentan un aumento en su luminosidad.

Posibles causas:

1) Regulador mal ajustado.
2) Regulador defectuoso.
3) Conexiones flojas.
4) Aterrizado defectuoso de la base del regulador.
5) Generador defectuoso.

Acciones por seguir:

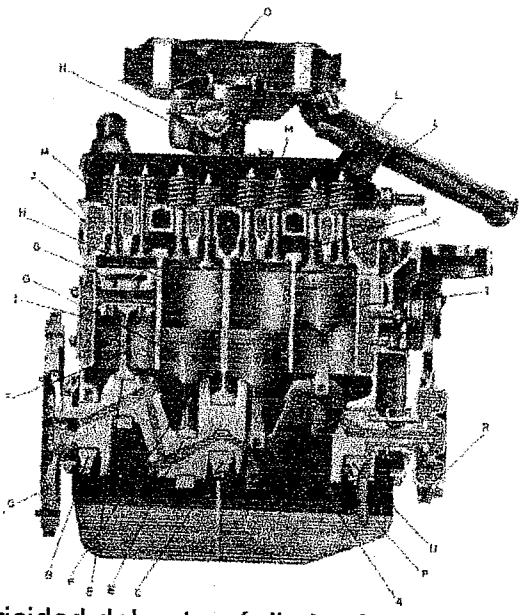
1) Verificar ajuste del regulador.
2) Verificar estado del regulador.
3) Apretar o limpiar conexiones.
4) Apriete y limpie el cuerpo del regulador y la parte del chasis que hace contacto con el mismo.
5) Verificar generador.

2. SISTEMAS DE IGNICIÓN AUTOMOTRIZ

2.1. Perspectiva y requerimientos del sistema

El motor de automóvil, corresponde al tipo de combustión interna, lo que significa que se produce la inflamación de algún material dentro del mismo, e implica que deben de existir dos factores básicos: uno, un sistema que provea el combustible convenientemente dosificado y, dos, un modo práctico de quemar dicho material; ambos factores son en tal caso la mezcla aire-gasolina previamente dosificada y aplicada a un punto especifico y el sistema de ignición del automóvil el encargado de inflamar dicha mezcla en un momento determinado. Del factor de dosificación y aplicación de la mezcla se ocupa el capítulo posterior, el factor de ignición es tratado en éste. Para conocer como es que opera el sistema de ignición en un motor de combustión interna, se requiere tener una idea general de como funciona el mismo como un conjunto en el que interactúan componentes mecánicos y eléctricos, para tal fin se usa la figura 14.

FIGURA 14. Corte transversal de un motor de cuatro cilindros típico



Fuente: Electricidad del automóvil, José Alonso, página 164.

Primeramente, se tiene el dispositivo encargado de producir la mezcla de aire y gasolina, el cual es denominado carburador (N), o bien, sistema de inyección, la gasolina necesaria para tal mezcla es proporcionada por un tanque que la contiene, de allí es succionada por una bomba (que puede ser mecánica o eléctrica), posteriormente se hace pasar por un filtro conveniente, siendo entonces aplicada a las agujas reguladoras en el interior del carburador (o en los inyectores), mientras que el aire es succionado al interior del carburador, procedente del ambiente y sometido a la acción de un filtro para eliminar las impurezas que pueda contener.

Al tener ya una mezcla convenientemente preparada, ésta es aplicada por medio de válvulas (K) en la entrada de cada uno de los cilindros (un cilindro a la vez), tales válvulas son denominadas *de admisión,* con la mezcla ya en el interior de la cámara del cilindro se produce el encendido de la misma, es aquí donde actúa el sistema de ignición, (cuyo funcionamiento se explicará más adelante) con la explosión efectuada en el momento preciso en que el pistón (g) puede aprovechar la fuerza producida por la misma, éste la transmite al cigüeñal (a) por medio de las bielas (f) que están aplicadas a cada uno de los codos (e) del cigüeñal. Para evitar que existan fugas de compresión en el interior de la cámara el pistón, éste se encuentra ajustado a las paredes del cilindro por medio de anillos; con el uso del cigüeñal se logra una conversión del movimiento de vaivén de cada uno de los pistones en un movimiento rotatorio, el cual es aplicado al embrague, el cual a su vez lo conduce por medio de la caja de velocidades a la transmisión y de ahí a las ruedas para el avance del vehículo. En el extremo del cigüeñal se monta una masa pesada de forma circular, que forma lo que se denomina el volante de inercia (q), dicha pieza tiene una forma dentada en su periferia, la cual tiene como función la de producir el engrane con el motor de arranque (starter), cuando se requiere poner en marcha el motor de combustión interna, que es, por su naturaleza incapaz de arrancar por sus propios medios.

Al haberse efectuado la explosión con el consiguiente desplazamiento descendente del pistón, se origina una nube gaseosa en la cámara de combustión, la cual es despejada por medio de un juego de válvulas (k), denominadas *de escape*, de ahí es encausada hacia el exterior por medio del tubo de escape del motor; dichas válvulas son activadas por un árbol de levas que a su vez es accionado por el cigüeñal.

La posición más alta que alcanza el pistón en su recorrido se denomina *punto muerto superior (p.m.s.)*, mientras que a la mas baja se le llama *punto muerto inferior (p.m.i.)*.

A la distancia existente entre ellos medida en milímetros se le llama *carrera*, y conociendo las dimensiones del diámetro de la cabeza del pistón que se denomina *calibre*, es posible hallar el área de este, dicho resultado multiplicado por la carrera da el llamado *volumen del cilindro*.

En la parte superior del cilindro se tiene una tapa llamada *culata* (j), en ella se hallan los *colectores de admisión y de escape*, que son los encargados de la entrada de mezcla y la salida de gases quemados respectivamente; en ella se encuentran las denominadas lumbreras en donde se enroscan las bujías, es en estas últimas donde se forma el arco eléctrico que inflama a la mezcla. Al espacio comprendido entre el p.m.s y la culata se denomina *cámara de compresión*.

La parte de inferior del motor se cierra por medio del cárter inferior (p), en el que se deposita aceite lubricante que es utilizado para el engrase de las piezas dotadas de movimiento. Los cilindros están rodeados de *camisas de agua* (Y) que son conductos en donde se hace circular agua con refrigerante para evitar el embalaje térmico de la máquina.

2.1.1. Fases o tiempos del motor

En un motor de explosión de cuatro tiempos, se suceden cuatro fases o tiempos, diferentes en cada cilindro para la obtención de una explosión, a cada una de estas fases le corresponde una carrera del pistón, es decir, media vuelta del cigüeñal, lo que significa que es necesaria una explosión en cada cilindro para cada dos vueltas del cigüeñal, dichas explosiones intercilindros están espaciadas uniformemente, de tal forma que para un motor de cuatro cilindros se da una sucesión cada media vuelta del cigüeñal, con lo que la fuerza resultante aplicada al mismo es uniforme.

2.1.1.1. Admisión

El pistón baja del p.m.s. al p.m.i., lo que crea un vacío y al encontrarse abierta la válvula de admisión, se succiona la mezcla proveniente del carburador (su proporción varía con las condiciones de funcionamiento del motor). Durante el lapso que tarda el pistón en hacer el recorrido señalado, los gases de la mezcla van llenando el espacio que deja el mismo, todo esto se lleva a cabo en media vuelta del cigüeñal. La válvula de escape permanece toda esta fase cerrada.

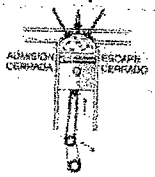
Figura 15. Tiempo de admisión

Fuente: Electricidad del automóvil, José Alonso, página 166.

2.1.1.2. Compresión

El pistón hace el recorrido del p.m.i. al p.m.s., los gases que llenaron el espacio creado por el pistón en su carrera de admisión ocupan un volumen paulatinamente decreciente, conforme se va llegando al p.m.s. la mezcla comprimida ocupa el espacio de la cámara de compresión, dicha mezcla se encuentra con una temperatura elevada por tal compactación, por lo que es muy inflamable, esto se produce en media vuelta adicional del cigüeñal. Las válvulas de escape y admisión permanecen toda la fase cerradas.

FIGURA 16. Tiempo de compresión



Fuente: Electricidad del automóvil, José Alonso, página 166.

2.1.1.3. Explosión

Un tiempo relativamente corto antes de que el pistón termine su carrera de compresión, el sistema de encendido produce el arco eléctrico en el entrehierro de la bujía, y considerando una mezcla muy comprimida y caliente se produce una inflamación de ésta, en forma de capas sucesivas a partir de la bujía, se produce la denominada *explosión;* la cual provoca una expansión de los gases ya quemados, ejerciendo éstos una gran fuerza sobre el pistón, empujándolo hacia abajo. Las válvulas de admisión y de escape han permanecido cerradas en el transcurso de la fase con media vuelta del cigüeñal.

FIGURA 17. Tiempo de explosión

Fuente: Electricidad del automóvil, José Alonso, página 167.

2.1.1.4. Escape

En esta fase, el pistón tiene su carrera al p.m.s. entonces se a tiene la válvula de escape abierta y la de admisión se encuentra cerrada, con lo que son desalojados los gases quemados en la cámara de combustión. Al finalizar esta fase, se produce el cierre de la válvula de escape, abriéndose entonces la de admisión, restableciéndose las condiciones iniciales.

FIGURA 18. Tiempo de escape

Fuente: Electricidad del automóvil, José Alonso, página 167.

Esto es lo que ocurre en un solo cilindro, al haber varios se presenta funcionamiento alternado, en un orden específico determinado por el fabricante.

Con lo anterior se tienen los fundamentos del funcionamiento de un motor de combustión interna típico de cuatro tiempos, se procede a describir en detalle el funcionamiento de los diversos sistemas que producen la chispa en la fase de explosión.

Para tal efecto se requiere de conocer los componentes comunes a los diversos sistemas, de forma tal que para un sistema en particular, sólo se requiera hacer referencia a componentes específicos al mismo y su interacción con los ya conocidos.

2.2. Componentes comunes a los diversos sistemas de ignición

2.2.1. Bobina de encendido

Su función es la de producir un voltaje lo suficientemente alto como para vencer la rigidez dieléctrica del medio en la cámara de combustión y poder producir un arco eléctrico en el entrehierro de la bujía colocada en su interior.

El voltaje necesario para la generación de la chispa fluctúa entre los 20,000 y 40,000 voltios dependiendo de la distancia interelectródica, la relación de compresión y la relación aire/combustible; una vez efectuado el arco, se requiere un voltaje mucho menor para mantenerlo ya que la mezcla de gas cerca de los electrodos se ioniza fuertemente.

La llamada comúnmente "bobina" en realidad se trata de un autotransformador, el cual dispone de un bobinado primario de relativamente pocas vueltas (aproximadamente 200) de cable de sección gruesa, bobinado sobre un núcleo laminado en forma de "I", bajo el cual se halla el secundario, que es un bobinado de muchas vueltas (aproximadamente 20,000) de cable de sección baja.

Se tiene por lo tanto una relación de transformación primario-secundario de aproximadamente 1:100, para un voltaje del primario típico de 12 voltios, la salida del secundario es de 1,200 voltios aproximadamente, sin embargo, existen bobinas capaces de producir en su secundario hasta 20,000 voltios.

Ambos bobinados se hallan bien aislados entre sí, generalmente inmersos en aceite, dentro de una pequeña cuba de metal que a la vez de ser recipiente sirve como blindaje del conjunto, de la cual se encuentra aislado eléctricamente. Posee externamente tres terminales, dos de ellos marcados + y - están conectados directamente al primario del autotransformador, el segundo de ellos es el común con el secundario, el otro terminal del mismo es una torreta central en el cuerpo de la bobina, de donde sale el terminal de alta tensión.

2.2.2. Distribuidor

También denominado Delco, en honor a la casa que lo ideó en los inicios de la industria automotriz, está conformado por dos partes muy importantes, éstas son:

a) Circuito de bajo voltaje: es el encargado de producir la conmutación (si se trata de sistema con ruptor) o la detección de pulsos de excitación (si se usan sistemas electrónicos), para manejar el circuito del primario de la bobina.

b) Circuito de alto voltaje: es el encargado de la distribución del alto voltaje proveniente del terminal central de la bobina de encendido, por medio de un dispositivo denominado rotor. El cual se encuentra colocado sobre un eje de levas que esta conectado mecánicamente al motor, se tiene una estrecha y muy exacta relación de la posición de los pistones con respecto a los resaltos de leva, los cuales pueden activar el brazo móvil del ruptor o estar dotados de sensores especiales, para la generación de los pulsos de control del encendido.

En su cuerpo se halla también un mecanismo generalmente de tipo neumático o mecánico, llamado de corrección de vacío, así como el capacitor en el caso del encendido convencional.

2.2.3. Rotor

Es un interruptor giratorio, colocado en interior de la tapa del distribuidor y montado sobre el extremo del eje de levas, del que se encuentra aislado eléctricamente, su función es la de provocar contacto eléctrico secuencial, entre el terminal de alto voltaje de la bobina de encendido y la bujía correspondiente al cilindro que se encuentre en su fase de explosión, para evitar desfasajes en la secuencia posee una forma única de montaje.

2.2.4. Tapa del distribuidor

Es la encargada de proporcionar los puntos de contacto de todas las bujías con el rotor, posee un contacto de metal para cada bujía y un contacto de carbón comprimido y aplicado contra el centro del rotor por medio de un resorte que hace las veces del terminal de alto voltaje de la bobina de encendido. Esta hecha de un material plástico, de gran rigidez dieléctrica y mecánica, capaz de soportar altas temperaturas, contiene tantas torretas como cilindros existan en el motor mas la torreta central, se halla montada al distribuidor por medio de bridas o tornillos.

2.2.5. Cables de alta tensión

Son los encargados de llevar el voltaje de elevada magnitud, entre los puntos de interconexión ya sea entre la bobina de encendido y el contacto central de la tapa del distribuidor o bien entre las torretas periféricas de la tapa del distribuidor y cada una de las bujías, llevando un orden preestablecido. Poseen un recubrimiento muy grueso, de plástico o silicona de elevada rigidez dieléctrica, con un alma de cable de cobre (generalmente utilizado en encendidos convencionales), o de seda sintética impregnada de carbón, que provee supresión de interferencias electromagnéticas en el espectro de radio y T.V., éste último es el utilizado para sistemas de ignición electrónicos. En sus extremos poseen capuchones de caucho, además de conectores adecuados.

2.2.6. Bujías

Son las encargadas de producir un arco eléctrico en el entrehierro que poseen, para poder inflamar la mezcla dentro de la cámara de combustión. Su constitución es la siguiente: en su interior poseen un electrodo central, que la atraviesa de un extremo al otro, éste termina en la parte superior en una rosca, sobre la cual se monta una tuerca de forma especial que sirve para efectuar la conexión con el cable de alto voltaje proveniente del distribuidor, en su otro extremo forma la mitad del entrehierro en el que se produce la chispa.

El mencionado electrodo se encuentra rodeado y sujeto a la vez por un material aislante, generalmente una porcelana especial denominada *corindón*, que a su vez se encuentra sujeta por una pieza metálica que la contiene y que posee en el extremo superior una tuerca hexagonal, la cual sirve para la inserción y extracción del conjunto completo, mientras que en su parte inferior esta dotada de una rosca que sirve para su sujeción en el monobloc del motor, sirviendo de contacto complementario a tierra del anteriormente mencionado entrehierro.

El diámetro de rosca oscila entre los 10 y 18 milímetros, siendo las más utilizadas las de 14 mm, debido al orificio en la culata que se requiere, el cual no es comparativamente muy grande y son lo suficientemente gruesas para tener gran robustez mecánica. Según el largo del cuello roscado que posee la bujía, así se clasifica, existen las llamadas de cuello corto las que poseen una rosca de 10 mm de longitud, de cuello normal las que tienen un largo de rosca de 12 mm, y de cuello largo las que cuentan con 19 mm de longitud de rosca. Por razones mecánicas las bujías de diferentes longitudes de cuello solo pueden colocarse en los automóviles para los cuales fueron diseñadas, es decir, no son intercambiables entre sí.

Otra característica importante de las bujías es su grado térmico, el cual es un parámetro que indica como este componente disipa el calor que absorbe al estar expuesto a las altas temperaturas de la cámara de compresión, dicho calor se disipa por medio de la culata, que a su vez se encuentra enfriada convenientemente por un sistema de agua circulante con refrigerante, o bien, por aire forzado.

Se denomina bujía caliente a aquella que posee un aislante largo cubriendo al electrodo central de la bujía, y bujía fría se llama a toda bujía que presente un aislante corto que no cubre mucho al electrodo central. Las bujías frías, por tener un área de electrodo mas descubierta, tienden a evacuar mejor el calor, caso contrario de las bujías calientes, las primeras se utilizan en los motores de alta relación de compresión, mientras que las segundas se usan en motores de baja relación de compresión.

Si se coloca una bujía muy caliente respecto a la que sería adecuada, se produce el efecto de autoencendido, que consiste en que no se requiere chispa para la ignición ya que el electrodo se pone al rojo vivo al no poder disipar con la suficiente celeridad el calor, con lo que la mezcla se puede encender en cualquier momento; caso contrario, con una bujía fría respecto a la adecuada, al evacuar esta muy fácilmente el calor, no se llega a la temperatura óptima de funcionamiento, quedando así residuos aceitosos en el electrodo, no produciéndose eficazmente la chispa, lo que resulta en un malfuncionamiento del motor.

Existen las llamadas bujías *multigrado*, las cuales disipan satisfactoriamente el calor a varios grados térmicos, la temperatura adecuada para la operación de toda bujía es alrededor de los 600 °C en su parte inferior, con esa temperatura no se produce autoencendido y tampoco se produce el engrase del electrodo; para conocer el estado de una bujía que ha estado funcionando, se le desmonta y se observa su electrodo, una bujía de grado térmico adecuado (asumiendo que no hay defectos en el cilindro) debe de presentar un color café claro, y una superficie limpia, sin daños en el electrodo.

En su funcionamiento, la corriente procedente del distribuidor entra al electrodo central, el cual la conduce hasta el entrehierro que no tiene otro camino que ofrezca menor resistencia (si lo existe, como es el caso de bujías aceitosas la corriente tiende a seguirlo, degradando o eliminando la descarga), tendiendo a romper la rigidez eléctrica del medio (mezcla aire-gasolina) y se descarga por medio del contacto aterrizado. Al existir la descarga en sentido negativo a positivo, se presenta un desgaste progresivo del electrodo de tierra, que al ser excesivo demanda cambio del componente.

La separación existente en el entrehierro la determina el fabricante calculando la distancia que maximiza el aprovechamiento de la energía calorífica que produce el arco eléctrico; dicha separación es mayor en los motores de relación de compresión baja con relación a los de relación de compresión alta.

2.3. Conceptos importantes

2.3.1. Punto de encendido

Como se indicó, el punto en el recorrido del pistón en el cual se produce la chispa, es aproximadamente cuando se encuentra en su punto muerto superior y se dispone a bajar en la fase de explosión, se podría pensar en que la chispa debe de aplicarse en este momento, lo cual no es cierto, debido a que la combustión de la mezcla no se produce instantáneamente por lo cual se produce la chispa antes de que el pistón alcance el p.m.s., para que al llegarse al mismo se tenga la combustión completa, produciéndose una presión máxima en el cilindro, que es la que se aplica ya en plena carrera de explosión del pistón, obteniéndose una mayor potencia del motor con menos combustible.

Este punto, llamado comúnmente "tiempo", se expresa en grados de giro del cigüeñal con respecto al p.m.s. de un cilindro determinado, siendo típicamente utilizado el cilindro número uno.

2.3.2. Avance del encendido

El punto de encendido no varía a bajas revoluciones del motor, pero al haber un aumento en la velocidad taquimétrica del mismo, se da un corrimiento entre el punto en que se aplica la chispa y el desarrollo de una presión máxima en el cilindro, produciéndose una aplicación de la fuerza de la combustión en momentos en los cuales el pistón se halla desplazándose hacia abajo, con un consiguiente decaimiento de la potencia desarrollada; para contrarrestar tal efecto se recurre a proporcionar un *avance al encendido.*

Lo anterior supone una aplicación de la chispa un tiempo antes del p.m.s., con un valor que es mayor en grados al punto de encendido a bajas revoluciones.

En la actualidad, para lograr tal adelanto se utilizan básicamente dos métodos:

1) Avance mecánico centrífugo.
2) Avance neumático o por vacío.

2.3.2.1. Avance mecánico centrífugo

Consta de contrapesos colocados dentro del conjunto de ruptor o dispositivo sensor en el distribuidor de tal manera que están mecánicamente acoplados y giran solidariamente con el conjunto del eje de levas, tales contrapesos, al ser sometidos a una velocidad angular elevada tienden a empujar a la leva una determinada cantidad de grados en proporción directa a la velocidad angular en ese momento, adelantándola en su sentido de giro, y la chispa también se adelanta.

2.3.2.2. Avance neumático o por vacío

Consiste en un diafragma contenido en un recipiente junto con un resorte antagonista, de tal manera que al hacer el vacío en un extremo de este último se produce una atracción del diafragma, que hasta ese entonces se hallaba en una posición intermedia gracias a la acción del muelle, dicho diafragma esta acoplado por una varilla al conjunto que soporta al ruptor o sensor haciéndolo girar en sentido contrario al giro de la leva, lo que produce un adelantamiento de la chispa. El vacío que acciona al diafragma, se obtiene por medio de una manguera procedente del carburador, punto en el que si el llenado de los cilindros no es bueno, se tiene un alto vacío, lo que produce una atracción grande del diafragma, que a su vez adelanta la chispa, para lograr una mejor combustión de la mezcla.

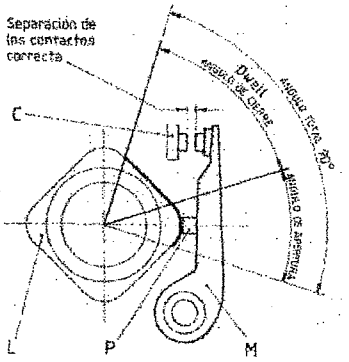
2.3.3. Ángulo de leva

También conocido como Dwell, se denomina así al cambio de posición angular que efectúa la leva durante el cual los contactos del ruptor se hallan cerrados.

2.3.4. Ángulo de chispa

Se denomina así al cambio de posición angular que efectúa la leva durante la cual los contactos del ruptor se hallan abiertos. En la figura 19 se grafican los ángulos de cierre y de chispa respecto al ángulo de giro de la leva L, el que determina la posición del punto de apoyo aislante P, que acciona los contactos del martillo M y el contacto fijo C.

FIGURA 19. Ángulo de cierre y apertura



Fuente: Manual del encendido, Miguel de Castro, página 71.

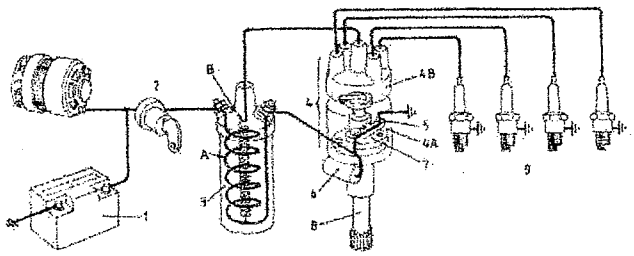
2.4. Sistemas de ignición automotriz

2.4.1. Sistema de ignición convencional

Este tipo de sistema fue el que se tuvo en amplio uso desde los principios de la industria automotriz, hasta que fue paulatinamente reemplazado a principios de la década de los setenta cuando se perfeccionaron los sistemas electrónicos; sin embargo, su funcionamiento reviste factores constitutivos muy importantes -algunos se repiten en los encendidos electrónicos- por lo cual es necesario una revisión de su estructura y funcionamiento.

Esta constituido, básicamente, por una alimentación (el conjunto alternador y batería), un interruptor (de llave), una resistencia limitadora de corriente, un autotransformador elevador de voltaje (bobina de encendido), un sistema de conmutación (ruptor o platino), un sistema antiflameo para el sistema del ruptor (capacitor), un sistema de distribución de alto voltaje (rotor, tapa de distribuidor, cables de alto voltaje) y finalmente las bujías, su interconexión típica se presenta en la figura 20.

FIGURA 20. Representación pictórica de un sistema de ignición convencional



Fuente: Manual del encendido, Miguel de Castro, página 13.

2.4.1.1. Funcionamiento del sistema

Suponiendo que inicialmente los contactos del ruptor (5) se hallen cerrados, se tiene que la corriente fluye desde la batería (1), pasando por el interruptor de llave (2) y la resistencia limitadora de corriente (no graficada, se halla conectada en serie entre 2 y 3) hacia la bobina (3), que por medio del ruptor cierra el circuito a tierra.

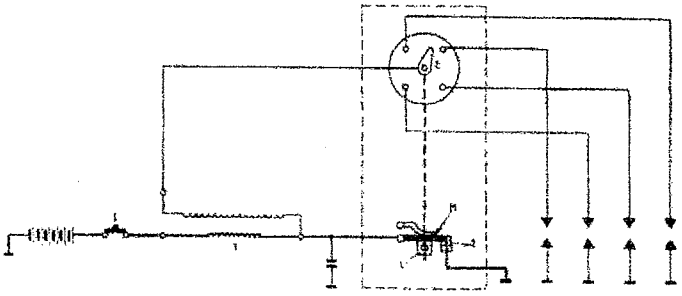
Entonces, el campo magnético en el interior de la bobina es máximo; si se gira la leva (8) de forma tal que tienda a abrir los contactos, se abre eléctricamente el circuito primario, desplomándose el campo magnético referido y se induce una corriente en el secundario ya que una considerable cantidad de líneas de flujo magnético en retracción cortan el bobinado secundario, lo que genera una alto voltaje inducido en éste con una corriente baja.

El alto voltaje sale por el borne central de la bobina y llega a la torreta central del distribuidor (4B), de ahí el rotor se encarga de entregar a cada cilindro el voltaje que provocará en cada bujía (S) la chispa respectiva; el diseñador determina la secuencia de encendido al igual que la colocación del punto en el que se dará la aplicación de la chispa (tiempo de encendido) que producirá la maximización del aprovechamiento de la fuerza producida por la explosión obtenida.

En un motor de cuatro cilindros, cada dos vueltas del cigüeñal, la operación anteriormente explicada se efectúa cuatro veces. Lo anteriormente expuesto implica una rigurosa sincronización entre las posiciones espaciales de los pistones con relación al momento de aplicación de la chispa al cilindro, lo que se logra en gran medida por medio de las sincronizaciones tanto mecánicas, como neumáticas y eléctricas.

Si se hace uso de un sistema electromecánico alternativo, (figura 21), puede observarse con más claridad desde el punto de vista eléctrico, el funcionamiento integral del sistema, al ser éste una representación idéntica a la anterior (de tipo pictórico), valen las mismas explicaciones detalladas en el párrafo anterior, para tal fin la nomenclatura es la siguiente: (E) rotor, (I) interruptor de llave, (L) leva, (M) muelle, (1) bobina y (2) ruptor.

FIGURA 21: Representación eléctrica esquemática del sistema de ignición convencional



Fuente: Dispositivos electrónicos del automóvil, Stefano Gillieri, página 95.

2.4.1.2. Inconvenientes del sistema

El sistema referido adolece de los defectos atribuibles a todo sistema electromecánico, es decir:

Flameo de contactos: debido a que el circuito primario de la bobina transporta una corriente relativamente alta, y al ser un circuito predominantemente inductivo, éste trata de evitar los cambios súbitos de corriente en él, lo que produce arcos en los contactos del ruptor, que a su vez produce calentamiento y chispeo en el material de los mismos, lo que los va desgastando, de tal suerte que el conjunto del ruptor debe ser cambiado aproximadamente cada quince mil kilómetros. Además se producen flameos entre la punta del rotor y los contactos periféricos de la tapa del distribuidor, lo que produce el desgaste de los mismos.

Desgastes y desajustes mecánicos: provienen primordialmente del roce existente entre el resalto de leva y el aislante que abre y cierra el contacto móvil del ruptor, se trata de reducir a este con el uso de algún lubricante liviano (generalmente gelatina de petróleo), aun asi se produce un desgaste progresivo, tanto en el aislante como en la leva, aunque esta última tiene un desgaste comparativamente mucho menor; el desgaste de una y otra parte, redunda en un ángulo de chispa mayor, y un rendimiento menor del motor.

Además de lo anterior, tenemos los siguientes defectos de tipo eléctrico, todos los cuales se unen para dar como resultado una calidad de chispa aplicada a la cámara de combustión de baja calidad, siendo éstos:

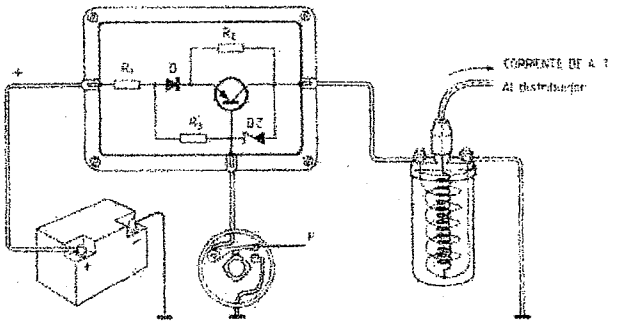
* Alto voltaje generalmente de valor pobre comparado con otros sistemas.
* Vida útil comparativamente menor de las bujías.
* Necesidad de espacios en el entrehierro muy estrechos.

2.4.2. Sistema convencional asistido electrónicamente

Este fue el primer intento por mejorar el funcionamiento de los sistemas de ignición, basándose en el uso de semiconductores de potencia, los cuales se encargan de manejar las grandes corrientes. Aún se hace uso del sistema de ruptor operado mecánicamente, reduciéndose el efecto de flameo y el de desgaste del ruptor, no así el factor de desajuste mecánico.

Su configuración básica que fue utilizada ampliamente por algunos años en la practica, se presenta en la figura 22.

FIGURA 22. Esquema del sistema convencional asistido electrónicamente



Fuente: Manual del encendido, Miguel de Castro, página 131.

Su funcionamiento se basa en el intercalamiento de un transistor de potencia (tipo PNP en este caso) en el circuito primario del sistema, el colector del mismo se halla conectado al terminal (+) del primario de la bobina, la polarización del transistor se lleva a cabo por la red formada por la resistencia limitadora (R1) y el diodo de protección (D), así como de R3 y la resistencia shunt R2; el transistor se halla al corte mientras no tenga corriente negativa en su base, lo que es debido a los contactos del ruptor abiertos, dando como resultado que no exista corriente en la bobina de encendido.

Al cerrarse los contactos por el giro de la leva, el transistor entra en conducción (cerca de la saturación), puesto que existe una polarización negativa en su base, lo que redunda en una corriente circulante por el primario de la bobina; al seguir girando la leva se llega a un punto en que se empiezan a abrir los contactos, es en este punto en que se tiene inducción en la bobina y una alta tensión disponible en la torreta de la misma; se presenta entonces un funcionamiento análogo al del encendido convencional electromecánico, con la diferencia de que ahora la corriente que maneja el ruptor (la corriente de base del transistor) es substancialmente menor que la de su contraparte, con lo que el desgaste del ruptor es menor, aumentándose su duración.

El diodo Zener se coloca como protección para el transistor, al ser este el encargado de la extinción del transitorio abrupto que se crea por el efecto de autoinducción en el primario.

El transistor elegido para la función de conmutación de potencia, debe ser de tipo tal que pueda resistir la corriente de colector exigida por el circuito, así como de poseer una ganancia relativamente alta, aproximadamente de 50, poseer una refrigeración adecuada y un montaje robusto.

La elección del tipo de transistor (PNP o NPN) depende de que tipo de tierra se utilice, ya sea tierra negativa o tierra positiva respectivamente.

2.4.3. Sistemas de ignición totalmente electrónicos

2.4.3.1. Tipos de sistemas de generación de impulsos

En los sistemas de ignición automotriz totalmente electrónicos, se pretende prescindir del uso del ruptor, ya que es el componente que por su forma de operar es el que más sufre desgaste y desajustes. Para suplir al ruptor se han utilizado varios métodos, algunos de estos son los siguientes (es necesario en todos la utilización de un bloque amplificador):

* *Sistema con generador de impulsos de tipo inductivo.*
* *Sistema con generador de impulso por efecto Hall.*
* *Sistema con generador de impulsos tipo fotoeléctrico.*

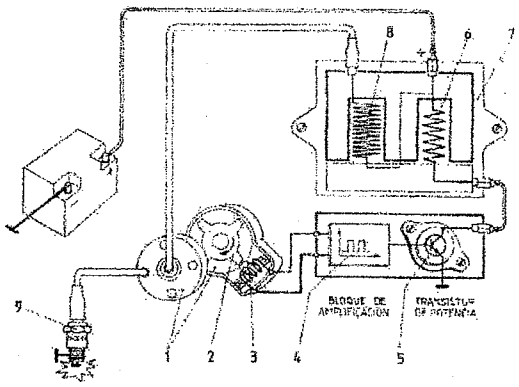
Es de mencionar que han existido otros sistemas alternativos, tales como los sistemas basados en efecto termoeléctrico, en transformadores diferenciales, de tipo potenciométrico, de relevadores, etc., pero debido a su sencillez en montajes prácticos y su eficacia de funcionamiento, son los tres enunciados los más utilizados.

2.4.3.1.1.Generador de impulsos de tipo inductivo

Su funcionamiento se basa en el uso de una bobina que se denomina captadora, la cual es capaz de generar un pequeño voltaje en sus terminales, cuando un imán permanente aplica sus líneas de flujo magnético sobre ella, y éste se halla en la posición angular que presente menor reluctancia entre el imán y el núcleo de la bobina captadora, tal imán gira solidariamente al eje de levas y posee una forma de estrella con un numero de picos igual al numero de cilindros del motor de combustión; la corriente generada en la bobina captadora es entonces conducida a un amplificador que procure la ganancia necesaria para poder aplicar una corriente conveniente al dispositivo que hará la conmutación de potencia en el circuito primario de la bobina.

El entrehierro existente entre los picos del imán rotatorio y la punta de la bobina captadora tiene mucha importancia para el correcto funcionamiento del sistema completo, al no existir contacto directo, dicho entrehierro se mantiene virtualmente inalterable durante toda la vida útil del sistema. En la figura 23 se presenta un diagrama pictórico de un sistema de este tipo ampliamente utilizado en la practica.

FIGURA 23. Esquema pictórico de un sistema de ignición accionado por un generador de impulsos de tipo inductivo

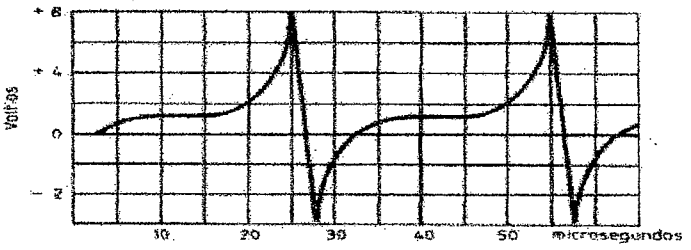


Fuente: Manual del encendido, Miguel de Castro, página 145.

Se observa que el voltaje obtenido se da por el giro de la pieza polar (2), frente a la bobina captadora (3) que se halla devanada sobre un imán permanente y cierra su circuito magnético por la mencionada pieza, este voltaje es aplicado a un bloque amplificador, que controla la conducción de un transistor de potencia (5), el cual constituye el complemento del circuito primario de la bobina de encendido (6 y 7), lo que produce el manejo del alto voltaje en el circuito secundario, que lo constituye el bobinado (8), el distribuidor (1) y la bujía (9).

Para entender el efecto de la inducción de los pulsos en la bobina captadora, haremos uso de la figura 24, que ilustra la forma de onda inducida a una velocidad taquimétrica del eje de levas de 1,000 r.p.m..

FIGURA 24. Forma de onda de salida de un generador de impulsos inductivo



Fuente: Manual del encendido, Miguel de Castro, página 147.

Se observa que la aparición de una señal de polaridad positiva cuando un pico de la rueda polar y el núcleo de la bobina captadora se hallan próximos, sin llegar a estar frente a frente ya que al darse esta situación se tiene el cruce por cero que determina el punto medio de un decrecimiento bien pronunciado, el cual termina en un voltaje pico de igual magnitud que la anterior solo que de polaridad negativa que corresponde al alejamiento del pico de la rueda polar de la punta de la bobina captadora.

El cruce por cero ya mencionado es el que se aprovecha para cortar el paso de la corriente de control del transistor de potencia lo que interrumpe la corriente primaria de la bobina de encendido, produciéndose entonces la chispa en la bujía correspondiente (vía el conjunto rotor-tapa del distribuidor).

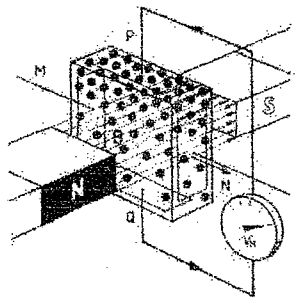
De lo anterior se infiere que el diseño de la forma de las puntas de la rueda polar, es el que determina la forma de onda inducida en la bobina captadora, y por ende el tiempo que permanece en conducción el transistor de potencia.

2.4.3.1.2. Generador de impulsos por efecto Hall

Este sistema presenta una innovación al hacer uso del fenómeno de magnetorresistencia o efecto Hall en su sistema captador de impulsos.

El arreglo básico es el siguiente: se tiene una pastilla conformada por semiconductores, generalmente de antinomuro de indio, de arseniuro de indio o de fosfuro-arseniuro de indio, con un espesor de una décima de milímetro, cubierta por una capa de cerámica, que sirve para la protección del conjunto, con el agregado de cuatro terminales, dicho arreglo se muestra en la figura 25.

FIGURA 25. Esquema básico de un generador por efecto Hall



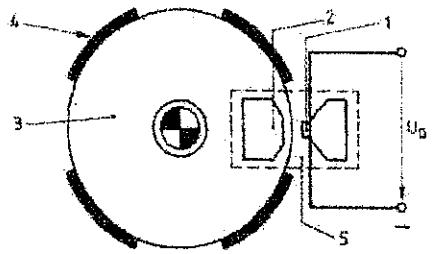
Fuente: Dispositivos electrónicos del automóvil, Stefano Gillieri, página 109.

Sometiéndose a la placa a una tensión en sus terminales M-N, con un campo magnético B incidente en el sentido de la flecha, hay entre los puntos P-Q una diferencia de voltaje denominada *de efecto Hall.*

La explicación del fenómeno está basada en el desplazamiento de los electrones en el interior del semiconductor, que al ser desviados de su trayectoria por el campo magnético, producen un aumento de la resistencia en el mismo, lo que a su vez provoca una tensión en las aristas perpendiculares al campo magnético.

La señal de salida del generador basado en el efecto Hall, al ser debidamente amplificada, puede excitar una etapa de potencia como la que se requiere para el control del circuito primario de la bobina de encendido. En la figura 26 se muestra la disposición de un generador de impulsos de este tipo.

FIGURA 26. Esquema de un generador Hall para uso automotriz



Fuente: Dispositivos electrónicos del automóvil, Stefano Gillieri, página 110.

Como puede observarse, se tiene una expansion polar (1), la cual se halla estática, frente a la cual se coloca una pieza metálica (4) que rota solidaria con el eje de levas proveniente del cigüeñal del motor (3); se tiene dispuesto frente al generador Hall (5) un imán permanente (2). La pieza metálica (4) posee pantallas en número que corresponde al número de cilindros del motor, los cuales permiten o interrumpen, el paso de líneas de flujo magnético del imán al generador Hall; al girar esta pieza se producen cortes de flujo lo que resulta en presencia o ausencia de corriente en la salida del generador, las cuales son utilizadas para excitar un módulo amplificador.

El entrehierro entre el imán (2) y el generador Hall (5) se mantiene siempre invariable, lo que supone una ventaja sobre el sistema del tipo convencional y el de tipo inductivo al no existir problema en el desajuste del entrehierro, aunque en este ultimo este desajuste es virtualmente nulo.

La longitud y disposición de la pantalla son fundamentales para el rendimiento del equipo ya que mientras la pantalla permite el paso de líneas de flujo magnético, se tiene al transistor de potencia conduciendo, lo que determina el tiempo que toma la bobina para lograr su saturación; cuando la pantalla se acerca al entrehierro, se dan las condiciones iniciales y se anula la señal que va hacia el bloque amplificador, lo que corta al transistor de potencia, con el consiguiente corte de corriente en el primario de la bobina, que a su vez provoca en ésta la inducción de voltaje al secundario, produciéndose la chispa.

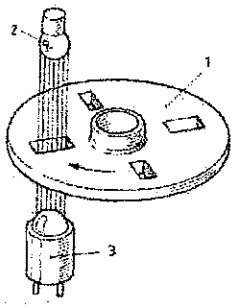
2.4.3.1.3. Generador de impulsos de tipo fotoeléctrico

Su configuración más utilizada es la mostrada en la figura 27, usa dispositivos llamados optoelectrónicos, generalmente un fototransistor o fotodiodo (3), el cual es iluminado por una lampara (2) de rayos infrarrojos, dicha iluminación es cortada por un disco ranurado (u otro tipo de figura geométrica apropiada con orificios) interpuesto entre ambos (1), de tal suerte que al girar el disco se produce el paso intermitente de la radiación lumínica desde la lampara al fotodetector, con lo cual podemos controlar el estado de conducción (luz incidiendo), dependiendo de la posición angular del disco.

Si los impulsos del fototransistor son amplificados, pueden controlar a un transistor de conmutación en el sistema de ignición.

Al dotar el disco de tantas ranuras como cilindros tenga el motor, se conforma el sistema de producción de impulsos, ya que al producirse el paso de una ranura en la línea óptica de 2 y 3 se produce un pulso de conmutación al sistema de ignición, y genera la chispa.

FIGURA 27. Esquema pictórico de un generador de impulsos fotoeléctrico



Fuente: Electrónica del automóvil, Stefano Gillieri, página 39.

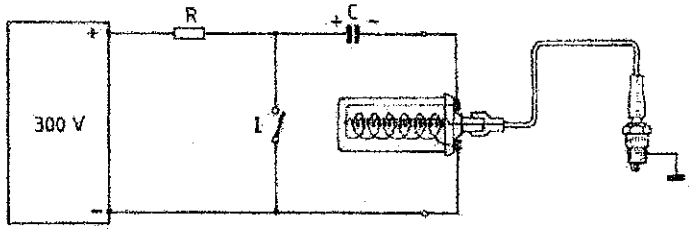
2.4.3.2. Encendido por descarga capacitiva

Es uno de los más populares, ya que proporciona valores altos de voltaje en el secundario de la bobina, asi como una gran fiabilidad en su desempeño en cualquier régimen de giro del motor en que sea utilizado, su nombre se debe a que la base de su funcionamiento radica en la descarga de un capacitor de relativa alta capacidad (típicamente de 1 o 2 microfaradios) que es cargado previamente de forma tal que posee una tensión alta en sus placas (300 voltios).

La base del funcionamiento del sistema es el siguiente: el capacitor se conecta a una fuente de voltaje, hasta que alcance la tensión de la misma, entonces este capacitor se aplica a los bornes del primario de la bobina de encendido, y se descarga rápidamente en virtud de la baja impedancia que presenta el bobinado primario, produciéndose un impulso de alta corriente inducido en el secundario de la bobina, que puede ya aplicarse a la bujía.

Un circuito auxiliar para tener clara la idea fundamental de este tipo de encendido es el que se gráfica en la figura 28.

FIGURA 28. Principio de funcionamiento del sistema de ignición por descarga capacitiva.



Fuente: Dispositivos electrónicos del automóvil, Stefano Guillieri, página 113.

En este esquema se tiene una fuente que eleva el bajo voltaje de la batería (de 12 a 13.8 voltios), hasta un voltaje de aproximadamente 300 voltios (como mínimo), la corriente de esta fluye por el circuito por medio de una resistencia limitadora R, hacia el borne positivo del capacitor C, cerrándose el circuito por el bobinado primario de la bobina.

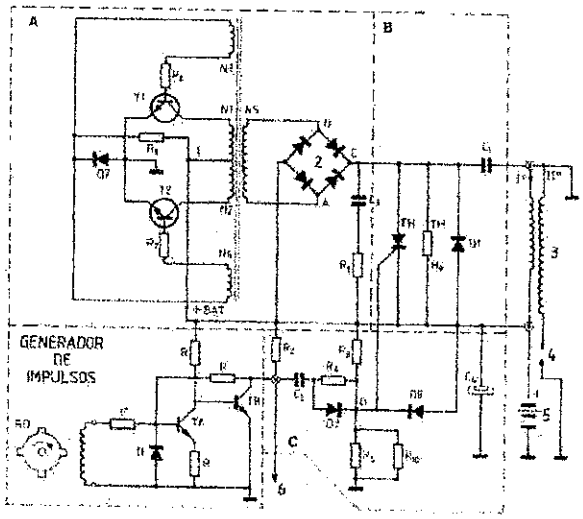
El capacitor se carga hasta obtener el valor de voltaje de la fuente; para la producción de la descarga del condensador se precisa del interruptor I, el cual al cerrarse cortocircuita la fuente de voltaje, con la consiguiente descarga del condensador por el bobinado primario de la bobina. Al abrirse nuevamente el interruptor I, la fuente de alimentación queda desbloqueada con lo que tiende a cargar de nuevo el condensador, con lo que este ultimo queda presto a ser descargado nuevamente, lo que marca el inicio de un ciclo de carga y descarga alternadas que se repetirá una y otra vez.

El interruptor es usualmente un conmutador electrónico (típicamente un tiristor) que es controlado en su conducción por medio de un circuito de mando del cual recibe señales del mecanismo generador de impulsos.

En la figura 29 se grafica un sistema de ignición por descarga capacitiva típico, pueden observarse las tres partes constitutivas, las cuales son:

- Elevador de voltaje.
- Dispositivo de descarga del capacitor.
- Dispositivo de control de descarga.

FIGURA 29. Sistema de ignición por descarga capacitiva



Fuente: Dispositivos electrónicos del automóvil, Stefano Gillieri, página 115.

2.4.3.2.1. Elevador de voltaje

Es el encargado de llevar el valor de voltaje de 12 voltios hasta mas de 300 voltios en corriente directa, esta constituido por un convertidor que utiliza dos transistores (T1 y T2), una resistencia (R8) y un diodo (D7), además de un transformador (generalmente de tipo toroidal) dotado de tres bobinados primarios, dos de ellos idénticos y uno de ellos común a los dos circuitos con una toma central y un secundario único, además de dos resistencias para la protección de las bases de los transistores (R6 y R7).

El funcionamiento es el siguiente: al conectarse al sistema por medio de la llave de encendido, se alimentan los 12 voltios al punto +BAT, pasa por la resistencia R8 y a través de los bobinados N3 y N4 así como de las resistencias respectivas (R6 y R7) pasa a dar polarización positiva a las bases de los transistores de manera que, teóricamente, se considera simultánea, pero por las diferencias dadas por las tolerancias de los componentes, uno de los transistores comienza a conducir antes que el otro, iniciándose el accionamiento del circuito; en el supuesto de que T1 sea el que conduce primero, se tiene que la base se polariza con el respectivo paso de corriente entre emisor y colector a través del bobinado N1. Dicha corriente pasa en parte a realimentar la base de su mismo transistor vía D7 y N3, con dicho refuerzo, la corriente emisor-colector de T1 aumenta, con lo que la corriente de paso crece rápidamente.

Al saturarse el núcleo del transformador, la inductancia del arrollamiento N1 desciende rápidamente a cerca de cero, con lo que la corriente de base desaparece y el transistor T1 va a corte. Con este estado, es ahora T2 el que pasa a conducir, y se repite el proceso que sufrió el transistor T1. Con los valores dados se tiene una frecuencia de oscilación de aproximadamente 300 Hertz, la resistencia R8 hace el efecto de resistencia de puesta en marcha, y el diodo D7 bloquea la tensión inversamente emisor y la base deT1 y T2.

El bobinado secundario (N5) es el encargado de elevar el voltaje al nivel que se necesita para la carga del capacitor principal (C1). La corriente obtenida en el secundario es alterna con forma de onda cuadrada, la cual pasa a ser rectificada por medio de un puente de diodos, para obtener en su salida (borne C) una corriente continua.

El condensador C3 es un condensador de baja capacidad y tiene la función conjuntamente con R1 de nivelar la tensión continua en el borne C, es decir que trata de bajar el nivel de rizado (ripple) en este punto.

2.4.3.2.2. Descargador del capacitor

Esta parte está constituida, básicamente, por un tiristor; en este caso un SCR (TH), así como del capacitor principal C1. La corriente que proviene del borne C no pasa a través del tiristor al hallarse éste abierto, tampoco circula por el diodo D1 al hallarse este en polarización inversa, por lo tanto la corriente carga el capacitor; al producirse un impulso de cebado en la compuerta del tiristor, procedente del circuito de mando a través del generador de impulsos, el tiristor conduce, y al hallarse este en configuración de barra de cortocircuito (crowbar) para la salida del convertidor, este último deja de oscilar, con lo que deja de entregar voltaje; al sentir tal cambio en el sistema, el capacitor principal C1 se descarga por el primario de la bobina de encendido, al mismo tiempo de que se llega al punto de que el tiristor tiene una corriente por debajo de su corriente mínima de mantenimiento (Ihold), en virtud de no tener por un instante voltaje en sus terminales, con lo que éste se abre y por ende el convertidor comienza a oscilar nuevamente; este ciclo de funcionamiento se repite a cada arco presente entre los electrodos de cada una de las bujías.

2.4.3.2.3. Controlador de descarga

Está compuesto por el generador de impulsos y su circuito amplificador, así como del circuito de mando de pulso de compuerta del SCR (TH), el funcionamiento es el siguiente: en estado inicial la corriente proveniente de la batería es surtida al circuito por medio del borne marcado +BAT, el transistor TA no es conductor ya que no posee corriente de base, por lo que la corriente de polaridad positiva tiende a alimentar a la base del transistor TB, este último es de tipo NPN lo cual nos indica que él es el que entra en conducción para la corriente que procede del nodo de unión entre el colector de TA, R2 y el condensador C2, este último es el encargado de acoplar el pulso de compuerta para el SCR.

Al haber un desplazamiento angular de la pieza polar rotativa (RO), se presentan impulsos generados al pasar frente a la unidad captadora, en este momento se genera una corriente que alimenta a la base de TA, el mismo entra en conducción y la corriente fluye entre emisor y colector del mismo, produciéndose una polarización negativa en la base de TB con lo que entra a corte.

Con TB bloqueado, el condensador C2 tiende a ceder su carga hacia tierra, lo que produce que haya un flujo de corriente a través del diodo D2 hasta la compuerta del SCR, cebándose éste, y se entra en estado de cortocircuito en la salida del convertidor haciéndolo inoperante, produciéndose la situación ya expuesta en el inciso anterior.

2.4.3.3. Sistemas de encendido integral

Este sistema es el más utilizado en la actualidad, ya que es el apto para utilizarse conjuntamente con sistemas de inyección de gasolina, sin embargo se utiliza también en sistemas carburados, a estos últimos se encaminara el análisis presente ya que los primeros se detallan en el capitulo dedicado a los sistemas de inyección de combustible. Su característica más importante es la incorporación de memorias en su circuitería, de las cuales algunas se utilizan para almacenar un gran número de posibilidades de avance del encendido, en función de diversos factores tales como: régimen de giro, carga y temperatura a que se somete el motor; a su salida se tiene decisión de que cantidad en grados de avance del encendido es la más adecuada para determinadas condiciones de funcionamiento.

El distribuidor en este sistema solamente cumple con el papel de administrar el alto voltaje que provocará la chispa en cada uno de los cilindros en su orden correcto, ya que las funciones de captación de impulsos y del control de avance del encendido, son efectuadas por el módulo, del que sale el alto voltaje, en virtud de que la bobina de encendido esta integrada al mismo.

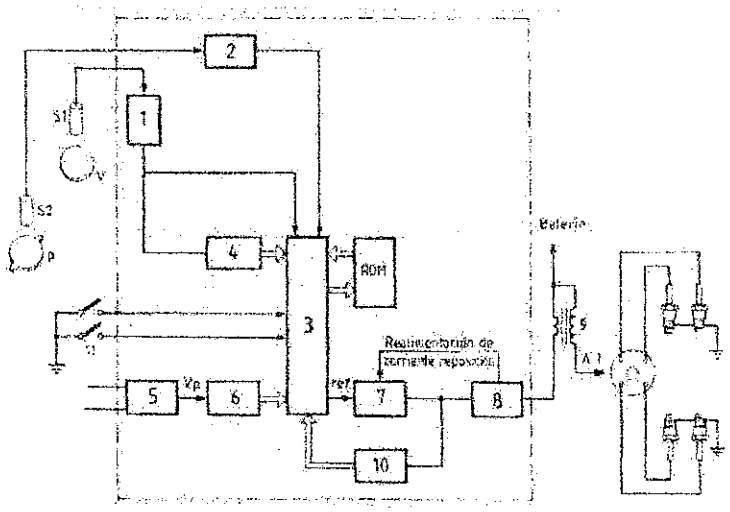
Debido a la complejidad de la circuitería electrónica, y en vista de que tales sistemas son integrales, es decir, que sus partes componentes no son asequibles desde el exterior, se analiza su funcionamiento desde el punto de vista de sus respectivos diagramas de bloques, lo que posibilitará una mejor comprensión de sus interacciones, así como del funcionamiento como conjunto.

Es de mencionar la imposibilidad de efectuar reparaciones en los módulos de este tipo de encendido, por lo que su reparación se limita al cambio del mismo, puesto que generalmente se tratan de unidades selladas.

2.4.3.3.1. Encendido integral digiplex

A manera de ejemplo y siendo un sistema bastante completo y de fácil aplicación a casos particulares se presenta el sistema propuesto por la marca italiana Magneti Marelli, en la figura 30, en donde se muestra su diagrama completo en bloques.

FIGURA 30. Diagrama de bloques de un sistema de ignición digiplex



Fuente: Dispositivos electrónicos del automóvil, Stefano Gillieri, página 130.

En su entrada posee dos sensores de tipo electromagnético indicados como S1 y S2, los cuales se hallan enfrentados al volante de inercia (V) y a la polea del cigüeñal (P), respectivamente. Con este arreglo se provee el control exacto de la posición de determinado pistón en su carrera hacia el p.m.s., dado por el sensor S2, así como de la velocidad de giro en todo momento que es proporcionada por el sensor S1.

Tales señales son amplificadas por circuitos transistorizados, indicados como el bloque 1 y el 2, las cuales posteriormente son aplicadas a la entrada del microprocesador indicado como el bloque 3, que es la base del sistema.

Se tiene por aparte una señal proveniente de un sensor (5) montado en el colector de admisión (manifold), el cual es un transductor que hace la conversión del vacío existente en el mismo, a una señal eléctrica proporcional, la cual es analizada por el medidor de vacío (6) y este aplica su salida al microprocesador.

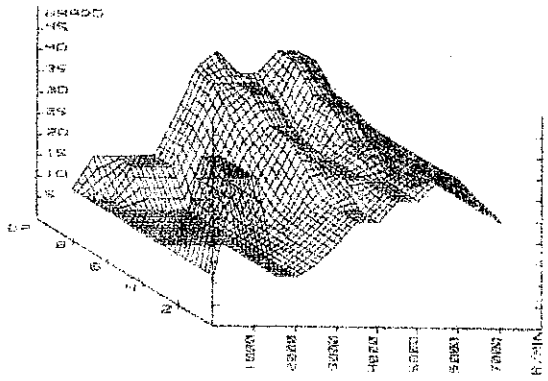
El microprocesador compara las señales recibidas con las que posee almacenadas en su memoria permanente (de tipo ROM), la que posee las diversas instrucciones para la toma de decisiones en sus salidas, en la siguiente secuencia: la señal procedente del microprocesador pasa a un primer circuito de control (7) que maneja al circuito de potencia (8), el que es a su vez encargado de manejar la corriente en el primario de la bobina de encendido; el microprocesador controla el momento del salto de la chispa por medio del medidor de ángulo de avance (10), este produce las correcciones necesarias para cada caso particular de avance del encendido.

En los distribuidores convencionales, el avance centrífugo del encendido se produce dependiendo solamente de la velocidad de giro del motor, dentro de un rango de revoluciones por minuto (r.p.m.) del motor, el avance sufre un aumento en grados antes del p.m.s. de forma lineal. Este sistema no satisface las necesidades del motor en lo que a este aspecto refiere, puesto que la variación del avance de la chispa no solo es función de la velocidad de rotación del motor, sino también de las condiciones de carga física en el mismo; si se tiene en cuenta este segundo factor incidente, se produce una curva de avance mucho más compleja (con tres variables), lo que nos indica que en muy pocos casos el avance puede ser considerado lineal si se quiere lograr la mayor eficacia del sistema.

Para tener una idea de lo complejo que debe ser el sistema de avance del encendido, se muestra en la figura 31 una cartografía que ilustra como deben de ser las variaciones de avance del encendido dependiendo de los factores anteriormente mencionados.

Esta cartografía fue obtenida en un motor probado en laboratorio, el cual fue sometido a diversas cargas, así como a diversas velocidades de giro, obteniéndose al final 512 diferentes situaciones en las cuales el valor de avance de encendido toma valores completamente diferentes que en cualquier otra situación parecida, todas estas ploteadas en toda la superficie del manto.

FIGURA 31. Cartografía de posiciones del avance del encendido



Fuente: Sistemas electrónicos del automóvil, Stefano Gillieri, página 132.

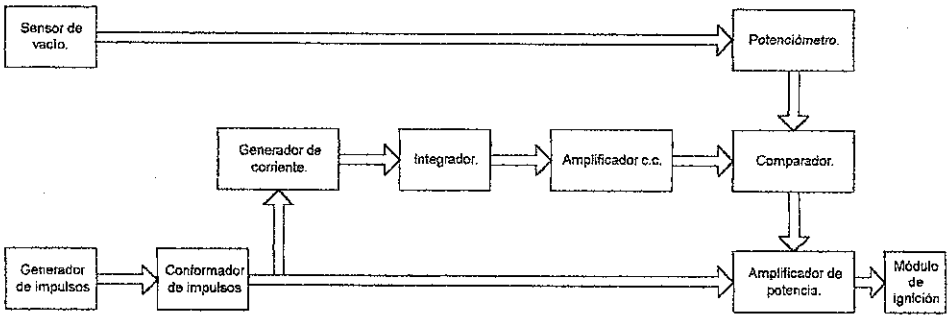
Las 512 posibilidades obtenidas de la gráfica, pueden ser programadas en el bloque de memoria del sistema, de donde pueden ser utilizadas para tomar los valores de avance de encendido dependiendo de las señales obtenidas en cada uno de los sensores tanto de velocidad de giro del motor como del grado de vacío en el colector de admisión. La señal de salida del microprocesador determinará el grado de avance del encendido, que corresponde al eje vertical de la cartografía.

2.4.3.4. Sistemas analógicos en encendidos integrados

Basan su funcionamiento en el uso de un dispositivo comparador, que es el encargado de verificar la corriente recibida por el efecto de un sensor, contra otra que es producida en otro punto e incluso puede ser un valor grabado en su estructura propia; de ahí que se pueden tener tres estados posibles: igualdad, diferencia positiva y diferencia negativa.

Esto se traduce en diversas órdenes a un circuito amplificador de salida, el cual hace actuar al bloque que se desea controlar (en este caso se trata del módulo de encendido), una configuración típica de bloques de un sistema de este tipo se muestra en la figura 32.

FIGURA 32. Diagrama de bloques de un sistema integrado-analógico



2.4.4. Pruebas en sistemas de ignición

2.4.4.1. Prueba del ruptor

Inicialmente debe inspeccionarse ópticamente el desgaste que ha sufrido el ruptor, dicha comprobación deberá hacerse cada 10,000 kilómetros, o antes si se sospecha de fallos en el mismo.

Se procede a lograr el acceso a ellos, quitando la tapa del distribuidor y el rotor (todo esto con el interruptor de arranque en la posición de apagado), y se abren los contactos observándose el estado de las superficies de contacto, los resultados revelan el desempeño del sistema ruptor-capacitor de la siguiente manera:

1) Desgaste normal, no existen salientes, ni prominencias en las superficies de contacto, presentando estas una coloración gris clara, indican un valor de capacitancia adecuado así como de un ajuste mecánico correcto.

2) Se localiza una saliente del lado del yunque, indica que el valor de la capacitancia es muy grande respecto al requerido, se procede al limado de la saliente, o si ésta es muy pronunciada, al reemplazo total del ruptor y al cambio por un capacitor con un valor inmediatamente inferior (valor comercialmente disponible).

3) La saliente se localiza del lado del martillo, indica que se trata de un caso con un capacitor con un valor menor al requerido, se procede igual que el caso anterior, solamente que se procede a elevar el valor en microfaradios al próximo siguiente.

2.4.4.2. Prueba del capacitor

Las pruebas de este componente básicamente son dos:

2.4.4.2.1 Prueba de valor nominal

Se refiere a medir su valor en microfaradios, para verificar si coincide con una tolerancia de 10% con el valor impreso en su cuerpo metálico, para tal fin pueden utilizarse capacitómetros digitales o analógicos.

2.4.4.2.2. Prueba de aislamiento

En esta prueba se verifica el estado del dieléctrico del capacitor, para tal efecto se puede utilizar un medidor de aislamiento que posea una tensión de 300 voltios máximo (algunos capacitómetros analógicos poseen esta función).

2.4.4.3. Prueba de la bobina de encendido

Antes de probar la bobina debe comprobarse el estado del resistor limitador que posee la misma, generalmente montado sobre su cuerpo conectado en el circuito primario de la misma, debiendo medir entre sus bornes una resistencia que no sobrepase el valor de dos ohmios, de lo contrario se procede a su cambio.

Posteriormente, ya pueden efectuarse las pruebas en la bobina, las cuales básicamente son:

2.4.4.3.1. Continuidad de devanados

Al tratarse de un autotransformador, no existe aislamiento eléctrico entre el primario y el secundario, por lo cual la prueba se remite a la medición de las resistencias de los devanados correspondientes, teniendo el devanado primario una resistencia entre sus bornes (marcados sobre el cuerpo de la bobina como + y -) relativamente baja (se usa la escala del ohmetro en Rx1), típicamente entre 3 y 6 ohmios, esto debido a las pocas vueltas del devanado de alta sección que lo conforma; después se procede a la verificación de la continuidad del devanado secundario conectando el ohmetro en escala adecuada (Rx1k), colocándose las puntas entre el terminal primario marcado con (-) y la torreta central de alto voltaje, debiéndose obtener una lectura de algunos cientos de ohmios puesto que se trata de un bobinado de muchas vueltas de alambre de baja sección, de no obtenerse ninguna de las lecturas ya mencionadas se tiene una bobina abierta en el bobinado respectivo.

2.4.4.3.2. Aislamiento entre bobinados

Se utiliza el resultado de la segunda prueba mencionada anteriormente (en ohmios), debiéndose comparar con el valor dado por el fabricante, ya que de existir un valor menor o mayor, existe un contacto entre bobinados o calentamiento de los mismos respectivamente.

2.4.4.3.3. Aislamiento entre bobinados y tierra

Se conectan las puntas de un megger o en su defecto un ohmetro en escala alta (Rx10k o mayor), entre algún punto de buen contacto eléctrico del cuerpo metálico de la bobina y el borne marcado (+) en el cuerpo de la misma y posteriormente en el terminal de la torreta central de alto voltaje, debiéndose obtener lecturas infinitas en ambos casos si la bobina tiene un buen aislamiento interno.

2.4.4.3.4. Prueba en frío del primario

Con la bobina en estado inicial frío, se procede a conectar una batería de voltaje adecuado a la misma y un amperímetro de corriente continua formando un circuito serie con el bobinado primario, el instrumento debe indicar un flujo de corriente inferior a los 4 amperios, si se tiene un valor superior, la bobina posee espiras en cortocircuito.

2.4.4.3.5. Prueba en caliente del primario

Con la bobina en estado normal de funcionamiento por un lapso de diez minutos, se repite la operación del inciso anterior, debiéndose obtener una medida comparativamente menor.

2.4.4.3.6. Prueba del aislamiento de alto voltaje

Debe aplicársele el voltaje nominal al primario de una forma alterna (puede utilizarse un transformador 110/12 VAC a 5 amperios de corriente en el secundario), y debe observarse en la obscuridad la inexistencia de saltos de alto voltaje entre el aislamiento de la torreta central y algún otro punto de la bobina.

2.4.4.3.7. Prueba dinámica de la bobina

Esta prueba es la que simula el funcionamiento normal de la bobina, y se requiere un banco de pruebas que pueda proporcionar la corriente alternante que se requiere en el primario de la bobina, colocándose en el circuito del secundario un conductor dotado en sus extremos de conectores adecuados, para su conexión en el otro extremo de una bujía expuesta, convenientemente aterrizada, se energiza el primario y se observa la calidad de la chispa producida en el entrehierro de la bujía, debiéndose obtener una chispa sólida y constante.

Si la bobina bajo prueba no satisface alguna de las anteriormente expuestas pruebas, debe ejecutarse su cambio, ya que se tratan de unidades selladas que no admiten reparación alguna.

2.4.4.4. Verificación de la tapa del distribuidor

Se refiere básicamente a la inspección visual de la misma, posterior a una cuidadosa limpieza del cuerpo interior y exterior de la misma, con algún químico suave, pudiendo ser alcohol; los puntos a inspeccionar son los siguientes:

* **Cuerpo aislante de la tapa:** debe observarse si no existen roturas en las diversas torretas, así como la inexistencia de fisuras o rajaduras que pueden convertirse en pistas conductivas.

* **Contactos eléctricos periféricos:** se comprueba el estado de los contactos internos que rozan con el rotor, si se hallan muy gastados, oxidados o deformados se procede al cambio de la unidad, se verifica también si presentan un buen contacto con los puntos de toma superiores.

* **Contacto eléctrico central:** debe verificarse si el contacto de grafito tiene la longitud necesaria para su correcto funcionamiento, así como que no se halle atorado, y que la tensión mecánica del muelle sea la apropiada, debe observarse también si existe un correcto contacto eléctrico entre el contacto metálico de la torreta central y la punta del contacto de grafito.

De existir una deficiencia en cualquiera de estos puntos, debe de efectuarse el reemplazo del conjunto completo de la tapa.

2.4.4.5. Verificación del rotor

Se limita a verificar si no existe corrosión tanto en su punta como en su contacto central, así como el aislamiento de dichos contactos a tierra, utilizándose para tal fin un megger u ohmetro en escala alta. De haber algún defecto se procede a su limpieza (en los casos de suciedad en sus contactos) o su cambio completo (en los casos de agrietamientos ó mal aislamiento).

2.4.4.6. Comprobación de cables para alto voltaje

Básicamente se aplican dos pruebas, una estática y una dinámica.

2.4.4.6.1. Prueba estática

Se refiere a la medición de la resistencia entre los terminales de los cables.

Se debe tener en cuenta el material conductor interno a los cables ya que las mediciones de los dos tipos más populares son totalmente distintas, en el caso de los cables de cobre la resistencia debe tender a cero ohmios variando no significativamente la medición con la longitud del cable, en cambio con los cables con alma de seda impregnada con carbón, para la medición debe de utilizarse la convención de que cada 25 pulgadas de este tipo de cable representan una resistencia de aproximadamente 25,000 ohmios, cualquier medición diferente significa el cambio del cable en cuestión. Debe también verificarse el buen contacto eléctrico entre los terminales de ambos lados del cable y el alma conductora del mismo.

2.4.4.6.2. Prueba dinámica o de fugas

Pretende verificar el estado del aislante del cable, para tal fin se colocan todos los cables en su posición original y se procede a desconectar un cable a la vez de su respectiva bujía (procurando dejar al terminal del cable lejos de tierra), se arranca el motor, y se aplica un destornillador convenientemente aterrizado por medio de un cable flexible a la trayectoria del cable que fue desconectado, si se producen saltos de voltaje el aislante se halla defectuoso debiéndose cambiar el cable completo.

2.4.4.7. Verificación de las bujías

La prueba inicial se refiere a saber el estado del aislante completo de la bujía, estando ésta colocada en el automóvil, para tal efecto se desconecta el cable de alto voltaje de cada bujía y se aplica las puntas de un ohmetro en escala alta entre tierra y el contacto central de la bujía, debe de tenerse una lectura tendiente al infinito, de lo contrario, debe desmontarse la misma para una verificación ocular de su estado.

Dicho estado se puede evaluar observando su entrehierro, siendo sus posibilidades y respectivos diagnósticos de condiciones los siguientes:

* **Normal:** se caracteriza por ligeros depósitos secos color gris o canela sobre los dos contactos del entrehierro. Causas: desgaste normal. Solución: límpiese y colóquese.

* **Gastada:** se identifica por electrodos severamente erosionados. Causas: uso normal prolongado. Solución: debe ser reemplazada.

* **Sucia con carbón:** se identifica por depósitos blandos, negros u secos en la punta del aislador. Causas: bujía muy fría, encendido débil, filtro de aire sucio, bomba de combustible con baja presión. mezcla muy rica, marcha mínima prolongada. Solución: límpiese y colóquese nuevamente, puede probarse una bujía de grado térmico superior.

* **Sucia con aceite:** se identifica por depósitos negros aceitosos. Causas: anillos y pistones gastados, excesivo espacio entre guías y vástagos de válvulas. Solución: repare el motor, limpie las bujías y utilícelas nuevamente, si no se procede a la reparación del motor, se puede probar la utilización de bujías de grado térmico superior.

* **Sucia con plomo:** se identifica por depósitos oscuros vitrificados en el casquillo del aislador. Causas: gasolina con mucho plomo. Solución: límpiela y utilícela de nuevo.

* **Entrehierro puenteado:** se caracteriza por el acumulamiento de materias sólidas en el entrehierro. Causas: aceite o carbón en exceso existente en la cámara de combustión. Solución: límpielas o cámbielas.

* **Preencendido:** se identifica por electrodos fundidos y el aislador ampollado, con la presencia posiblemente de depósitos metálicos sobre el aislador. Causas: combustible de octanaje incorrecto, sincronización o avance del encendido incorrectos, bujía de rango térmico muy alto, válvulas quemadas o sobrecalentamiento del motor. Solución: cambie la bujía después de corregir la causa de la falla.

* **Sobrecalentamiento:** se reconoce por un aislador blanco o gris claro con puntos negros o pardo grisáceo y con una apariencia calcinada y azulada de los electrodos.

Causas: combustible de octanaje incorrecto, bujía floja, bujías de rango térmico muy alto, baja presión de la bomba de combustible, sincronización incorrecta del encendido. Solución: cambie la bujía después de corregir la causa de la falla.

* **Depósitos puntuales:** se caracteriza por la presencia de depósitos fundidos o irregulares con la apariencia de burbujas o ampollas. Causas: aceleración súbita. Solución: límpiese y utilícese de nuevo.

2.4.4.8. Verificación del módulo amplificador electrónico

La gran mayoría de módulos amplificadores electrónicos poseen 5 conexiones, que generalmente están contenidas en un haz de cables, dichos cables son los siguientes (para la determinación de colores y funciones de cables en cada aplicación particular se debe de consultar el manual del fabricante):

1) Alimentación del módulo.
2) Conexión a la bobina.
3) Alimentación de la etapa de potencia.
4) Conexión del generador de impulsos.
5) Conexión del generador de impulsos.

Nota: En algunos modelos de módulos las conexiones 1 y 3 es la misma teniéndose un haz de solo cuatro cables.

Ya teniendo la nomenclatura adecuada, el procedimiento de prueba es el siguiente:

1) Verifíquese el estado del sistema de carga y de la batería.
2) Desconéctese la batería.
3) Se verifica el estado físico de las conexiones del modulo.
4) Se desconecta el conector (es).
5) Del lado del haz de cables se conecta un ohmetro entre los puntos 4 y 5 para verificar el estado del generador de impulsos, debiendo existir una resistencia alrededor de los 950 ohmios, debiéndose consultar el manual del fabricante para conocer el valor exacto.

Si el valor obtenido en la prueba esta muy por arriba o muy por debajo de este valor referencia se procede a hacer lo siguiente: se desconecta el conector intermedio probándose directamente el generador de impulsos, si ahora si se obtiene aproximadamente el valor referencia, el cable del conector intermedio al módulo se halla defectuoso, en caso de obtener un valor erróneo, el generador de impulsos está defectuoso, debiendo ser cambiado.

6) Se efectúa una prueba de aislamiento del generador de impulsos, conectando un ohmetro entre tierra y cada uno de los puntos 4 y 5 debiendo de existir circuito abierto en ambas pruebas, de lo contrario se tiene una fuga a tierra, requiriéndose también el reemplazo del generador.

7) Se determina por medio del manual el pin del módulo que corresponde a tierra, y se procede a medir la continuidad entre éste y el chasis, debiendo existir cero ohmios, en caso contrario el módulo se halla defectuoso.

8) Las demás pruebas solo pueden efectuarse con el comprobador específico para cada marca y sistema en particular, debiéndose seguir las instrucciones de forma de prueba suministradas con él mismo.

2.4.4.9. Prueba de los generadores de impulsos

2.4.4.9.1. Generador de tipo inductivo

La verificación de este tipo de generador se detalla en el inciso 5 y 6 de la prueba del módulo del amplificador electrónico (2.4.4.8.).

2.4.4.9.2. Generador por efecto Hall

La prueba es básicamente la comprobación de que produzca voltaje en sus terminales cuando el cilindro que posee las masas polares gira frente al captador Hall, para tal fin se coloca un milivoltímetro de elevada impedancia de entrada y se procede a medir el voltaje cuando se trata de arrancar el motor.

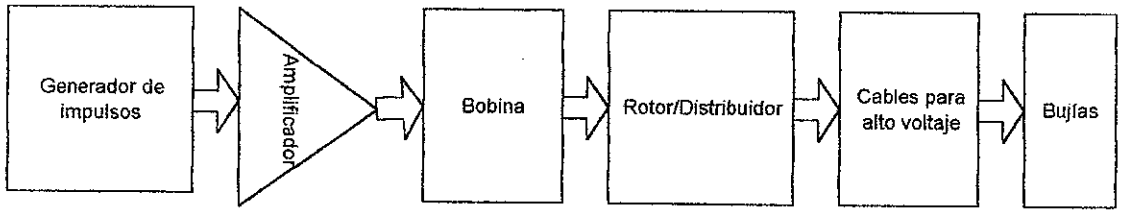
2.4.4.9.3. Generador de tipo optoelectrónico

Para la verificación de este tipo de generador de impulsos se procede a medir el estado tanto en sentido directo como en sentido inverso del diodo emisor de luz infrarrojo (LED) y del fotodiodo que se encuentra frente al mismo, si el LED se encuentra en buen estado, se procede a aplicarle un voltaje en sentido directo (aproximadamente de 1,2 voltios c.d.) vía una resistencia de limitación adecuada, posterior a lo cual se mide la conducción del fotodiodo con un ohmetro, dependiendo tal conducción de la posición de la pantalla giratoria, de forma tal que al estar destapada la ventana de paso a la radiación lumínica, y se produzca conducción y al estar tapada se corte la misma, de no operar asi se debe cambiar el fotodiodo. Si se trata de una fuente de luz de otro tipo debe verificarse si produce la radiación lumínica necesaria para la excitación del fotodetector.

2.4.4.10. Pruebas de sistemas de ignición en etapas

Los sistemas de ignición con sus variantes, se dividen en 6 etapas (5 en el sistema convencional sin módulo amplificador), como muestra la figura 33.

FIGURA 33. Diagrama de bloques común a los sistemas de ignición



Se utiliza este diagrama para la aplicación del método de determinación de fallas de forma dinámica ya que éste es por eliminación que se localiza al componente defectuoso.

Para las pruebas se requiere de una bujía en buen estado, un par de caimanes con cables, un multímetro y un arrancador remoto para automóvil (o en su defecto un ayudante para el arranque).

2.4.4.10.1. Prueba primaria para la localización del punto de falla

Verifique primero la continuidad del cable de alto voltaje entre la bobina y el distribuidor, si se halla en buen estado conéctese la bujía de prueba convenientemente aterrizada, a la toma central de la bobina por medio de dicho cable y un caimán, accione el motor de arranque (esto supone que la batería y el sistema de carga y arranque se hallen en buen estado), de la presencia y la calidad de la chispa en el entrehierro depende la acción a seguir.

2.4.4.10.2. Hay chispa sólida

Esto significa que todo el sistema de generación de impulsos, amplificación (si la tiene) y circuito primario y secundario de la bobina con toda su interconexión se halla en buen estado, quedando como elementos sospechosos, todos los encargados de distribución y transporte del alto voltaje.

Para eliminar el conjunto de la tapa del distribuidor y el rotor, se reconecta la bobina y el contacto central de la tapa del distribuidor, conectándose ahora la bujía de prueba en cualquiera de las tomas periféricas de la tapa del distribuidor, se acciona el motor de arranque y se observa la presencia o no de chispa. Si existe una chispa sólida los responsables son los cables de alto voltaje o bien las bujías, si no hay chispa en absoluto o esta es débil los responsables son la tapa del distribuidor o el rotor (se recomienda sustituir ambos).

Para verificar si las responsables son las bujías o bien los cables de las mismas, se procede a desconectar una bujía a la vez y aplicar la bujía de prueba aterrizada a cada uno de los cables.

Si existe chispa, verificar las bujías, en caso contrario los cables de alta tensión son los defectuosos (en muy rara ocasión fallan todos los cables o todas las bujías, aunque de hallarse uno defectuoso se recomienda cambiar todo el juego).

2.4.4.10.3. No hay chispa o ésta es muy débil

Primero se comprueba la existencia de voltaje en el primario de la bobina de ignición, se aplica un voltímetro a los bornes de dicho bobinado, se acciona la llave de encendido en IGN, si hay voltaje se procede a efectuar pruebas a la bobina, como se explicó en la sección correspondiente, si no hay voltaje, se procede a la prueba del modulo amplificador o bien el ruptor (ver sección correspondiente), si se hallan en buen estado, se procede a verificar la existencia de continuidad en el circuito primario de alimentación, es decir llave de encendido, fusible de ignición, resistencia de balastro y conexionado.

2.5. Método de detección de fallas en sistemas de ignición

Para poder tener un sistema de detección de fallas práctico, se mencionará primeramente la falla presentada, seguido de las posibles causas de mayor a menor probabilidad, con sus respectivas acciones a seguir.

Se supone que se han efectuado previamente las verificaciones mecánicas correspondientes con lo que se descartan otros factores de fallo.

2.5.1. Síntoma: el motor gira, pero no arranca

Posibles causas:

1) Circuito primario abierto.
2) Primario de la bobina.
3) Primario de la bobina aterrizado.
4) Generador de impulsos/ruptor defectuoso.
5) Ajuste de generador de impulsos/ruptor defectuoso.
6) Capacitor en cortocircuito.
7) Secundario de la bobina defectuoso.
8) Fuga de alto voltaje.
9) Bujías sucias o defectuosas.

Acciones a seguir:

1) Verificar conexionado, interruptor de encendido, fusible, balastro.
2) Verificar y/o reemplazar bobina.
3) Verificar y/o reemplazar generador de impulsos/ruptor.
4) Verificar y/o reemplazar generador de impulsos/ruptor.
5) Ajustar generador de impulsos o ruptor según especificaciones.
6) Verificar y/o reemplazar capacitor.
7) Verificar y/o reemplazar bobina.
8) Verificar torreta de la bobina, tapa del distribuidor, rotor y cables de A.V..
9) Verificar y/o reemplazar bujías.

2.5.2. Síntoma: el motor tiembla, falla de un cilindro

Posibles causas:

1) Bujía sucia o defectuosa.
2) Circuito de alto voltaje con fuga.

Acciones a seguir:

1) Limpiar o reemplazar bujía.
2) Verificar tapa del distribuidor, cable respectivo de A.V..

2.5.3. Síntoma: el motor falla en varios cilindros

Posibles causas:

1) Generador de impulsos o ruptor defectuoso.
2) Capacitor defectuoso.
3) Avance del encendido defectuoso.
4) Fuga de alto voltaje.
5) Bobina débil.
6) Bujías defectuosas.

Acciones a seguir:

1) Verificar y/o ajustar.
2) Reemplazar el capacitor.
3) Verificar el mecanismo de avance, repararlo si es necesario.
4) Verificar circuito de alto voltaje.
5) Reemplazar bobina.
6) Limpiar o reemplazar bobina.

2.5.4. Síntoma: motor débil

Posibles causas:

1) Punto de encendido desajustado.
2) Posibles causas del inciso 2.5.3..

Acciones a seguir:

1) Ajustar punto de encendido según especificación.
2) Acciones a seguir del inciso 2.5.3..

2.5.5. Síntoma: sobrecalentamiento del motor

Posible causa:

1) Encendido atrasado o adelantado.

Acción a seguir:

1) Ajustar el punto de encendido según especificación.

2.5.6. Síntoma: el motor detona

Posibles causas:

1) Ajuste del encendido defectuoso.
2) Mecanismo de avance del encendido defectuoso.
3) Contactos del ruptor defectuosos.

Acciones a seguir:

1) Ajustar el punto del encendido según especificación.
2) Verificar y/o reparar mecanismo de avance.
3) Ajuste o reemplace el ruptor.

3. SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

3.1. Perspectiva y requerimientos

El motor de combustión interna requiere para su funcionamiento de la dosificación de combustible mezclado con aire en una proporción correcta, dicha mezcla es aspirada por el vacío creado en la cámara de combustión debido a la carrera descendente del pistón (carrera de admisión), tal mezcla será inflamada por un arco eléctrico producido por una fuente de alto voltaje (como se explica en el capítulo 2), de la explosión así creada se obtiene la fuerza mecánica que es convertida a movimiento para las ruedas del vehículo; de lo anterior se infiere que la mezcla aire-combustible constituye un factor muy importante para obtener un desempeño óptimo del motor, para tal efecto se han ideado diversos sistemas de tipo mecánico y electromecánico que incorporan subsistemas de control electrónico sobre dispositivos electromecánicos; el mejoramiento en los sistemas de dosificación de combustible ha sido responsable del aumento de economía en los motores, así como de un mejor desempeño en lo que a potencia y eficiencia mecánica se refieren, agregado a esto, se tiene un factor importante que es la reducción de los niveles de emisiones contaminantes.

Básicamente, entre los sistemas ideados para cubrir las necesidades ya expuestas, se hallan los siguientes que son los más importantes:

Sistemas carburados.
Sistemas de inyección.

3.2. Sistemas de carburación

Son sistemas que para lograr la pulverización del combustible se valen de medios mecánicos, fueron cronológicamente el primer sistema que se utilizó en aplicaciones masivas, se basan en el principio físico del efecto venturí.

3.2.1. Perspectiva de los sistemas de carburación

La premisa básica de un sistema de carburación automotriz, es la de lograr una mezcla de composición adecuada, de forma tal que pueda ser fácilmente inflamada, resultando de la explosión la producción de la máxima cantidad de energía posible, la cual a su vez se traducirá en una fuerza directamente aplicada a la parte superior del pistón en el cilindro que se encuentre en ese momento en su fase o tiempo de explosión.

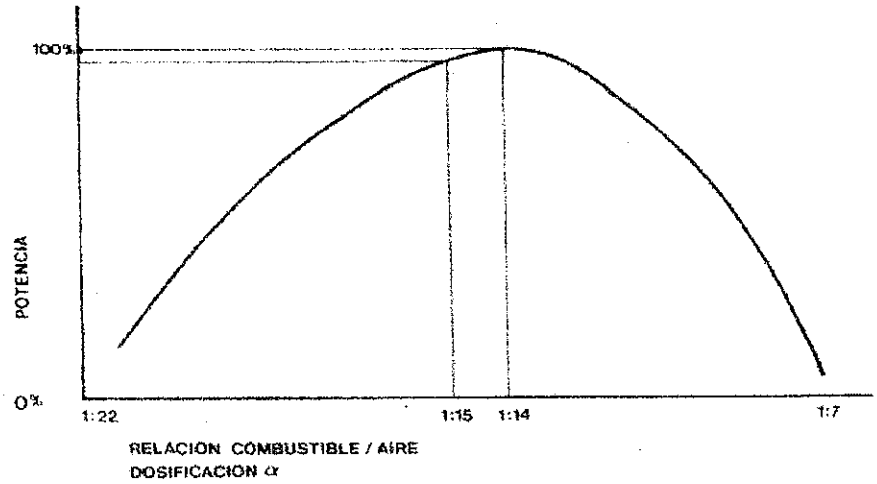
3.2.2. Composición de la mezcla

Al llevar la formula química de la reacción necesaria para producir una combustión completa de un compuesto inflamable a su forma final (forma estequiométrica), se parte de la misma para determinar la cantidad de aire teórica que es químicamente adecuada en relación con el combustible, (cuantificados ambos por su peso), que lograría que todo el carbono e hidrógeno se consuman totalmente, quedando en el escape únicamente bióxido de carbono y agua, suponiendo una combustión perfecta.

Si aplicamos el análisis expuesto, utilizando como elemento combustible a la gasolina, obtenemos que la mejor combustión se efectúa si se tiene una relación de gasolina-aire de 1:14.7 especificada en gramos de cada componente; si se quiere la relación expresada en volumen se tiene que por cada litro de gasolina se consumen 8.628 litros de aire; relaciones de mezcla por arriba y por debajo de esta cifra dan valores de potencia resultante más bajos, tales valores de mezclas y sus respectivas potencias obtenidas se plotean en la figura 34, en la cual se tiene que yendo hacia la izquierda del eje x, y tomando como punto central la relación referencia ideal (1::14.7) se tiene una menor potencia debido a exceso de aire, mientras que yendo hacia la derecha del mismo eje se tiene una paulatina menor potencia resultado de la carencia de suficiente cantidad de aire.

La proporción estequiométrica es afectada por varios factores tales como la velocidad taquimétrica del motor, la temperatura del mismo, la carga aplicada al eje del cigüeñal, etc.

FIGURA 34: Curva que relaciona la mezcla y la potencia obtenida



Fuente: Inyección de gasolina. Miguel de castro, página 23.

Comúnmente a esta proporción se le conoce como riqueza de la mezcla, la cual se da en referencia a la cantidad de combustible que existe en la misma. Una mezcla "rica" es una aquella que tiene una cantidad de gasolina mayor a la necesaria para una combustión óptima (debajo de la relación 1::14,7) presentando en el escape hidrocarburos no quemados; una mezcla "pobre" presenta una mayor cantidad de aire que la necesaria para el mismo resultado (arriba de la relación 1::14.7) encontrándose en el escape oxigeno. Las mezclas ricas son deseables al arrancar el motor, al acelerar y al requerir la potencia máxima, mientras que las mezclas pobres se requieren cuando el motor se desacelera, se mantiene una velocidad constante y cuando se precisa economía en el funcionamiento.

3.2.3. Requerimientos de un sistema de carburación

Un sistema funcional de alimentación indistintamente sea por carburación o por inyección de combustible debe de ser capaz de poder variar la mezcla estequiométrica según las condiciones de funcionamiento. Un motor de mezcla fija 1:14.7 sería económico pero lento en lo que respuestas de aceleración, calentamiento y potencia se refiere.

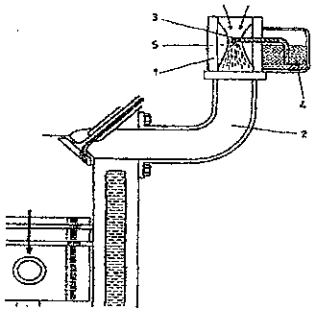
A lo anterior se agregan la necesidad de que el sistema de alimentación debe de ser capaz de medir el peso del aire y de la gasolina, además de un control de la velocidad de giro del motor, así como de un control de la temperatura del combustible y del cuerpo del motor, y un control de emisiones.

3.2.4. El carburador

Es un aparato cuyo diagrama básico se muestra en la figura 35, tiene como regidor de todo el sistema al caudal de aire; su funcionamiento básico es el siguiente: suponiendo que se tiene una apertura de la válvula de admisión de un cilindro cualquiera, al producirse una carrera descendente del pistón se produce una succión, la presión atmosférica tiende a llenar el vacío creado, produciéndose en el estrechamiento (5) una corriente de aire muy rápida, la cual al estar en contacto con un tubo pulverizador, el cual se halla conectado con una cuba con combustible, produce un vacío inducido en el interior del tubo que aspira al combustible hacia la corriente de aire, se tiene así una cantidad de gasolina, proporcional a la cantidad de aire que entra al sistema. Los defectos atribuidos a este sistema son:

1) La inercia de los componentes de la mezcla.
2) El sistema se rige por volumen de aire sin tomar otros factores en cuenta.
3) Dificultades en el diseño de colectores de admisión eficientes.
4) Llenado no equitativo de los cilindros con la mezcla.
5) Atomización del combustible no perfecta, formación de hielo y percolación.

FIGURA 35. Esquema básico de un carburador.



Fuente: Inyección de gasolina. Miguel de Castro, página 26.

3.3. Sistemas de inyección de gasolina

3.3.1. Historia de la inyección de gasolina

Los primeros ensayos con sistemas de inyección se llevaron a cabo por Rodolfo Diesel en 1893, quien la utilizó para el funcionamiento del motor que lleva su nombre, al transcurrir el tiempo, con la llegada de los primeros motores de aviación, los ingenieros de la época se toparon con un problema inquietante, un carburador convencional pierde el 50% de su potencia al funcionar a una altura de 5,400 metros; la Primera Guerra Mundial apresura las soluciones al problema, de las cuales un sistema de compresor fue él más exitoso, dicho mecanismo fue ideado por varias casas europeas, entre las que contaron la Mercedes-Benz (Alemania), la Renault (Francia) y la Fiat (Italia). Antes de la Segunda Guerra Mundial, en 1935, la Mercedes-Benz conjuntamente con la casa Bosch (Alemania), pusieron en práctica un sistema de inyección electromecánico aplicado al campo de la aviación, la Segunda Guerra propicia el progreso en la técnica de la inyección de combustible, posterior a la guerra las patentes de la Bosch fueron confiscadas y las adopto la casa estadounidense Bendix.

En las carreras de autos aparecieron los primeros sistemas de inyección en 1,949, un motor Offenhauser compitió en Indianapolis, otro motor de competiciones inyectado de la misma época fue el estadounidense Connaught. La primera aplicación práctica y en serie de la inyección de combustible fue propuesta por el grupo de fabricantes denominada GDA (marcas como Nag, Hansa, Goliath, Borgward y Lloyd), el prototipo fue sacado a luz en 1,948 por la Goliath, el éxito fue escaso. En 1,954 la Mercedes-Benz sacó a la venta el primer automóvil inyectado en serie, se trato del modelo de turismo 300 SL. En 1.955 la Jaguar sacó su modelo Corvette, y la Chevrolet sacaba su primer modelo. En 1,961 aparecieron otros modelos en serie, tales como el Kugelfischer usado por la Peugeot 404, el Lancia 1800 y el Ferrari Dino 246S. Para 1,968 la Volkswagen saca su primer modelo de inyección de combustible electrónico, para 1,974 se tiene el sistema Bosch L introducido en los modelos de la Porsche de ese año. En 1,975 apareció un sistema electrónico en algunos modelos de Cadillac, en 1,980 la Ford utilizó el sistema de inyección en la mariposa de gases.

3.3.2. Premisas de los sistemas de inyección de gasolina

La alternativa de la inyección de gasolina es, hasta la fecha, el sistema que resuelve con mejores resultados y garantías, los problemas y requerimientos presentados, en tales sistemas el combustible es inyectado (pulverizado) en el colector de admisión, justo delante de las válvulas de admisión, tal pulverización es efectuada por un sistema de inyección independiente, el cual puede estar cargado por un sistema hidromecánico o uno de tipo electrónico, de tal manera que a través de los colectores y conductos de admisión solamente circula aire, adicionándose la gasolina justo en las entradas de los cilindros, así el motor recibe la calidad de mezcla requerida según las necesidades de un momento determinado; se tiene además una equitativa cantidad de carburante en cada uno de los cilindros, independientemente de las condiciones de servicio.

3.3.3. Primera clasificación de los sistemas de inyección

Los sistemas de inyección de combustible pueden clasificarse inicialmente por su forma de accionarse, de ahí tenemos:

Sistemas de inyección mecánicos.
Sistemas de inyección electromecánicos.
Sistemas de inyección electrónicos.

3.3.3.1. Sistemas de inyección mecánicos

Tales sistemas introducen el combustible en los cilindros por medio de inyectores que se encuentran abiertos continuamente, los cuales son alimentados a una presión constante por medio de una bomba impelente.

3.3.3.2. Sistemas de inyección electromecánicos

En estos sistemas se tiene una variante con respecto al anterior, adoptando su funcionamiento básico, pero con la diferencia de que ya integran un sistema electrónico de control, el cual es capaz de hacer modificaciones en el caudal de combustible que es enviado a los inyectores, dependiendo de las diversas condiciones de funcionamiento.

3.3.3.3. Sistemas de inyección electrónicos

Estos sistemas suponen un mejoramiento grande con relación a los dos sistemas expuestos anteriormente; en este tipo de sistemas el combustible es introducido al motor por medio de inyectores electromagnéticos.

La apertura o cierre de éstos es controlado por medio de un sistema electrónico específico para esta función, tal sistema es capaz de adaptar la temporización de la inyección a los distintos modos de funcionamiento, en respuesta a las señales recibidas y analizadas por un microprocesador, las cuales provienen de sensores acoplados a partes importantes del motor (posición del cigüeñal, régimen de carga y de giro, temperaturas, etc.).

3.3.4. Segunda clasificación de los sistemas de inyección

Otra forma de poder hacer una clasificación de los diversos sistemas existentes, es la que surge de la cantidad de inyectores utilizados para que el sistema opere debidamente, tal clasificación es la siguiente:

Sistema de inyección monopuntual.
Sistema de inyección multipuntual.

3.3.4.1. Sistemas de inyección monopuntuales

En este tipo de sistemas se utiliza un solo inyector, de alto caudal, el cual se halla generalmente acoplado en el sitio del carburador, y se encarga de introducir el combustible en el colector de admisión, por lo cual se infiere que en este tipo de sistema en el colector de admisión hay un flujo tanto de combustible como de aire. También puede ser controlado electrónicamente, en cuyo caso se conoce como *sistema de inyección electrónica monopuntual.*

3.3.4.2. Sistemas de inyección multipuntuales

Este sistema utiliza un inyector por cada uno de los cilindros, con una colocación en las proximidades de las válvulas de admisión, es el más ampliamente utilizado.

3.3.5. Tercera clasificación de los sistemas de inyección

Esta clasificación toma en cuenta la cantidad y forma en que se producen las dosificaciones de combustible, de lo cual tenemos los siguientes tipos:

Sistemas de inyección continua.
Sistemas de inyección intermitente.

3.3.5.1. Sistemas de inyección continua

En estos sistemas, los inyectores hacen pasar el combustible de una forma constante hacia el colector de admisión, dicho combustible se halla ya dosificado y a una presión adecuada.

3.3.5.2. Sistemas de inyección intermitente

En estos sistemas los inyectores introducen el combustible de forma discontinua, es decir los inyectores se abren y cierran en una secuencia determinada.

3.3.6. Cuarta clasificación de los sistemas de inyección

Esta clasificación se refiere a como son dadas las pulverizaciones en los diversos cilindros, tomando en cuenta la aplicación de las dosificaciones en el tiempo, de ahí tenemos:

Sistema de inyección secuencial.
Sistema de inyección simultánea.

3.3.6.1. Sistema de inyección secuencial

Como su nombre lo indica, en estos sistemas las inyecciones se producen de forma sucesiva, en una secuencia dada por el fabricante, en cada inyector.

3.3.6.2. Sistema de inyección simultánea

En este sistema todos los inyectores pulverizan en cada uno de los cilindros al unísono.

3.3.7. Componentes comunes a los sistemas de inyección.

3.3.7.1. Bomba de combustible

Es el dispositivo electromecánico encargado de producir la circulación de combustible, con un caudal y presión adecuados, desde el depósito hacia el circuito de alimentación; existen de dos tipos: el de célula de rodillos y el de inmersión.

3.3.7.1.1. Bomba de célula de rodillos

En este tipo de bombas el combustible circula por su interior, se halla generalmente en las cercanías del deposito de combustible, siendo capaces de lograr un caudal de hasta 16 galones por hora, lo que excede por mucho las exigencias máximas de consumo del motor.

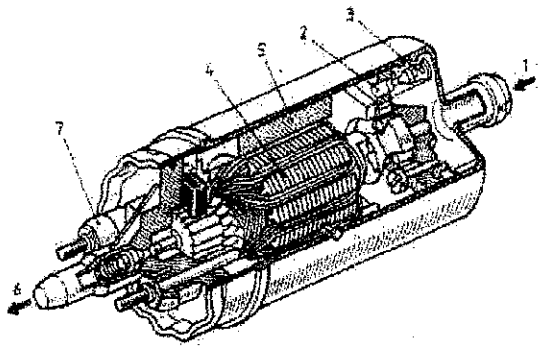
El accionamiento de la bomba se realiza por medio de un relé, que al detectar la falla de algún inyector, corta la corriente eléctrica de alimentación, evitando que la bomba siga surtiendo de combustible al inyector defectuoso.

En el conjunto de la bomba se incluye una válvula de descarga, la cual regula la presión de salida.

En la figura 36 se muestra el corte seccional de uno de los modelos de este tipo de bombas, en la cual se tiene marcado como 4 al rotor, que es parte de un motor de corriente directa (el cual se halla completamente aislado físicamente del flujo de combustible), y que al adquirir rotación, mueve la célula de rodillos (2), la cual aspira el combustible a través del conducto 1 y lo obliga a pasar por el interior hasta la rampa de inyección.

El combustible tiene el flujo indicado por las flechas, rodea el cuerpo del motor y sale por la válvula cheque (6). La válvula de seguridad y retorno (3), da una presión limitada en el flujo de combustible, retornando el excedente del mismo a la cámara de admisión.

FIGURA 36. Bomba de combustible de célula de rodillos.

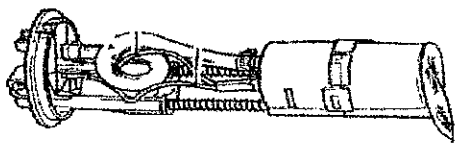


Fuente: Inyección de gasolina. Miguel de Castro, pág. 48.

3.3.7.1.2. Bomba de inmersión

Esta bomba se halla sumergida en el deposito de gasolina, formando parte del medidor de combustible, cumple la función de enviar el combustible a una determinada presión (de alimentación), para ser posteriormente regulada (presión de inyección) y ser finalmente aplicada a los inyectores, el regulador se encarga de regresar al deposito el combustible no inyectado.

FIGURA 37. Bomba de combustible de inmersión



Fuente: Tecnologías avanzadas del automóvil. José Alonso, página 78.

3.3.7.2. Caudalímetros

Son dispositivos encargados de la medición del volumen de aire que entra al sistema, los dos tipos mas utilizados son los siguientes:

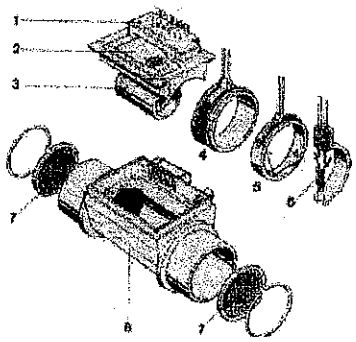
Caudalímetro de hilo caliente.
Caudalímetro potenciométrico.

3.3.7.2.1. Caudalímetro de hilo caliente

Este tipo de caudalímetro es utilizado en todas las diversas clasificaciones de sistemas de inyección, provee una medición del caudal del aire circulante independientemente de la variación de la densidad del aire, un dispositivo típico es el que se muestra en la figura 38.

Puede observarse su construcción la cual consta de un anillo (5) sobre el cual se monta un hilo fino de platino de muy baja sección, dicho arreglo se haya dentro de un sostén (8) que posee una forma tal que tiene una entrada y una salida de aire, protegidas ambas por rejillas (7); junto al hilo se hallan unas resistencias, una de compensación térmica (6) y una de medición (4), teniéndose arriba de este arreglo, la placa de circuito impreso (1) que posee el circuito híbrido (2) quien efectúa las funciones de medición, regulación y autolimpieza.

FIGURA 38. Caudalímetro por hilo caliente



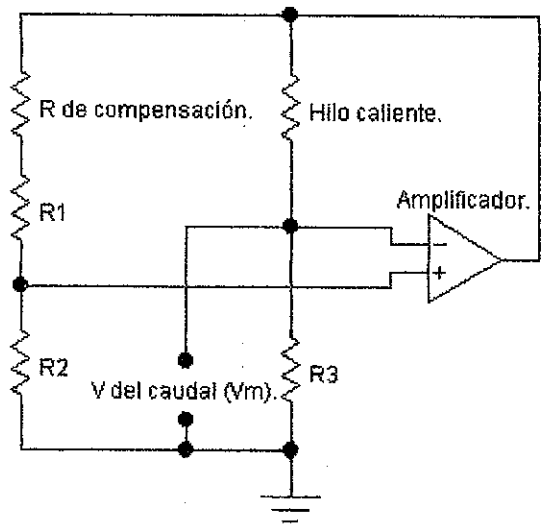
Fuente: Tecnologías avanzadas del automóvil. José Alonso, página 103.

Su funcionamiento se basa en el principio de temperatura constante, el hilo forma una rama de un circuito resistivo en puente (ver figura 39), en el cual su tensión diagonal se regula a cero variando la corriente de calentamiento, de tal suerte que si aumenta el caudal del aire el hilo tiende a enfriarse, lo que provoca una disminución de su resistencia con lo que se desequilibra el puente, dicho desequilibrio hace que actúe el circuito de regulación, el cual aumenta la corriente de calefacción hasta que el hilo recupera su temperatura inicial, dándose de esto una relación directa entre el flujo de aire y la corriente calefactora, es decir que esta corriente es una medida de la masa de aire aspirada por el motor.

Ya que el hilo posee una masa muy pequeña las variaciones de temperatura originadas por las variaciones de caudal de aire pueden ser muy rápidamente corregidas, lo que nos da una capacidad de repuesta casi instantánea a los cambios. La corriente que soporta la resistencia que representa el hilo se mide como una caída de voltaje en la resistencia de precisión, ambas resistencias se dimensionan de forma tal que la corriente de caldeo varíe ente 0.5 y 1.2 amperios, dependiendo del caudal de aire.

En la otra rama del puente se halla la resistencia de compensación térmica, que produce una corrección según sean las variaciones de la temperatura del aire cuyo caudal se va a medir.

FIGURA 39. Circuito de medición por hilo caliente.



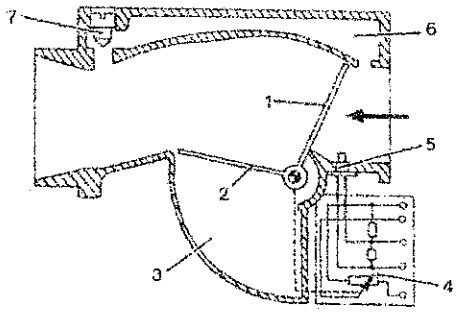
3.3.7.2.2. Caudalímetro potenciométrico

Se halla colocado generalmente entre el filtro de aire y la placa aceleradora. Ya que el aire debe pasar por el medidor antes que por el motor, al haber aceleración, la señal en el caudalímetro se adelanta temporalmente al llenado efectivo del cilindro, con lo cual se aumenta adelantadamente la riqueza de la mezcla en la aceleración, lo que es conveniente para el funcionamiento correcto del motor al haber aceleraciones.

Un caudalímetro típico se grafica en la figura 40, la medición se lleva a cabo por medio de un potenciómetro (4), el cual proporciona diferentes valores eléctricos según la posición angular de la sonda mariposa (1), la cual es una válvula de compuerta que el aire se ve obligado a desplazar en su camino hacia el interior del colector de admisión. Cuanto mayor es la cantidad de aire entrante, mayor es el desplazamiento angular de la sonda mariposa, lo cual se traduce en valores eléctricos diferentes a lo largo de la serie de resistencias.

En (2) y (3) se grafica la mariposa y la cámara de compensación respectivamente, (5) muestra el sensor de temperatura del aire, (6) es el canal de paso alterno para el ralentí y (7) es el tornillo de ajuste.

FIGURA 40. Esquema de un medidor potenciométrico



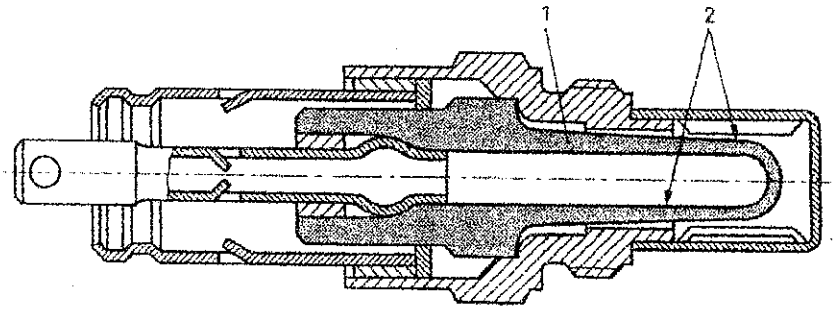
Fuente: Inyección de gasolina. Miguel de Castro, página 146.

3.3.7.3. Sensor Lambda

Para proveer a los sistemas de inyección de una forma práctica para conocer la toxicidad que presentan las emanaciones en el escape del motor, con el fin de reducir esta a niveles inocuos, estos son dotados de un sistema de realimentación de información del estado real de las emanaciones, siendo el más utilizado el sistema de regulación de riqueza de mezcla por sensor Lambda.

En la actualidad se utilizan para la fabricación de estos sensores el dióxido de circonio y el dióxido de titanio; para aplicaciones masivas se emplean los de dióxido de circonio (ver figura 41); básicamente consiste en un trozo de esta substancia en forma de abrazadera (1) que esta dotado de electrodos delgados de platino (2) que son depositados en las caras internas y externas del material. El electrodo interno queda en exposición al aire y el electrodo externo al gas de escape a través de un recubrimiento protector poroso.

FIGURA 41. Constitución de un sensor Lambda



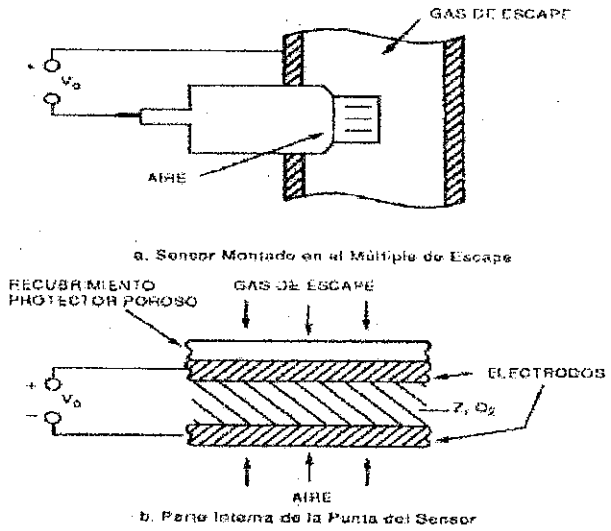
Fuente: Inyección de gasolina. Miguel de Castro, pág. 154.

Su funcionamiento (ver figura 42) puede explicarse basándose en la distribución de los iones de oxigeno, ya que estos poseen dos electrones en exceso por lo que posee carga negativa, el dióxido de circonio tiene una tendencia a atraer los iones de oxigeno y a acumularlos en la superficie del mismo en contacto con los electrodos de platino, la placa en contacto con el aire se encuentra expuesta a una mayor concentración de iones de oxigeno que la superficie correspondiente al gas del escape.

El electrodo de aire se hace eléctricamente más negativo que el electrodo de gas, apareciendo entonces una diferencia de potencial entre ambos electrodos, la cual tienen una magnitud que es funcion de la concentración de oxígeno en el gas de escape y de la temperatura del sensor.

El voltaje obtenido a la salida del sensor es aplicado a una de las entradas de la unidad electrónica de control, la cual toma la decisión de aumentar o disminuir la riqueza de la mezcla, con el propósito de bajar a lo mínimo la toxicidad del gas de escape.

FIGURA 42. Funcionamiento de un sensor Lambda.



Fuente: Comprendiendo electrónica del automóvil. Ribbens, página 164.

3.3.8. Sistemas prácticos de inyección de combustible

Teniéndose en cuenta que los sistemas de inyección son básicamente una mezcla de sus diferentes clasificaciones, y habiendo una cantidad importante de fabricantes de los mismos, se hace factible desde el punto de vista analítico del funcionamiento de los sistemas, hacer el estudio de los sistemas de un fabricante masivo y que sea de amplio uso en la práctica.

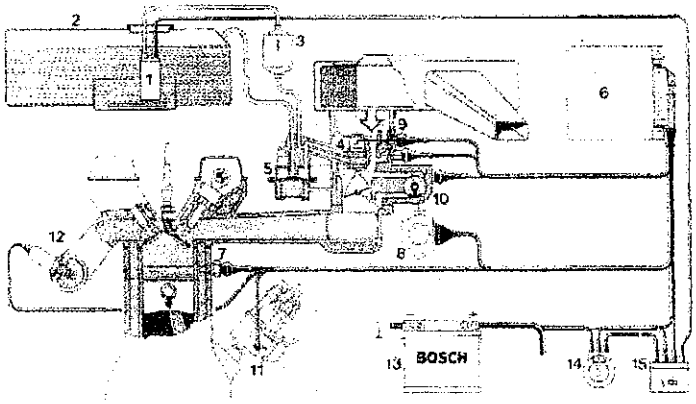
Se tomaran un modelo de cada sistema que presenta la casa alemana Bosch, que ha sido pionera en este campo, además de que sus sistemas se utilizan en varias marcas de automóviles, por lo cual se hará una descripción de los sistemas que sean los más representativos de dicha marca.

3.3.8.1. Sistema de inyección Bosch Mono-Jetronic®

Pertenece a la clasificación de los sistemas monopuntuales (trabaja a presiones de poco mas de un bar), son de amplio uso en autos económicos ya que la diferencia en precio con los sistemas multipuntuales es grande.

Básicamente consta de un inyector único que se coloca en lugar de un carburador convencional, su diagrama de conexionado se grafica en la figura 43.

FIGURA 43. Sistema de inyección Bosch Mono-Jetronic®



Fuente: Inyección de gasolina. Miguel de Castro, página 223.

Puede observarse la válvula de inyección (4), que es única para todos los cilindros del motor, se encuentra colocada previa a la válvula de mariposa de aceleración, dicha válvula a diferencia de un sistema carburado no dosificará en función al aire aspirado sino en función de los pulsos de apertura que reciba de la unidad electrónica de control UEC (2).

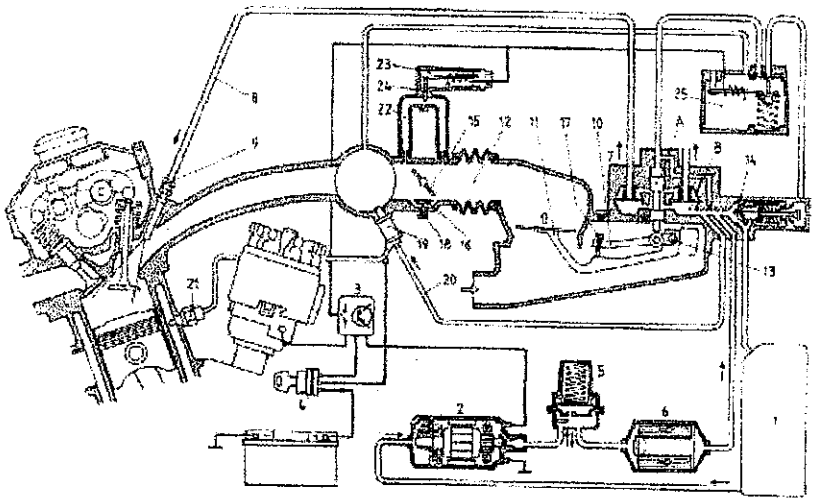
La forma de funcionamiento del sistema es la siguiente: una bomba eléctrica (1) impele el combustible contenido en un depósito (2), a través de un filtro llegando posteriormente a una válvula de inyección (4), donde se mantiene a una presión estable por la acción de un regulador de presión incorporado (5), es en dicha válvula donde se producen las pulverizaciones de combustible.

La unidad electrónica de control se encarga de tomar los datos obtenidos por medio de los sensores de temperatura del motor (7), el interruptor de la mariposa de aceleración (8), el sensor Lambda (12) y el caudalimetro de aire (9) que en este caso es del tipo de hilo caliente; posteriormente al proceso manda señales de control a la válvula de inyección (14) y al corrector de velocidad ralentí (10).

3.3.8.2. Sistema de inyección K-Jetronic®

Este sistema corresponde al tipo de inyección multipunto, con un mando hidromecánico de características autónomas (no requiere de mantenimiento), con inyección continua a baja presión en los colectores de admisión. Su estructura se grafíca en la figura 44.

FIGURA 44. Sistema de inyección Bosch K-Jetronic®



Fuente: Inyección de gasolina. Miguel de Castro, página 44.

Su funcionamiento es el siguiente: una bomba eléctrica (2), aspira el combustible del deposito (1) y lo envía a presión al dosificador-distribuidor (A), a través de un acumulador de combustible (5), pasando posteriormente por un filtro (6), la presión de la alimentación es mantenida rigurosamente constante debido a la presencia de un regulador especial (14), el cual se halla unido al dosificador-distribuidor; de ahí el combustible llega de forma continua hacia cada uno de los inyectores (9) que lo pulverizaran en la cámara de combustión en los momentos precisos. El regulador de mezcla (7), tiene la función de proporcionar la relación de aire con combustible adecuada, esta formado por un caudalímetro de aire (11) y el dosificador-distribuidor.

El primero de estos esta conformado por una placa situada en un difusor, el cual toma una posición que es función del aire que pasa a través de los cilindros, el movimiento resultante de la placa es transmitido por palancas a un pistón de control que se halla incorporado al dosificador-distribuidor, dicha posición del pistón determina con su rampa de distribución el paso de combustible a cada uno de los inyectores, a los que es distribuido por medio de un regulador de presión diferencial.

La medición del caudal de aire y la dosificación del combustible es optimizada para el ralentí por medio de un tornillo de ajuste (17), el cual fija la posición de reposo para la placa sensora y por ende del pistón de control. Para lograr los arranques en frío, se dispone de un inyector especial (19) que está gobernado por medios electromagnéticos, el cual inyecta una cantidad adicional de combustible en el colector de admisión, en una caja de aire formada al efecto.

Un termocontacto con temporización (21) determina la duración de funcionamiento de dicho inyector, y un mando de aire adicional (23) estabiliza la velocidad de ralentí; durante la fase de calentamiento del motor, el regulador de calentamiento y de presión de mando (25) proporciona enriquecimiento de la mezcla, hasta que el motor alcanza su temperatura de operación. En este sistema el circuito de alimentación de combustible lo constituyen la bomba (2), el acumulador (5), el filtro (6) y el dosificador-distribuidor (A).

3.3.8.2.1. Acumulador de combustible

Es un dispositivo que tiene dos funciones dentro del sistema de inyección: una, se encarga de amortiguar el impulso creado por la bomba de alimentación, con lo que se regula el flujo de gasolina a una presión especifica y dos, se encarga de mantener la presión de funcionamiento determinado tiempo después de haber sido parado el motor, lográndose así evitar el vapor que se produce por el calentamiento del combustible, que tiene lugar con el cese de la circulación del mismo.

3.3.8.2.2. Regulador de presión de alimentación

Para la correcta dosificación en los inyectores, se requiere que la presión de alimentación sea ajustada con exactitud, esta es la función del regulador, el cual se encuentra implantado en el conjunto dosificador-distribuidor, está dotado de un cheque con un muelle antagonista, cuando la presión de alimentación supera a la fuerza del muelle, se abre un conducto de retorno que vierte el exceso de combustible al deposito.

3.3.8.2.3. Inyector

En este sistema no se trata de un dispositivo de tipo electromecánico, se trata de un limitador de paso del carburante, el cual es controlado por diferencias de presión entre la provocada por el flujo de gasolina y la producida por un muelle antagonista, los inyectores van montados en el colector de admisión, uno en cada cilindro, con la interposición entre su cuerpo y el colector de un anillo tórico de caucho para evitar la formación de bolsas de vapor en los conductos de inyección, que crean dificultades al arrancar en caliente; el combustible llega al inyector procedente de la cabeza distribuidora.

En este sistema los inyectores no tienen una función de dosificación, sino la función única de proporcionar una pulverización adecuada, ya que en este tipo de sistemas el inyector se abre automáticamente cuando la presión del combustible alcanza cierto valor, lo cual permite el flujo de éste con una orientación conveniente. Se da así una mezcla óptima, aprovechando las turbulencias del aire en las proximidades de las válvulas de admisión, en el momento de apertura de las mismas.

La construcción interna de un inyector para este sistema incluye una pieza en forma hexagonal (que sirve para su montaje y desmontaje), donde va alojado un filtro de paso individual, a través del cual pasa el combustible hasta una buza (parte inferior), ahí se tiene una válvula de aguja, a través de la cual se pulveriza y vierte el combustible, cuando la presión de inyección es mayor a la que tiene el muelle antagonista (dicha presión es generalmente de 3.5 bares).

Mientras funciona el inyector se produce una vibración de alta frecuencia, la cual es la que permite la pulverización del combustible, dicha vibración es el resultado de las variaciones de presión que se tienen con las descargas de combustible a través de la válvula, la cual oscila con una frecuencia aproximada de 1,500 Hertz (incluso con caudales relativamente bajos), con lo que resulta la pulverización de combustible de forma optima en toda la gama de condiciones de funcionamiento.

3.3.8.2.4. Caudalímetro de aire

En este sistema, el caudalímetro de aire (11) corresponde al tipo potenciométrico, se halla colocado en la corriente de aire, entre el filtro y la mariposa de gases.

Consta básicamente de un embolo dosificador, el cual se halla acoplado a una placa sensor por medio de una palanca pivoteada, del lado del émbolo se halla un contrapeso, la operación de tal arreglo es la siguiente: al tenerse la placa sensor en el conducto de paso del aire aspirado por los cilindros del motor, se tiene un desplazamiento proporcional hacia arriba de la misma respecto a la cantidad de aire aspirado.

De esta forma se ejerce una fuerza que trata de equilibrar la fuerza que supone el contrapeso, lo que se traduce en una posición de equilibrio que determina a su vez la posición del embolo dosificador dentro de su cilindro, con lo que se tiene una cantidad determinada de combustible a su salida; es decir, que el volumen de aire aspirado controla la cantidad de combustible a ser inyectado, con lo que se tiene una autorregulación de mezcla.

3.3.8.2.5. Dosificador-distribuidor

También denominado regulador de mezcla (7), tiene la función de llevar el control de la cantidad de combustible que se proporciona al motor, teniendo al mismo tiempo la tarea de distribuirlo equitativamente a cada uno de los cilindros.

3.3.8.2.6. Placa aceleradora

Llamada también mariposa de gases, se encuentra localizada en el conducto de admisión, entre el regulador de mezcla y la caja de aire (19). Se encuentra acoplada mecánicamente al pedal del acelerador, y controla el volumen de aire suministrado al motor en todo momento; tomándose esto como referencia para la determinación de la cantidad de combustible requerida, la cual es dada por el dosificador, tomando como referencia la posición de la placa sensor en el caudalímetro.

Para el funcionamiento en ralentí, se dispone de un conducto alternativo (ver detalle en 16), el cual se halla paralelo al paso principal de aire, ya que en ralentí este se encuentra completamente obturado, con lo cual el caudal de aire necesario pasa únicamente por el conducto secundario, pudiéndose controlar la velocidad por medio del tornillo de ajuste que lo estrangula (18).

3.3.8.2.7. Dispositivo de aire accesorio

Para lograr un funcionamiento óptimo del motor, se requiere un enriquecimiento de la mezcla así como de un ralentí acelerado, mientras se logra el calentamiento del motor. Para poder satisfacer ambas condiciones se utiliza un inyector auxiliar (para suministro de combustible), así como de un dispositivo auxiliar de abastecimiento de aire. Dicho dispositivo (23), se encarga de obturar el conducto de aire paralelo al de ralentí.

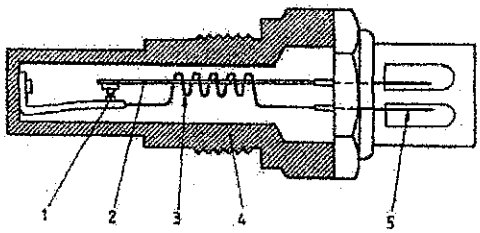
3.3.8.2.8. Dispositivo para arranque en frío

Para proporcionar el enriquecimiento de mezcla necesario para el arranque y funcionamiento en frío del motor, se hace uso de un inyector auxiliar en la caja de aire, inserto en el conducto de admisión (19), el cual inyecta un agregado de combustible en un lapso que es determinado por un termocontacto temporizado (21), el cual depende de la temperatura del motor.

3.3.8.2.9. Temporizador termostático

Es el encargado de controlar la acción del inyector auxiliar, como se muestra en la figura 45 está constituido por una lamina bimetálica, un par de contactos y un elemento calefactor. El temporizador se alimenta por medio de un terminal externo (5) que tiene conexión interna al calefactor, desde el relé de arranque, con lo que se tiene su funcionamiento en el momento justo cuando se va a poner en marcha al motor. El otro terminal externo (5) recibe la corriente de control del inyector, cerrando circuito a tierra por medio del par de contactos (1). El cuerpo del temporizador (4) se encuentra en contacto con el refrigerante del motor, de manera tal que al producirse un aumento en la temperatura del motor, se produce otro tanto en su refrigerante el cual produce dentro del dispositivo una curvatura diferente en el bimetálico, llegándose a una temperatura tal que se curva de manera tal que abre los contactos (1), que a su vez cortan el flujo de corriente al inyector, cesándose la aplicación extra de combustible.

FIGURA 45. Construcción interna de un temporizador termostático



Fuente: Inyección de gasolina. Miguel de Castro, pág. 153.

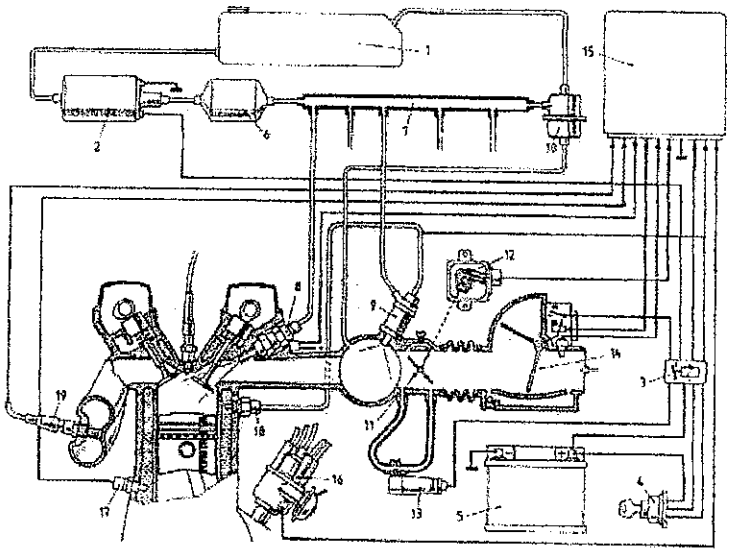
Con el motor frío, antes de ser activado el motor de arranque, se hace pasar una corriente eléctrica por la resistencia (3), que pasado cierto lapso, es capaz de calentar la lamina bimetálica de forma tal que puede producir su curvatura, con la consiguiente apertura de los contactos (1), evitando que se siga inyectando combustible, lo que podría ahogar el motor, si eventualmente no se logra el arranque inmediato del motor.

3.3.8.3. Sistema de inyección Bosch L-Jetronic®.

Este sistema corresponde a los sistemas de inyección intermitente a baja presión, controlada por medio de un sistema electrónico, en el cual el volumen del aire aspirado por los cilindros del motor es medido de una forma casi instantánea, y que sirve como referencia para la determinación de la cantidad de combustible a ser inyectado, función realizada por inyectores electromagnéticos, cuya duración de apertura es directamente proporcional a la cantidad de combustible suministrado, y determinada por el módulo de control electrónico.

Consiste, básicamente, en un deposito de combustible (1), del cual se extrae por medio de una bomba eléctrica (2), lo aplica a un filtro (6), que lo pasa a una rampa distribuidora (7), que a su vez suministra de combustible a los inyectores (8) y al regulador de presión (10), el cual es el encargado de retornar al deposito el combustible no inyectado. El diagrama de interconexión de sus diversos componentes se muestra en la figura 46.

FIGURA 46. Sistema de inyección Bosch L-Jetronic®



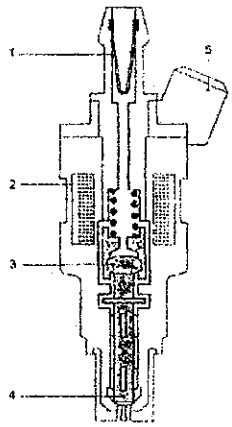
Fuente: Inyección de gasolina. Miguel de Castro, página 136.

3.3.8.3.1. Inyector

En este sistema, los inyectores son de tipo electromagnético, muy similares a los descritos para arranque en frío (ver figura 45), se componen de un bobinado (2), que al ser energizado vía el conectador externo (5), produce la atracción del núcleo (3) que vence la acción del muelle antagonista, con lo que retira de su asiento a la aguja (4).

Lo anterior permite la pulverización del combustible que es aplicado a presión en la parte superior (1) del inyector, al no haber corriente de excitación, el muelle aplica la aguja contra su asiento, cortando la pulverización.

FIGURA 47. Construcción interna de un inyector electromagnético



Fuente: Tecnologías avanzadas del automóvil. José Alonso, página 97.

3.3.8.3.2. Inyector para arranque en frío

Posee una función parecida a la descrita en el sistema de inyección K-Jetronic, es decir, el enriquecimiento de la mezcla en el arranque y en el funcionamiento en frío, con la diferencia que en el sistema L-Jetronic, se obtiene un enriquecimiento de la mezcla por medio del aumento del volumen de combustible inyectado, en función de la temperatura del motor; para tal medición de temperatura se utiliza una sonda en contacto con el refrigerante del motor, que posee en su interior una resistencia de tipo NTC (coeficiente negativo de temperatura), que como se sabe sufre cambios en su valor óhmico en función de los cambios de temperatura aplicados a su cuerpo.

La señal de salida es aplicada al modulo de control, el cual controla la corriente de control de apertura de los inyectores, aumentando o disminuyendo la duración de la misma, en función de las necesidades del motor.

Durante la fase de calentamiento del motor, el volumen de aire adicional es controlado de manera similar a la explicada en el sistema K-Jetronic, con la implantación de una válvula de aire adicional, que establece un camino de puente a la mariposa de gases.

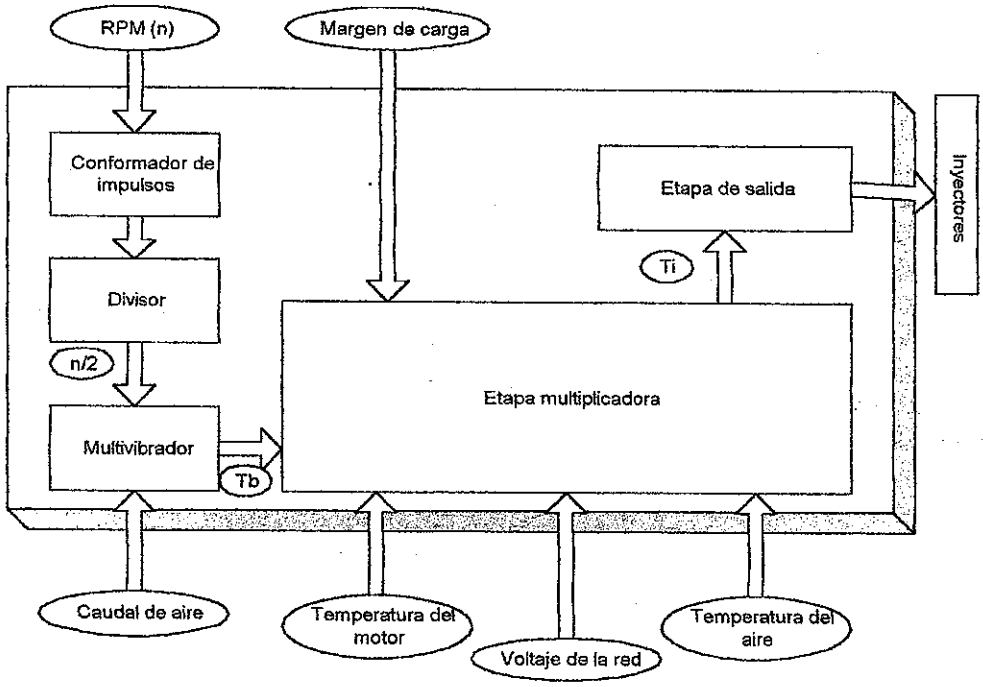
3.3.8.3.3. Unidad electrónica de control (UEC)

Para entender el funcionamiento de la unidad de control en sí, se muestra el diagrama de bloques de la misma, el cual se grafica en la figura 48.

Los dos parámetros fundamentales que determinan el tiempo que deben estar abiertos los inyectores vienen dados por el numero (n) de revoluciones del motor (o régimen de giro) y el caudal de aire circulante en el colector de admisión (medida potenciométrica producida en el caudalímetro de aire).

El régimen de giro del motor es aplicado al conformador de impulsos, en donde la señal es procesada de manera tal que se reduce su amplitud a la mitad, así como se produce la conversión a señales rectangulares que son de una mayor facilidad para su proceso posterior.

FIGURA 48. Diagrama de bloques de una unidad electrónica de control para un sistema de inyección Bosch L-Jetronic®



Seguidamente se tiene el multivibrador de control de división, el cual elabora con ambas señales variables en su entrada, una señal de salida también variable denominada *tiempo básico de inyección* (Tb.), el cual será procesado en un bloque posterior junto con otros parámetros, dicho Tb se modifica de manera constante de acuerdo tanto con las variaciones de régimen de giro del motor, como con las posiciones angulares de la mariposa-sonda.

La señal Tb es aplicada al bloque de la *etapa multiplicadora*, la cual recibe además en sus otras entradas, las señales provenientes de los sensores de temperatura del aire, de temperatura del motor, de voltaje existente en el sistema eléctrico, así como del estado de plena carga, todo ello aplicado por transductores eléctricos adecuados. Con los valores proporcionados de estos parámetros mencionados, el multiplicador calcula un *tiempo de corrección* (Tc) y lo multiplica por el tiempo básico de inyección (Tb) que previamente había sido proporcionado por el multivibrador.

En una etapa posterior, el tiempo resultante se sumara al Tb, con lo que tenemos un tiempo resultante Ti, el cual es un factor de enriquecimiento que actúa de forma muy efectiva en determinados casos, como por ejemplos, si se tiene una temperatura baja en el motor (motor recién en marcha), la mezcla se enriquece (incluso una mezcla el doble o triple que en marcha normal), o si el voltaje de alimentación fuese muy bajo, en virtud de que la apertura de los inyectores depende del voltaje aplicado a sus bobinas de accionamiento, se debe tener una corrección en este parámetro para lograr un funcionamiento correcto.

Al recibir la etapa multiplicadora información vía sus sensores de una situación de voltaje muy bajo, esta proporciona las respuestas necesarias para aumentar el *tiempo de impulso del voltaje* (Tt), por lo cual los inyectores pueden ya proporcionar el caudal necesario para cada caso. De todo lo anterior tenemos una salida de la etapa multiplicadora, denominada como tiempo de inyección (Ti) que es el resultado de la adición de los tiempos básicos de inyección, de corrección y de impulso del voltaje, es decir, Ti = Tb + Tc + Tt, el cual supone la duración que va a necesitar el impulso eléctrico en la bobina de cada inyector para que este se abra y proporcione la dosificación necesaria, dependiendo de los parámetros considerados.

El proceso descrito anteriormente se puede visualizar y posteriormente analizar de una manera más factible, observando el diagrama de tiempos correspondiente, el cual se muestra en la figura 49.

En primer lugar tenemos en la parte alta (A), el orden de un encendido de un motor prototipo representado por las flechas en zigzag, así como el tiempo que permanecen abiertas las válvulas de admisión de cada cilindro (en este caso se trata de un motor de cuatro cilindros), teniéndose una referencia de los grados de giro del cigüeñal.

En la parte B del diagrama de tiempos, un oscilograma de la chispa de ignición, con su pico y sus oscilaciones amortiguadas hasta su extinción, dicha señal es tratada por un conformador de impulsos (tal como un disparador de Schmitt), donde se obtiene a su salida una forma de onda rectangular, con un periodo igual al de las oscilaciones amortiguadas, la forma de salida del conformador se grafica en C.

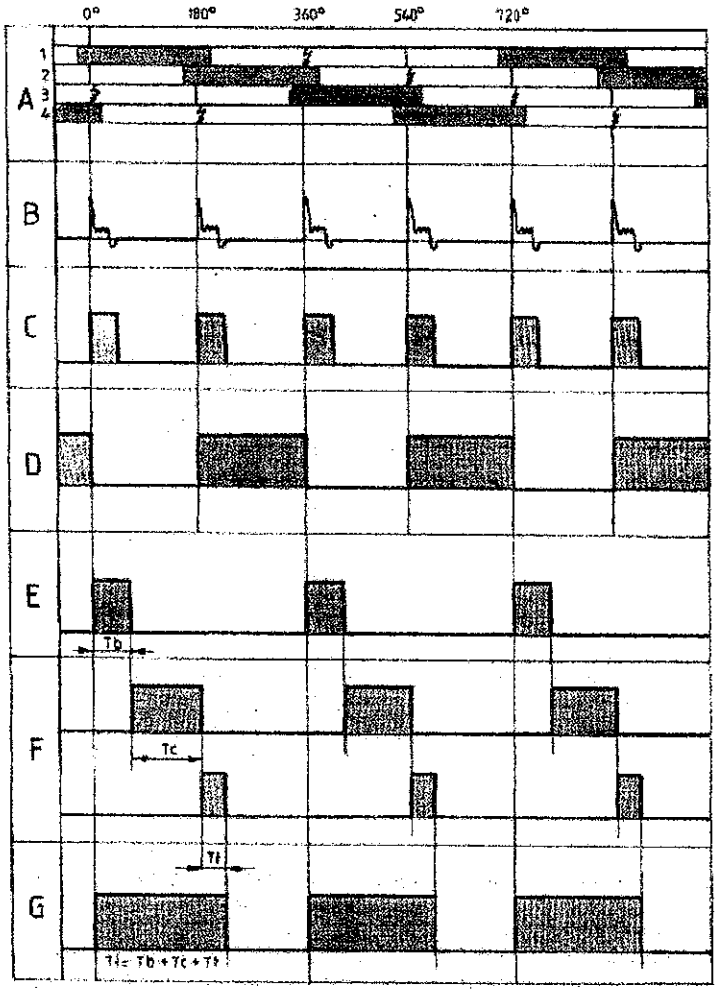
Se tiene en D la acción del divisor de frecuencia, que como su nombre lo indica produce una división entre dos de la serie de impulsos de activación de los inyectores, en virtud de que estos se abren y cierran simultáneamente, con una acción tal que en cada giro de 360 grados del árbol de levas se inyecta dos veces la mitad de la gasolina necesaria para cada cilindro para tener un resultado final óptimo.

En la parte E se tiene la acción del parámetro dado por el caudal de aire a través del multivibrador, con su resultante: el tiempo básico.

A continuación, en F se tiene el resultado obtenido de la acción de los tiempos de corrección que introduce la etapa multiplicadora, con los resultantes tiempo de corrección y tiempo de impulso del voltaje.

La señal resultante de todo el proceso interno de la unidad de control lo tenemos en G, la sumatoria de los tiempos básicos, de corrección y de voltaje, da como resultado el tiempo de inyección (Ti), que abarca los grados indicados y que sufre variaciones según las condiciones de funcionamiento del motor.

FIGURA 49. Diagrama de tiempos de una unidad electrónica de control



Fuente: Dispositivos electrónicos en el automóvil. Stefano Gillieri, página 220.

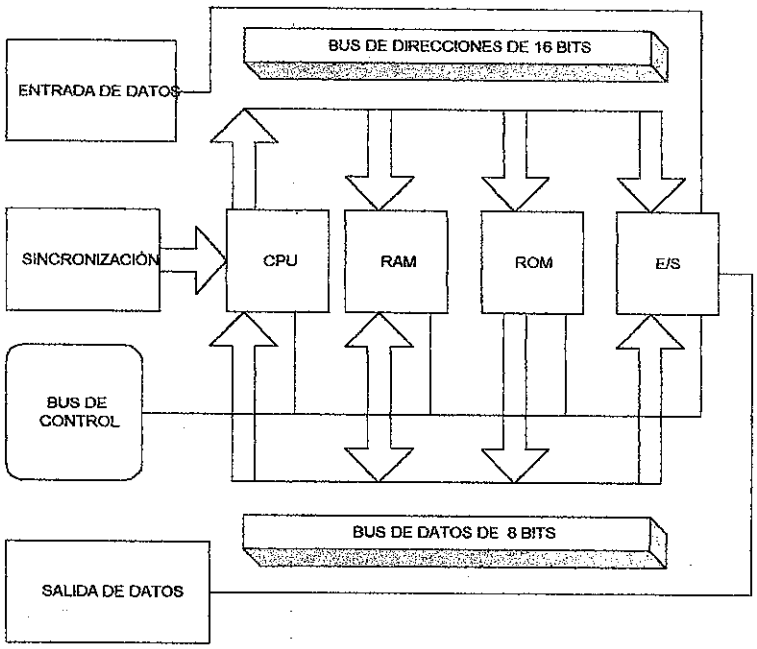
3.3.9. Control electrónico del motor

3.3.9.1. Principios del control electrónico en el motor

Los microprocesadores tienen una amplia aplicación en el control automotor, entre ellos cuentan el control del motor, el desplazamiento del vehículo, el frenado (frenos ABS), sistemas de seguridad y entretenimiento, etc., siendo el primero de ellos uno de los más importantes, se trata en cada uno de los casos de un microprocesador dedicado a una función específica.

La topología básica de la arquitectura de la computadora para cada uno de los sistemas de control antes enumerados es virtualmente la misma, colocándose subsistemas que sean adecuados a cada aplicación en particular, tal arquitectura se presenta en la figura 50.

FIGURA 50. Diagrama de bloques para una computadora de control automotriz básica



En este diagrama de bloques se representa al microprocesador o Unidad de Central de Proceso (UCP), interconectado a los otros componentes por medio de tres buses, siendo estos el bus de direcciones (AB de las siglas en inglés de Address Bus), el bus de datos (DB de las siglas en inglés de Data Bus) y el bus de control (CB siglas en inglés de Control Bus).

Los buses consisten en un haz de conductores que transmiten las informaciones binarias, para una computadora típica de automóvil, estos buses son de 8, 8 ó 16, 3 ó 4 conductores para los buses DB, AB y CB; respectivamente.

La operación de la computadora de propósito especial es controlada por un programa almacenado en ROM (read only memory, memoria solo de lectura), de forma tal que la UCP genera una secuencia de direcciones en la ROM para poder asi obtener cada instrucción en la correspondiente secuencia. Es esta memoria la que proporciona flexibilidad al sistema, ya que para su actualización solo se requiere del cambio del chip de ROM, permaneciendo el hardware asociado inalterado.

También la computadora de propósito especifico, posee una RAM (random access memory, memoria de acceso aleatorio), la cual se utiliza para fines varios: almacenamiento temporal de resultados obtenidos, almacenamiento de variables, almacenamiento de pila, etc.

Los elementos de entrada y salida, son los encargados de ser las interfaces entre la computadora y el sistema específico en el automóvil, una computadora típica tiene dos puertos de datos de 8 bits cada uno para la conexión de dispositivos periféricos y un puerto de 8 bits también para la conexión al bus de datos de la computadora.

Si el microprocesador se encuentra habilitado para transferir o recibir datos del dispositivo de entrada/salida, el procesador genera una dirección especifica, la cual posteriormente decodificada por la lógica estandarizada, genera una señal eléctrica que habilita las entradas de selección del chip de entrada/salida, activándose también las salidas de lectura/escritura para asi poder recibir o transmitir una señal a un dispositivo periférico.

3.3.9.2. Teoría básica de los sistemas de control

Para comprender como el sistema electrónico lleva a cabo un control sobre un sistema en particular, es necesario el analizar como funcionan los sistemas generales de control, para comenzar se debe tener en cuenta los requerimientos de estos sistemas, básicamente estos son cuatro:

a) Debe de cumplir su funcion con exactitud.
b) Debe de tener una rapidez de respuesta alta.
c) Debe de ser estable.
d) Debe de responder solamente a entradas deseadas (inmune al ruido).

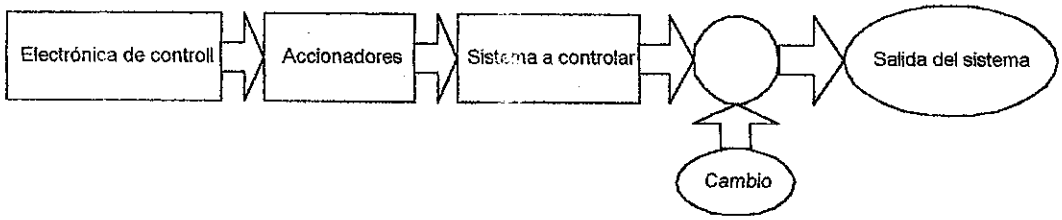
El fin de todo sistema de control es la determinación del parámetro de salida por medio de un control del parámetro de entrada, de acuerdo a las características operativas del controlador. A la relación entre la salida del controlador y la salida del sistema se denomina *función de transferencia del sistema* (H), al valor deseado de salida del sistema se denomina valor de referencia (Vr).

El comportamiento del sistema es controlado electrónicamente mediante un dispositivo electromecánico denominado accionador, específicamente para la aplicación del control de motores automotrices se pueden tener dos tipos de accionadores: el carburador controlado electrónicamente, o los inyectores (electroválvulas).

3.3.9.3. Sistema de control a lazo abierto

En la figura 51 se tiene un diagrama de bloques de un sistema de control básico, el comando de entrada acciona directamente sobre un bloque del sistema que realiza una operación de control de la entrada que a su vez genera una señal intermedia que sirve para controlar el sistema en particular, se denomina en lazo abierto puesto que la señal de referencia y la de entrada nunca se comparan; su principal inconveniente es su incapacidad de compensación a las variaciones en el controlador y en el sistema.

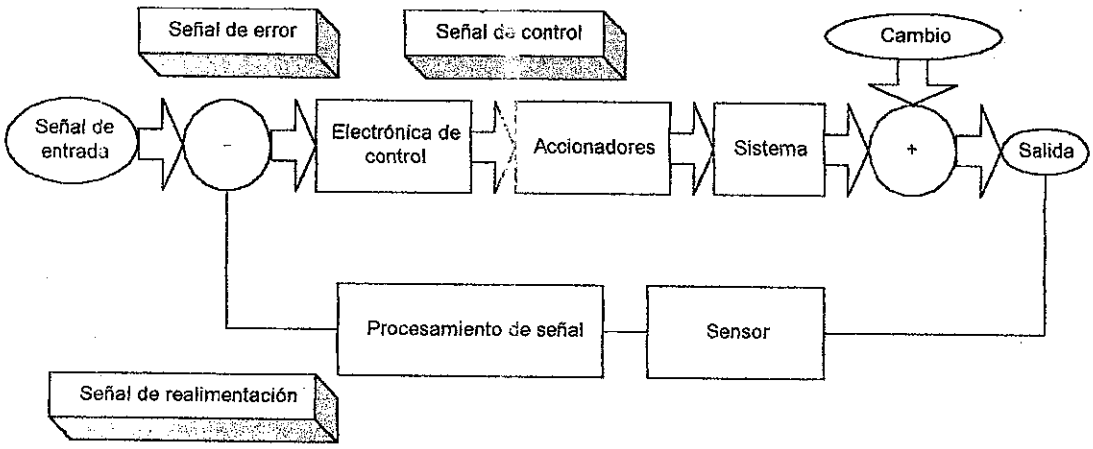
FIGURA 51. Diagrama de bloques de un sistema de control a lazo abierto



3.3.9.4. Sistema de control a lazo cerrado

El defecto atribuido a los sistemas de control abierto, es solventado en gran medida por un sistema que posee una realimentacion desde su salida, tal sistema se denomina de lazo cerrado, dicho sistema compara constantemente su salida con el valor referencia en concordancia con la entrada aplicada. Su diagrama básico en bloques es el mostrado en la figura 52.

FIGURA 52. Sistema de control a lazo cerrado



Puede observarse que la parte superior del diagrama es básicamente un sistema de control a lazo abierto, al cual se le han agregado además de un amplificador de error en su entrada, un sensor y un procesador de señal formándose asi una ruta de realimentacion desde la salida hacia la entrada.

El amplificador de error es el encargado de comparar la señal de entrada con la señal realimentada, la señal de error se obtiene al restar eléctricamente la señal de realimentacion de la señal de entrada, dicha señal de error es la entrada del sistema de control electrónico, el cual a su salida genera la denominada señal de control, esta es aplicada a un accionador que provee los cambios tendientes a la reducción del error entre la señal de salida y la referencia.

En el diagrama de bloques el sensor provee una medida de la salida del sistema (Xo), la señal de error E se obtiene sustrayendo Xo del valor referencia Xr, es decir que E=Xr-Xo, para luego ser amplificado por un factor G (Ganancia del amplificador), del cual su salida es la señal de control (Vc), es decir Vc= G E, de ahí el accionador hace que la salida del sistema se incremente en proporción directa a Vc.

En un sistema de control automotriz, la lógica de control se diseña de manera tal que el sistema tienda a seguir con la mayor precisión posible, las variaciones de la señal de entrada, una microcomputadora reemplaza al amplificador de error y a la lógica de control.

3.3.9.5. Tabla de valores

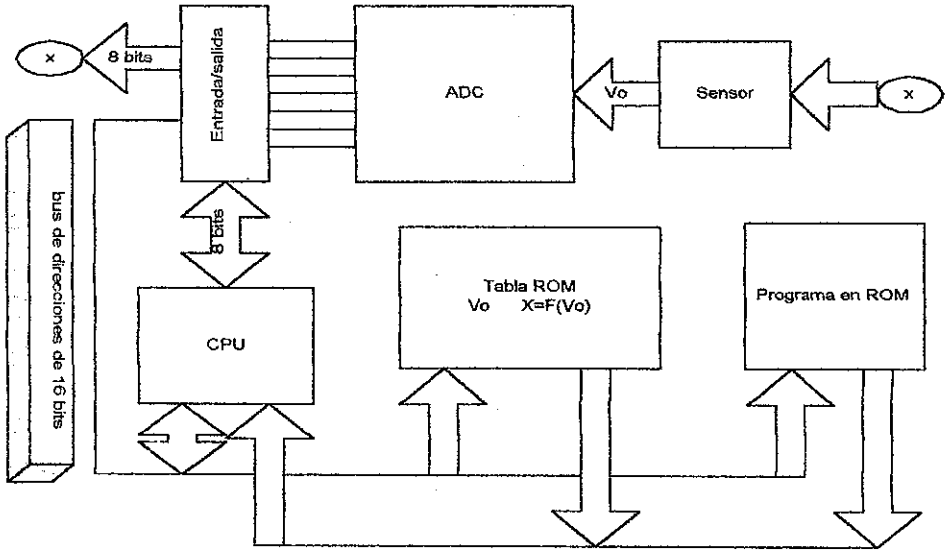
Como se había hecho alusión con anterioridad, se requiere de una tabla de valores (Look Up Table) en un sistema de microcomputadora, de manera tal que nos provee las siguientes funciones:

Multiplicación.
Conversión de calibración.
Linealización de datos provenientes de los sensores.

El concepto de tabla de valores descansa a su vez en el concepto matemático de función, es decir que tenemos la correspondencia unívoca F(X) = Y, de donde conocemos que para un determinado valor de X, corresponde un único valor de Y.

Si se sabe la función de correspondencia, en un sistema de control se tiene una función en forma de una tabla tabulada con diversos valores, teniéndose interpolaciones lineales cuando se requiere hallar el valor correspondiente de la función cuando se tienen dos valores consecutivos de la variable conocida. La microcomputadora tendrá a su entrada un valor dado por algún tipo de sensor (generalmente un voltaje), el valor X lo extraerá la misma su tabla de valores asociada. El diagrama de bloques en la figura 53 muestra como se opera la arquitectura involucrada en el proceso de la tabla de valores.

FIGURA 53. Diagrama de bloques del proceso de uso de una tabla de valores



Se tiene que la relación de un voltaje con una variable X, Vo(X), se representa por medio de una serie de pares ordenados de valores, los cuales se encuentran grabados en una ROM, teniéndose los valores V como direcciones y los valores X como datos.

La salida del sensor (un voltaje Vo), previo el paso por un convertidor A/D es aplicada a la entrada de la computadora por medio de los puertos de entrada/salida, de ahí la UPC bajo el control del programa grabado en ROM calcula las direcciones para los dos valores más próximos de Vo, siendo estos V1 y V2 (se tiene que V1 Vo V2), la microcomputadora lee los valores de X1| y X2, y calcula entonces X por medio de la fórmula expuesta, siendo aplicada al exterior por los dispositivos de entrada/salida.

3.3.9.6. Sistemas de múltiples variables

La lógica de control con una microcomputadora puede controlar independientemente múltiples sistemas o bien, sistemas con múltiples entradas y salidas, dichos sistemas son conocidos como de variables múltiples, como por ejemplo, en el motor del automóvil las variables que intervienen son tales como adelanto de la chispa de encendido, relación aire-combustible, temperatura del refrigerante, ángulo de la válvula mariposa, etc.. Estas entradas afectan a más de una salida, dichas salidas deben de ser controladas simultáneamente.

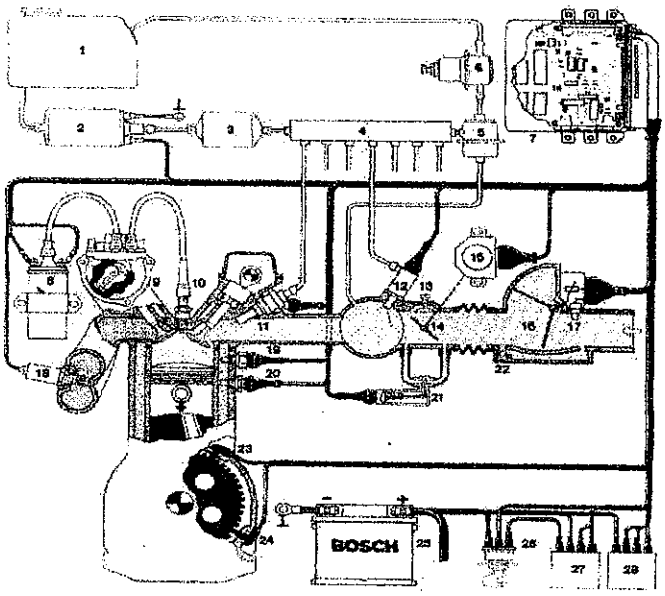
Estos tipos de controladores pueden resultar muy complejos y costosos para el dominio de la electrónica analógica.

Para la electrónica digital, una microcomputadora que pueda controlar un proceso a variable única, puede ser fácilmente adecuada, cambiando únicamente su esquema de control para poder controlar un sistema de múltiples variables, con un incremento en el costo muy bajo.

3.3.10. Sistema Bosch Motronic®

Este es un sistema que integra un control tanto del encendido como de la inyección del combustible, valiéndose para este fin de dos subsistemas, básicamente puede considerarse como un sistema L-Jetronic® al que se le ha adicionado un sistema de ignición del tipo integral, su diagrama de interconexión se muestra en la figura 54.

FIGURA 54. Sistema de inyección Bosch Motronic®



Fuente: Inyección de gasolina. Miguel de Castro, página 210.

Como puede observarse en la parte superior se tiene el circuito de alimentación típico del sistema Jetronic, compuesto por el tanque de gasolina (1), la bomba eléctrica de alimentación de combustible (2), el filtro (3) y la rampa de distribución (4), esta última es la encargada de la alimentación de los inyectores (en este caso son seis inyectores) así como del inyector de arranque, agregado a todo lo anterior un regulador de presión (5).

La diferencia con un sistema Jetronic radica en el agregado de un amortiguador de vibraciones (6) que provee un paso para la gasolina de retorno al tanque y evita la formación de burbujas de vapor ya que al existir recirculación del combustible mantiene baja la temperatura del mismo.

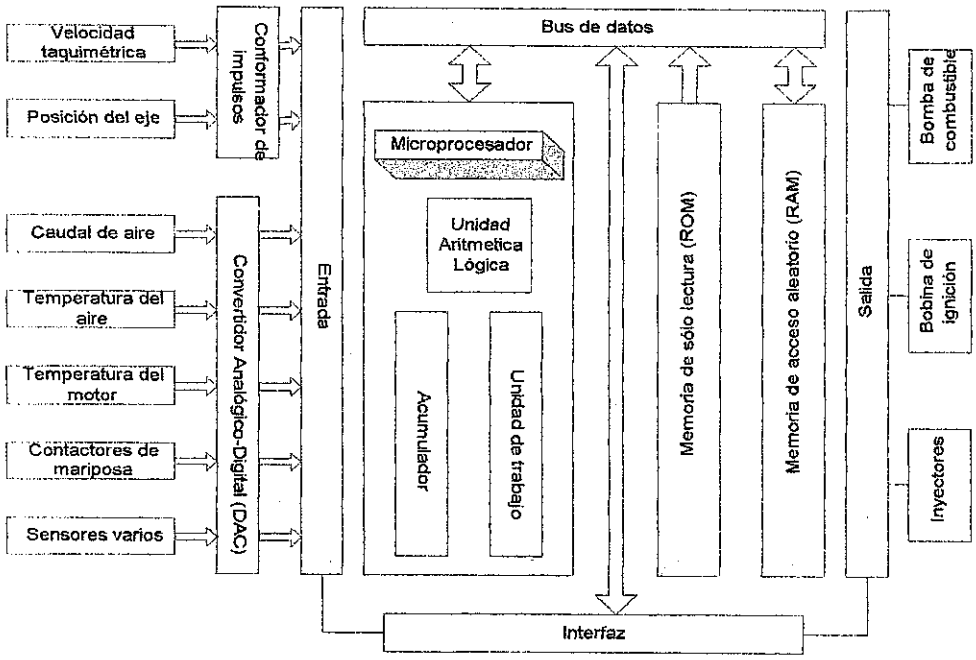
El caudalímetro en este sistema es del tipo de medición potenciométrica (serie resistiva), en el cual una mariposa del sensor (16) esta acoplada mecánicamente al cursor del potenciómetro, (17) representa el sensor de la temperatura del aire y (22) es el tornillo de ajuste de la velocidad de ralentí.

Completan el conjunto el termocontacto temporizado (19), el inyector de arranque en frío (12), el sensor de la temperatura del refrigerante (20), los inyectores (11), la caja de aire adicional (21), la mariposa de aceleración (14) y su caja de contactores(15), el sensor Lambda (18), y las bujías (10). El subsistema de ignición esta conformado por el captador de velocidad taquimétrica (24), el captador de referencia angular (24), la bobina de encendido (8), y el distribuidor con su captador magnético (9), se prescinde del uso de un sistema de avance del encendido, ya que las posiciones óptimas de aplicación de chispa están grabadas en la memoria de la unidad electrónica de control.

3.3.10.1. Unidad electrónica de control

Esta unidad es la encargada de controlar simultáneamente el sistema de inyección e ignición, tomando en cuenta las informaciones recibidas por cada uno de los sensores acoplados a partes importantes del motor, asi como datos que tiene grabados en su memoria; la unidad en bloques, se da en la figura 55.

FIGURA 55. Conexionado la UEC en un sistema Bosch Motronic®



Puede observarse a la izquierda todas las señales que entran a la unidad de control provenientes de los diversos sensores, en la parte superior se tienen las señales en forma de impulsos de voltaje (velocidad taquimétrica y posición angular), las cuales son aplicadas a un conformador de impulsos, el cual a su salida tendrá la señal en una forma que pueda ser fácilmente procesada (forma rectangular), dicha señal es llevada al procesador por medio del circuito de entrada/salida.

En la parte inferior se tienen las señales provenientes de los sensores que a su salida tienen señales en forma de variaciones de voltaje es decir de tipo analógico, y que para poder ser procesadas son aplicadas a un convertidor analogico-digital adecuado, de forma tal que su salida sea fácilmente acoplada al bus de datos.

El microprocesador esta compuesto por:

Una unidad aritmetica-logica (UAL o ALU por sus siglas en inglés): es el bloque encargado de generar con los datos de entrada las funciones aritméticas y las operaciones lógicas necesarias.

Acumulador: es la memoria intermedia que permite a la UAL guardar datos mientras trabaja con otros que tienen relación con lo que se esta procesando.

Unidad de control: es la encargada de permitir la entrada y salida de datos asi como el desarrollo de las operaciones.

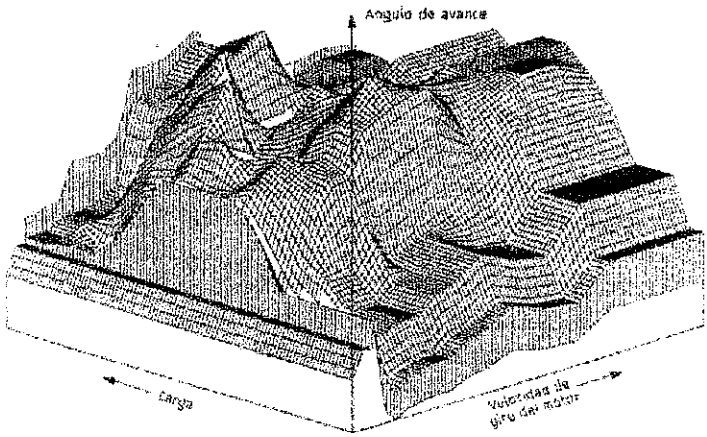
Un bloque de memoria ROM: la cual provee los datos y programas que la UAL precisa para saber que procedimiento seguir.

Un bloque de memoria RAM, provee los datos que van a ser procesados ya que se hallan grabados en ella provenientes de los sensores.

A la salida del bus de datos ya procesados se proveen los acopladores adecuados para la operación de los elementos a ser controlados tales como la bomba de gasolina, la bobina de ignición y los inyectores.

El punto más importante de este sistema es la determinación del ángulo de avance, ya que este es determinado por valores pregrabados en RAM, dichos valores para un sistema Motronic® pueden ser evaluados tomando en cuenta la carga y la velocidad de giro del motor, de forma tal que obtenemos una imagen cartográfica de todas las condiciones corrientes en la realidad, para este sistema la imagen plotea 512 puntos como muestra la figura 56.

FIGURA 56. Cartografía del ángulo de avance de un sistema Bosch Motronic®



Fuente: Inyección de gasolina. Miguel de Castro, página 217.

3.3.11. Pruebas de los dispositivos electrónicos utilizados

3.3.11.1. Prueba del sensor de temperatura

Esta prueba consiste básicamente en conocer las lecturas de resistencia que presenta el sensor a diferentes temperaturas y verificar que sean las correctas, para tal efecto se requiere de un ohmetro y un termómetro adecuado para ser aplicado al cuerpo del motor y que soporte temperaturas de hasta 100° Celcius, el medidor se coloca entre tierra y el terminal que posee en su cuerpo el sensor.

Salvo indicación contraria dada por el manual del fabricante, los rangos de valores son los siguientes:

A –10° C se tiene una resistencia entre 8,200 a 11,000 ohmios.
A +20° C se tiene una resistencia entre 2,280 a 2,720 ohmios.
A +40° C se tiene una resistencia entre 1,000 a 1,400 ohmios.
A +80° C se tiene una resistencia entre 290 a 370 ohmios.

3.3.11.2. Verificación del sensor Lambda

El sensor Lambda a una temperatura del escape entre 350 y 800 °C, debe tener una tensión entre 0,8 y 1,0 voltios para mezcla rica y de 0,05 a 0,07 para mezcla pobre, para tal medición se coloca un milivoltímetro de preferencia digital, acoplado con puntas para alta temperatura ya que la medición se hará entre los terminales del sensor.

3.3.12. Localización de fallas en sistemas de inyección

Para poder lograr un eficaz método de localización y resolución de fallas, se hará un enfoque sobre los dos sistemas más representativos y cuyo análisis de puntos de comprobación puede ser fácilmente aplicable a cualquier sistema (incluso sistemas integrales de inyección e ignición), no importando marca solo siendo necesario equiparar las características de operación, requiriendo para la aplicación del mismo una observación general del defecto como primera providencia.

En este método se presentan primeramente las posibles causas con una precedencia de mayor a menor probabilidad, posteriormente se plantean las acciones a seguir para tener un diagnóstico (el número de la causa probable tiene su respectivo número de acción a seguir) y de salir estas indicativas de falla el componente bajo prueba debe ser reacondicionado o reemplazado.

Este método debe ser aplicado después de haber efectuado en el motor las verificaciones siguientes:

1) Estado mecánico general (probar compresión, vacío, sistema eléctrico, etc.).
2) Estado del sistema de ignición (ver sección correspondiente).
3) Estado del sistema de distribución de alto voltaje.
4) Estado de las bujías.

Todo esto con el fin de anular la posibilidad de que el defecto presentado por el automóvil sea erróneamente cargado al sistema de inyección.

Los sistemas de inyección de combustible que nos servirán como modelo, son los siguientes:

* Sistema K-Jetronic.
* Sistema L-Jetronic.

3.3.12.1. Fallas en sistemas Bosch K-Jetronic®

3.3.12.1.1. El motor no arranca al estar frío

Posibles causas:

1) Deficiente funcionamiento de la bomba eléctrica de combustible.
2) El inyector de arranque en frío no se abre.
3) Falla en el termointerruptor.
4) Falla en el mando de aire adicional (cerrado).
5) Falla en el sistema mecánico del caudalímetro.
6) Falla en el sistema eléctrico del caudalímetro.
7) Falla en la presión de mando en la posición de frío.
8) Falla en el sellado del circuito de admisión.
9) Deficiencia en el sellado del circuito de alimentación de combustible.

Acciones a seguir:

1) Verificar la alimentación de la bomba de combustible (presión y caudal).
2) Verificar si se abre el inyector.
3) Probar la continuidad del termocontacto y las conexiones eléctricas.
4) Comprobar la apertura del mando.
5) Verificar si el móvil y el pistón de mando no se hallan atascados por suciedad.
6) Verificar serie de resistencias y contacto móvil, así como sus conexiones.
7) Verificar si la presión de mando se halla dentro de la tolerancia.
8) Buscar posibles fugas en el circuito completo.
9) Verificar mangueras, abrazaderas y componentes asociados.

3.3.12.1.2 El motor no arranca en caliente

Posibles causas:

1) Deficiente funcionamiento de la bomba de combustible.
2) Fallo en el sistema mecánico del caudalímetro.
3) Deficiente presión de mando en caliente.
4) Falta de sellado en el circuito de admisión.
5) Falta de sellado en el circuito de alimentación de combustible.
6) Defecto en la presión de apertura de los inyectores.
7) Falta de sellado de los inyectores.
8) Regulación deficiente de velocidad de ralentí.

Acciones a seguir:

1) Verificar la alimentación de la bomba de combustible (presión y caudal).
2) Verificar si el móvil y el pistón de mando no se hallan atascados.
3) Verificar si la presión en caliente no es demasiado alta o baja.
4) Determinar el estado del sellado del circuito de admisión completo.
5) Comprobar mangueras, acoples y componentes asociados.
6) Comprobar si la presión de apertura no es muy baja.
7) Comprobar el sellado de cada uno de los inyectores.
8) Verificar riqueza de la mezcla .

3.3.12.1.3. El motor arranca y se para rápidamente

Posibles causas:

1) Operación deficiente de la bomba de combustible.
2) Presión de mando en caliente deficiente.
3) Presión de alimentación deficiente.

Acciones a seguir:

1) Verificar la alimentación de la bomba de combustible (presión y caudal).
2) Comprobar si la presión de mando en caliente no es ni muy baja ni muy alta.
3) Comprobar si la presión de alimentación tiene un valor dentro de la tolerancia.

3.3.12.1.4. Ralentí irregular en el calentamiento

Posibles causas:

1) Inyector de arranque en frío defectuoso.
2) Mando de aire adicional defectuoso.
3) Presión incorrecta de mando en frío.
4) Falla en el sellado del circuito de admisión.
5) Inyectores defectuosos.
6) Caudal de combustible irregular.
7) Mal ajuste de velocidad de ralentí.

Acciones a seguir:

1) Verificar sellado del inyector.
2) Verificar la apertura del mando de aire adicional.
3) Comprobar si el valor de la presión de mando en frío es correcto.
4) Verificar sellado en todo el circuito de admisión.
5) Comprobar que los inyectores no tengan una presión de apertura muy baja. Verificar el sellado de cada uno de los inyectores.

6) Verificar el caudal de la bomba de combustible y el regulador de presión.
7) Ajustar el ralentí a las especificaciones (en este caso requiere aumentarlo).

3.3.12.1.5. Ralentí irregular con el motor caliente

Posibles causas:

1) Inyector de arranque en frío defectuoso.
2) Sistema mecánico del caudalimetro defectuoso.
3) Presión de mando en caliente incorrecta.
4) Falta de sellado en el circuito de admisión.
5) Inyectores defectuosos.
6) Caudal de combustible incorrecto.
7) Ajuste de ralentí incorrecto.

Acciones a seguir:

1) Verificar sellado en el inyector.
2) Verificar el móvil y el pistón de mando.
   Comprobar estado de la serie de resistencias y del contacto móvil.
3) Comprobar presión en caliente (no debe ser ni muy baja ni muy alta).
4) Verificar el sellado del circuito de alimentación completo.
5) Verificar si la presión de apertura de cada inyector no es muy baja.
   Determinar el estado del sellado de cada inyector.
6) Verificar el caudal de la bomba y regulador de presión de combustible.
7) Ajustar el ralentí según especificaciones (puede estar muy rico o muy pobre).

3.3.12.1.6. Detona en el colector de admisión

Posibles causas:

1) Velocidad de ralentí incorrecta.
2) Presión de mando en caliente incorrecta.

3) Falta de sellado en el circuito de admisión.
4) Entrada de aire posterior al caudalímetro.

Acciones a seguir:

1) Verificar que la regulación de la velocidad de ralentí no sea muy pobre.
2) Verificar que la presión de mando en caliente no sea muy alta.
3) Verificar el sellado del circuito de admisión completo.
4) Verificar el sellado del conducto de aire posterior al caudalímetro.

3.3.12.1.7. Detona en el colector de escape

Posibles causas:

1) Regulación de velocidad de ralentí defectuosa.
2) Inyector de arranque en frío con defecto.
3) Presión de mando en caliente insuficiente.
4) Inyectores defectuosos.

Acciones a seguir:

1) Verificar que la regulación de velocidad de ralentí no sea muy rica.
2) Verificar sellado del inyector de arranque en frío después del arranque.
3) Comprobar que la presión de mando en caliente no sea muy baja.
4) Verificar presión de apertura de cada inyector, la cual no debe ser muy baja. Comprobar el sellado de cada uno de los inyectores.

3.3.12.1.8. El motor falla en régimen de carga

Posibles causas:

1) Bomba de combustible con contacto eléctrico intermitente.
2) Presión de alimentación defectuosa.
3) Presión de mando en caliente de valor incorrecto.
4) Inyectores defectuosos.
5) Caudal de aire no adecuado.

Acciones a seguir:

1) Verificar conexión a tierra y suministro de voltaje positivo.
2) Compruebe que el valor de la presión se halle dentro de la tolerancia.
3) Verifique si la presión de mando después del calentamiento no es muy alta.
4) Verificar que la presión de apertura no sea muy baja, asi como su sellado.
5) Determine si el caudal es irregular.

3.3.12.1.9. Motor carente de potencia

Posibles causas:

1) Mariposa de aceleración operando mal.
2) Sistema mecánico del caudalímetro defectuoso.
3) Presión de mando en caliente incorrecta.
4) Presión de alimentación incorrecta.
5) Falta de sellado en el circuito de admisión.
6) Regulación de velocidad de ralentí incorrecta.

Acciones a seguir:

1) Verifique su apertura máxima con el pedal del acelerador presionado al fondo.
2) Verificar si el móvil y el pistón de mando se hallan atascados.
3) Compruebe si la presión de mando es muy alta o muy baja.

4) Compruebe si el valor de presión se halla dentro de la tolerancia aceptable.
5) Compruebe la ausencia de fugas de vacío.
6) Confirme si el ajuste de la velocidad de ralentí no es muy pobre ni muy rico.

3.3.12.1.10. Autoencendido en el motor

Posibles causas:

1) Inyector de arranque en frío defectuoso.
2) Inyectores defectuosos.
3) Falla en el sistema mecánico del caudalímetro.

Acciones a seguir:

1) Revise la hermeticidad del inyector.
2) Compruebe que la presión de apertura no sea muy baja.
   Examine el estado del sellado de cada uno de los inyectores.
3) Comprobar si el móvil del caudalímetro no se halla atascado.
   Verifique la movilidad del pistón de mando.

3.3.12.1.11. Motor poco eficiente.

Posibles causas:

1) Inyector de arranque en frío defectuoso.
2) Presión de control en caliente inadecuada.
3) Ajuste de la velocidad de ralentí incorrecto.

Acciones a seguir:

1) Verifique la hermeticidad del inyector.
2) Verificar si la presión de alimentación no es muy baja.
3) Comprobar si el ajuste de la velocidad de ralentí no es muy rico.

3.3.12.1.12. El motor acelera mal

Posibles causas:

1) Sistema mecánico del caudalímetro defectuoso.
2) Presión de control en caliente inadecuada.
3) Presión de alimentación inadecuada.
4) Fugas de vacío en el circuito de admisión.
5) Ajuste de la velocidad de ralentí incorrecto.
6) Caudal de aire irregular.

Acciones a seguir:

1) Verificar si el móvil no se halla atorado o con movimiento restringido. Comprobar libertad de movimiento del pistón de mando.
2) Verificar si la presión de control en caliente no es ni muy alta ni muy baja.
3) Comprobar si la presión de alimentación esta dentro de la tolerancia.
4) Examinar el sellado de todo el circuito de admisión.
5) Comprobar si el ajuste de la velocidad de ralentí no es muy pobre.
6) Verificar si el caudal no es irregular o desequilibrado.

3.3.12.1.13. CO alto en ralentí

Posibles causas:

1) Partes mecánicas del caudalímetro defectuosas.
2) Presión de control en caliente incorrecta.
3) Inyector de arranque en frío defectuoso.
4) Ajuste base de ralentí incorrecto.

Acciones a seguir:

1) Verificar si el móvil del caudalímetro se mueve con libertad.
2) Comprobar si la presión de control en caliente no es muy baja.

3) Examinar la hermeticidad del inyector.
4) Determinar si el ajuste base del ralentí no es muy rico.

3.3.12.1.14. CO bajo en ralentí

Posibles causas:

1) Partes mecánicas del caudalímetro defectuosas.
2) Presión de control en caliente incorrecta.
3) Fugas de vacío en el circuito de admisión.
4) Ajuste base de ralentí incorrecto.

Acciones a seguir:

1) Verificar si el móvil del caudalímetro se mueve con libertad.
2) Comprobar si la presión de control en caliente no es muy baja.
3) Examinar sellado en el circuito de admisión.
4) Comprobar si el ajuste base de ralentí no es muy pobre.

3.3.12.1.15. No se puede ajustar el ralentí

Posibles causas:

1) Válvula de aire adicional operando mal.
2) Mariposa de aceleración con dificultad de accionamiento.

Acciones a seguir:

1) Comprobar si la válvula se cierra.
2) Examinar si la mariposa cierra en posición de reposo.
   Verificar mecanismo completo del pedal del acelerador.

3.3.12.2. Fallas en sistemas Bosch L-Jetronic®

3.3.12.2.1. El motor no arranca

Posibles causas:

1) Sistema de inyección inoperante.
2) Tuberías del circuito del combustible en mal estado.
3) Tubería del circuito de aire defectuosa.
4) Bomba eléctrica operando incorrectamente.
5) Caja de aire adicional defectuosa.
6) Sensor de temperatura defectuoso.
7) Funcionamiento deficiente del caudalímetro.
8) Fugas bajo presión del conducto del aire.
9) Conexionado de la unidad de control en mal estado.
10) Unidad de control electrónico defectuosa.

Acciones a seguir:

1) Determinar el estado del sistema por medio de la prueba de los quince segundos (accionar el motor de arranque por quince segundos, extraer las bujías, si aparecen éstas mojadas por gasolina, el sistema de inyección funciona bien).
2) Verificar ausencia de fugas en mangueras, abrazaderas, conductos, etc.
   Examinar el estado del elemento filtrante de combustible.
   Verificar estado del respiradero del tanque de combustible.
3) Verificar el sellado de las tuberías de aire, así como sus uniones (inciso 8).
   Examinar el estado del elemento filtrante de aire.
4) Comprobar alimentación eléctrica de la bomba, comprobar su caudal.
5) Verificar el estado del diafragma, así como de su resistencia eléctrica.
6) Comprobar el valor de su resistencia a la temperatura de prueba.
7) Verificar sistema mecánico y eléctrico del caudalímetro.
8) Aplicar prueba de burbujeo al conducto de aire (agua jabonosa en el ducto).
9) Verificar la ausencia de falsos contactos entre el conector y la unidad.
10) Como última medida debe de probarse con una unidad de control nueva.

3.3.12.2.2. El motor arranca y se detiene

Posibles causas:

1) Circuito de combustible defectuoso.
2) Circuito de aire defectuoso.
3) Funcionamiento inadecuado de la bomba eléctrica de combustible.
4) Defecto en la caja de aire adicional.
5) Falla bajo presión en el conducto de aire.
6) Conexionado a la unidad electrónica de control defectuoso.
7) Unidad electrónica de control operando intermitentemente.

Acciones a seguir:

1) Verificar el estado de los conductos de transporte del combustible.
   Verificar el estado del elemento filtrante de combustible.
   Examinar el ajuste de todos los elementos de sujeción del sistema.
2) Verificar el estado de los conductos de transporte del aire.
   Verificar el estado del elemento filtrante del aire.
3) Determinar si no existe alimentación eléctrica intermitente a la bomba.
   Determinar si el caudal de combustible proporcionado es el adecuado.
4) Verificar el estado neumático y eléctrico de la misma.
5) Bajo presión de aire debe someterse al conducto a la prueba de burbujeo (aplicar agua jabonosa en el exterior de los conductos de aire, si aparecen burbujas, esto denota entradas o salidas de aire nocivas al sistema).
6) Verificar el correcto contacto eléctrico entre la unidad de control y el conector.
   Comprobar la inexistencia de oxidación o corrosión en los contactos.
7) Como última medida debe probarse una unidad de control en buen estado.

3.3.12.2.3. Velocidad de ralentí irregular

Posibles causas:

1) Mal ajuste de la mezcla para la velocidad de ralentí.
2) Sistema de control del acelerador defectuoso.
3) Circuito de combustible defectuoso.
4) Circuito de aire defectuoso.
5) Presión del combustible inadecuada.
6) Inyectores operando incorrectamente.
7) Sensor de temperatura en mal estado.
8) Falla en el sistema mecánico ó eléctrico del caudalímetro.
9) Fugas bajo presión en el conducto del aire.
10) Caja de la mariposa engrasada.
11) Contactos eléctricos defectuosos en la unidad electrónica.
12) Ajuste incorrecto de la mariposa.
13) Ajuste incorrecto de la caja de contactores.
14) Unidad electrónica de control defectuosa.

Acciones a seguir:

1) Ajustar la riqueza de la mezcla para la velocidad de ralentí.
2) Verificar sistema de control del acelerador (cables, palancas, muelles, etc.).
3) Verificar el estado del circuito de conducción de combustible.
   Examinar el estado del elemento filtrante de combustible.
4) Verificar el estado del circuito para el aire, incluyendo el filtro.
5) Verificar si la presión de combustible esta dentro de los valores tolerables.
6) Determinar la apertura y cierre correcto de los inyectores.
7) Verificar el valor resistivo del sensor a la temperatura referencia.
8) Comprobar la libertad de movimiento del móvil y el pistón de mando.
9) Bajo presión se debe aplicar la prueba de burbujeo al conducto del aire.
10) Comprobar la inexistencia de lubricación en la mariposa.
11) Verificar el buen contacto eléctrico entre la unidad y el conector.
12) Ajustar la mariposa.
13) Ajustar la caja de contactores.
14) Como última medida cambiar la unidad electrónica de control.

3.3.12.2.4. El motor falla a cualquier velocidad

Posibles causas:

1) Alimentación eléctrica del sistema inadecuada.
2) Conexionado eléctrico defectuoso.
3) Conexionado a la unidad de control con fallos.
4) Presión de combustible con valor incorrecto.
5) Caudal del combustible bajo.
6) Sensor de temperatura defectuoso.
7) Sistemas mecánico y eléctrico del caudalímetro operando inadecuadamente.
8) Inyectores operando defectuosamente.
9) Unidad electrónica de control defectuosa.

Acciones a seguir:

1) Verificar la alimentación y regulación del sistema de bajo voltaje.
2) Revisar el conexionado eléctrico correspondiente.
3) Revisar el estado del conector de la unidad y el del haz de cables.
4) Determinar si la presión del combustible en el sistema se halla en la tolerancia.
5) Verificar el caudal de salida de la bomba de combustible.
6) Determinación del estado eléctrico del sensor de temperatura.
7) Verificación del móvil, pistón y rampa resistiva del caudalímetro.
8) Verificación de la operación electromecánica de cada uno de los inyectores. Examinar el sellado de cada uno de los inyectores.
9) Como último recurso se prueba una UEC en buen estado.

3.3.12.2.5. El motor carece de potencia

Posibles causas:

1) Mecanismo del acelerador defectuoso.
2) Sistema de conductos del combustible en mal estado.
3) Sistema de conductos del aire defectuoso.
4) Alimentación eléctrica deficiente de la bomba de combustible.
5) Caudal de salida de la bomba de gasolina bajo.
6) Caudalímetro defectuoso.
7) Fugas bajo presión en el conducto de aire.
8) Inyectores operando incorrectamente.
9) Conexionado eléctrico deficiente a la unidad electrónica de control.
10) Unidad electrónica de control defectuosa.

Acciones a seguir:

1) Verificar cableados y varillajes del mecanismo del acelerador.
2) Verificar estado de conductos, tanto de hule como de metal.
3) Comprobar que el sistema de aire no presente obstrucción alguna.
4) Verificar las conexiones de la bomba (corrosión, flojedad, falsos contactos).
5) Verificar si el caudal de la bomba de gasolina esta dentro de la especificación.
6) Comprobar tanto el sistema mecánico como eléctrico del caudalímetro.
7) Someter al conducto de aire a una prueba de burbujeo.
8) Comprobar sellado y la óptima apertura de cada uno de los inyectores.
9) Verificar solidez en las conexiones del haz de cables al conector especial.
10) Por último se debe probar una unidad electrónica de control en buen estado.

3.3.12.2.6. Motor poco eficiente

Posibles causas:

1) Alimentación de la bomba de combustible deficiente.
2) Presión del combustible baja en el sistema.
3) Inyectores defectuosos.
4) Caudalímetro defectuoso.
5) Sensor de temperatura defectuoso.
6) Ajuste de la velocidad de ralentí defectuoso.
7) Ajuste de la riqueza de mezcla mal graduado.
8) Conexionado eléctrico de la UEC deficiente.
9) UEC dañada.

Acciones a seguir:

1) Verificar el nivel del voltaje de alimentación con el motor funcionando.
2) Comprobar si el valor de la presión en el circuito se halla en la tolerancia.
3) Verificar el accionamiento correcto de cada inyector (sellado y apertura).
4) Examinar la limpieza de los contactos eléctricos en la serie resistiva.
5) Comprobar la resistencia del sensor a la temperatura patrón.
6) Verificar si el ajuste de velocidad de ralentí se apega al recomendado.
7) Comprobar si la mezcla no se halla muy rica.
8) Examinar los conectores macho y hembra de la UEC.
9) Como último recurso probar con una UEC que se halle en buen estado.

3.3.12.2.7. CO bajo

Posibles causas:

1) Presión del combustible en el sistema incorrecta.
2) Fugas en el circuito de combustible.
3) Fugas en el circuito de aire.
4) Sensor de temperatura defectuoso.

5) Caja de aire adicional con componentes defectuosos.
6) Fugas bajo presión en el conducto del aire.
7) Conexionado deficiente en la UEC.

Acciones a seguir:

1) Verificar si el valor de la presión no es muy bajo.
2) Examinar el estado de las mangueras, conductos, y abrazaderas del sistema.
3) Examinar el sellado del circuito completo de aire.
4) Comprobar la resistencia del sensor a la temperatura patrón.
5) Verificar el estado del diafragma de la caja, así como su unión al sistema.
6) Comprobar bajo presión el sellado del circuito de aire.
7) Examinar el estado del conector macho y hembra en la UEC.

3.3.12.2.8. CO alto.

Posibles causas:

1) Presión incorrecta de combustible en el sistema.
2) Fugas en el circuito del aire.
3) Sensor de temperatura defectuoso.
4) Caudalímetro deficiente.
5) Inyectores defectuosos.
6) Conexionado a la UEC deficiente.

Acciones a seguir:

1) Verificar si la presión del combustible en el circuito no posee un valor muy alto.
2) Verificar el sellado del circuito completo del aire.
3) Comprobar el sensor de temperatura.
4) Verificar el estado del sistema mecánico y eléctrico del caudalímetro.
5) Examinar el accionamiento de cada uno de los inyectores (verificar sellado).
6) Examinar el estado del conector hembra y macho en la UEC.

3.3.12.2.9. No se puede ajustar el ralentí.

Posibles causas:

1) Defecto en la caja de aire adicional.
2) Mecanismo del acelerador con defecto.
3) Ajuste inicial de la mariposa incorrecto.

Acciones a seguir:

1) Verificar si existe el cierre completo del diafragma.
2) Comprobar el funcionamiento libre del sistema (cable, palancas, pivotes, etc.).
3) Verificar el ajuste respectivo.

4. DISEÑO DE UN SISTEMA DE IGNICIÓN AUTOMOTRIZ ASISTIDO ELECTRÓNICAMENTE

4.1. Perspectiva y justificación

Debido a que en la actualidad una gran parte de los automóviles que circulan por el país poseen un sistema de ignición convencional, con generador de impulsos por ruptor (platino), y conociendo de los defectos que adolece en lo que a la frecuencia de mantenimiento y costo del mismo se refiere, es útil el tener un circuito electrónico capaz de reducir el desgaste del ruptor, controlando éste la alta corriente que debe circular por el ruptor, ya que es este factor la causa del flameo de sus contactos y su consiguiente desgaste.

Dicho circuito debe de poder ser instalado en cualquier automóvil sin modificaciones mecánicas en el mismo y con un mínimo de cambios en el circuito primario de la bobina, además debe ser capaz de que en eventual fallo del sistema, el automóvil pueda funcionar como el sistema convencional original.

Se busca, además del aumento de la duración del ruptor, una chispa más uniforme a altas revoluciones con un consiguiente aumento en la economía del motor.

Se debe tener en cuenta que la gran mayoría de los automóviles en el medio nacional trabajan con sistemas de 12 voltios corriente directa y con tierra (chasis) conectada al negativo de la batería.

4.2. Requisitos del sistema

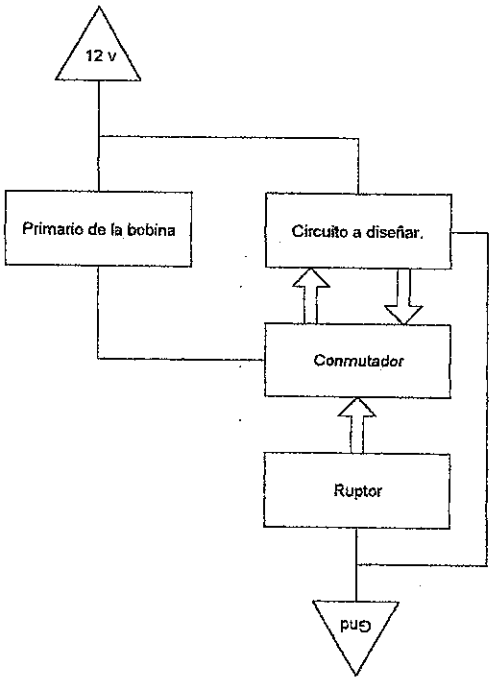
Partiendo de las premisas dadas en el inciso anterior se presentan las siguientes exigencias de diseño:

a) Debe utilizar el ruptor original del auto.
b) La corriente por el ruptor será reducida a un centésimo de la original.
c) La corriente del circuito primario será controlada por el circuito.
d) Debe ser lo más sencillo posible para aumentar su confiabilidad.
e) La señal de salida del circuito debe estar en fase con la entrada.
f) En caso de falla debe poderse volver a la configuración original fácilmente.
g) Debe utilizarse componentes de fácil adquisición en plaza local.
h) El sistema debe utilizar tierra negativa.
i) El sistema debe operar con 12 voltios de corriente directa.

4.3. Subdivisión del problema

Dados los requisitos se presenta un diagrama de bloques de un interconexionado tentativo, que satisface las necesidades expuestas.

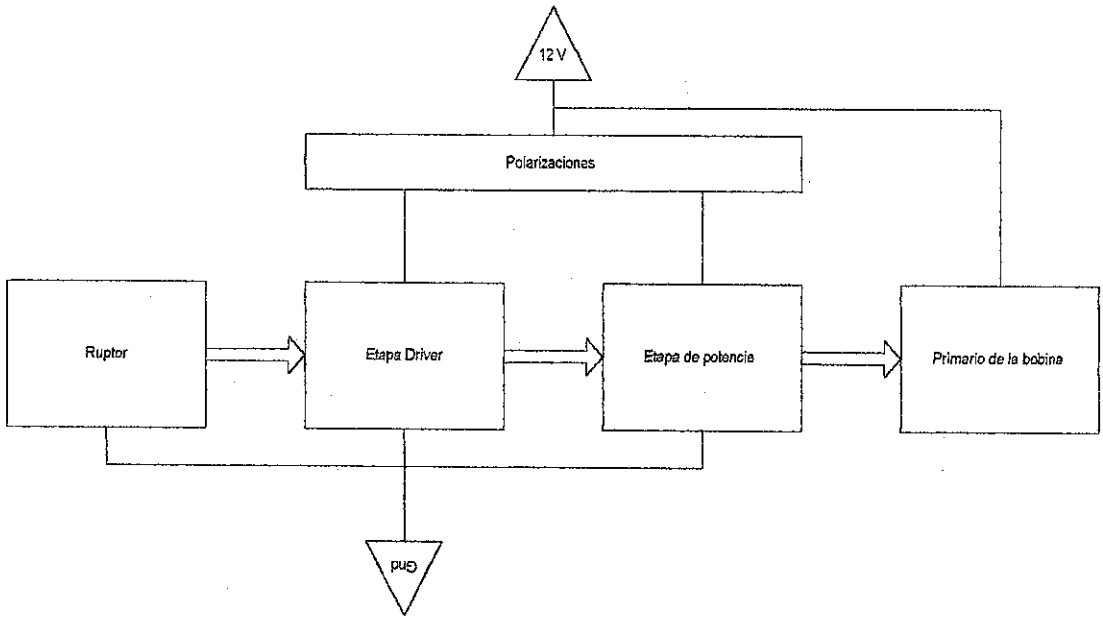
FIGURA 57. Diagrama en bloques de interrelaciones



4.4. Diseño del circuito

Para poder satisfacer el inciso g utilizaremos transistores de uso general, de tipo NPN para satisfacer a su vez el inciso h, se escogerá la configuración de emisor común lo que conlleva el empleo de dos etapas en cascada para lograr el requisito del inciso e, de lo anterior se deduce que se utilizarán transistores en saturación dura (con el emisor a tierra), con una etapa inicial que actuará como driver de la segunda etapa que se denominará de potencia; el driver es controlado por los impulsos procedentes del ruptor, el diagrama de la figura 58 ilustra la idea básica.

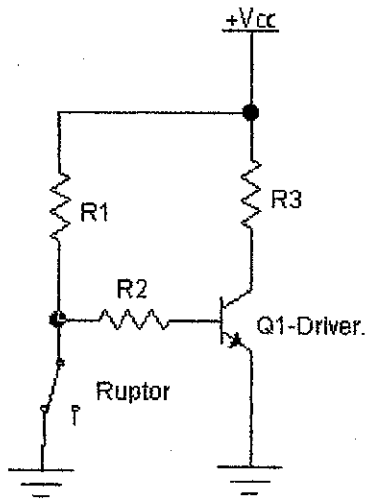
FIGURA 58. Diagrama en bloques del sistema



4.4.1. Diseño y cálculos del driver

Como se mencionó, se tendrá una etapa driver con saturación dura, con resistencias de polarización y controlada por el ruptor, la propuesta de circuito se muestra a continuación.

FIGURA 59. Diagrama esquemático de la etapa driver



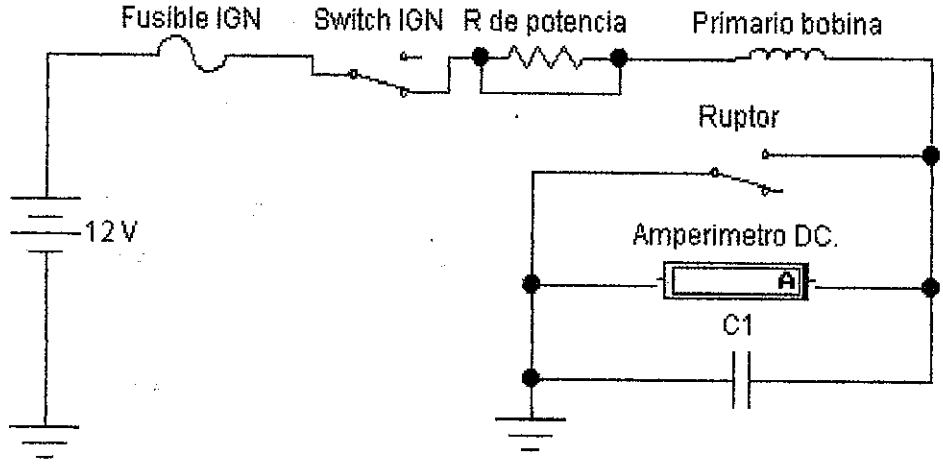
4.4.2. Medición de la corriente circulante por el ruptor

Debido a que la corriente circulante por el ruptor es el parámetro que deseamos modificar (minimizarlo), es importante conocerlo para tomarlo como base para los cálculos, tal corriente debe de medirse directamente en el automóvil, con las condiciones siguientes:

-La bobina de encendido debe de hallarse fría.
-La batería debe hallarse completamente cargada.
-Debe puentearse la resistencia de balastro.
-Debe abrirse manualmente el ruptor y colocar un aislante entre sus contactos.
-Debe conectarse un amperímetro de c.d. entre los contactos del ruptor.
-Debe colocarse la llave de encendido en la posición IGN.

El arreglo asi obtenido se grafica en la figura 60.

FIGURA 60. Arreglo para la medición de la corriente de ruptor



En este caso y como ejemplo se realizó la medición en un sistema de un automóvil Volkswagen, dotado de una bobina Bosch 0221119027, para 12 voltios, el valor de la corriente de ruptor en frío fue de 3.62 amperios, aplicando un margen de seguridad del 40 por ciento tenemos:

Idiseño = 1.4 Iruptor = 1.4(3.62) = 5.068 amperios.
Adoptaremos una I de diseño de 5 amperios.

4.4.3. Cálculos

Para satisfacer el inciso b, R1 por Ley de Ohm esta dada por: IR1: Vcc/R1. (**con el ruptor cerrado,** como en la figura 57).

Con Vcc= 13.8 voltios (voltaje máximo a altas revoluciones del motor).
Dado IR1= (Idiseño/100) .
IR1= 5/100 = 0.05 amperios.
R1= Vcc/IR1 = 13.8/0.05 = 276 ohmios. (valor standard disponible = 270 ohmios).

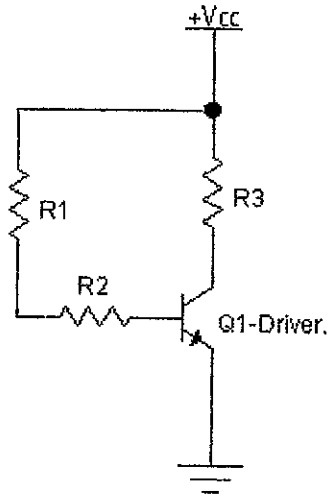
$P(R1)= (IR1)^2 R1 = (0.05)^2(270) = (0.0025)(270) = 0.675$ vatios.
Se dimensionará la resistencia R1 de forma tal que sea de 270 ohmios a 1 vatio.

Para hacer el circuito inmune a variaciones de ßcc entre producciones de transistores, asi como a variaciones térmicas y de corrientes, se tendrá como guía la regla de que el transistor tendrá como mínimo una ßcc de 10, por lo que se tendrá una corriente de saturación del colector mínimo de diez veces la corriente de base, con lo que se tiene una relación de resistencia de colector (R3) y de base (R2) de 1::10, es decir: R2 = 10R3.

Para hacer un circuito simétrico, entre la entrada del circuito driver y la entrada del circuito de potencia se tendrá R1 y R3 con el mismo valor óhmico, de ahí se tiene que:
R3 = 270 ohmios.
R2= 10R3 = 10(270) = 2700 ohmios.

Calculando la corriente circulante por R2, **con el ruptor abierto (figura 61)**:
I(R2)= Vcc-Vbe/(R1+R2) = (13.8-0.7)/(270+2700) = 13.1/2970 = 0.00441 A.

FIGURA 61. Driver con ruptor abierto



Por lo que su disipación sera: P(R2)= $[I(R2)]^2(R2)$= $(0.00441)^2(2700)$ = (0.0000194)(2700) = 0.0525 vatios.

R2 se dimensionará de 2700 ohmios a medio vatio.

Calculando la corriente circulante por R3 **con el ruptor abierto:**
I(R3) =(Vcc-Vce sat)/R3 = (13,8-0.2)/270 = 13.6/270 = 0.05 amperios. Por lo que su disipación sera: $P(R3) = [I(R3)]^2 (R3) = (0.05)^2(270) = (0.0025)(270) =$ 0.675 vatios.

Q1 debe de cumplir las siguientes especificaciones:

ßcc mayor de 10.

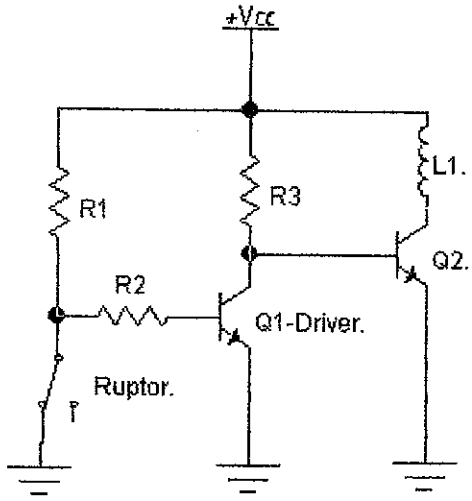
Vce mayor que 13.8 voltios e Ice mayor que 0.136 amperios.

Dichas especificaciones las excede el transistor ECG 85.

4.4.4. Cálculo de la sección de potencia.

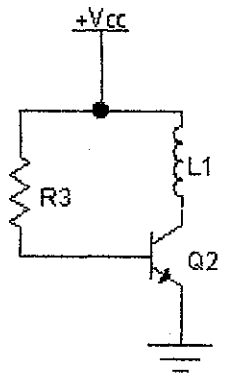
La etapa de potencia utilizada se interrelaciona con el driver como lo muestra la figura 62.

FIGURA 62. Interrelación del driver y la etapa de potencia



Para poder analizar la etapa de potencia, se tomara la situación **con el ruptor cerrado,** con lo que el driver se corta, quedando la parte que interesa por el momento como lo muestra la figura 63.

FIGURA 63. Etapa de potencia con ruptor cerrado



De los datos prácticos se sabe que la corriente a circular por el primario de la bobina es de 5 amperios, y siendo esta igual a la corriente de colector del transistor, se tiene que este debe de ser capaz de exceder esta capacidad de manejo de corriente, de lo anterior se tiene que: Ic (Q2) = 5 amperios.

Calculando la corriente de base (I2):

I2= (Vcc-Vce)/R3 = (13.8-0.7)/270 = 13.1/270 = 0.048 amperios.

La ßcc mínima de Q2 se calcula asi:

ßcc= Ic/Ib = 5/0.048 = 103

Estas especificaciones las satisface el transistor ECG 11.

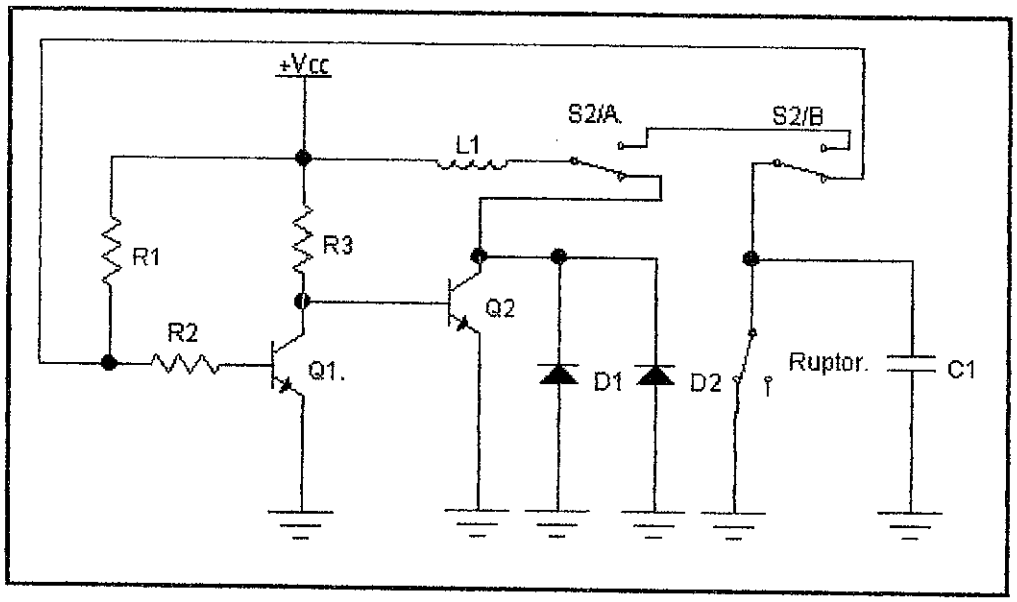
El circuito lo complementa un diodo amortiguador (damper), que debe soportar una corriente inversa de no menos de 5 amperios, y aproximadamente 100 PIV.

Dichas especificaciones las excede un par de diodos ECG 125 puestos en paralelo.

4.4.5. Configuración final

Para cumplir con el inciso f se agrega un interruptor de dos polos dos posiciones, en la configuración que se muestra en la figura 64.

FIGURA 64. Circuito de ignición completo



Especificaciones de los componentes:

R1= Resistor de carbón de 270 ohmios para 1 vatio.
R2= Resistor de carbón de 2700 ohmios para ½ vatio.
R3= Resistor de carbón de 270 ohmios para 1 vatio.
Q1= Transistor NPN ECG85.
Q2= Transistor NPN ECG11.
D1, D2= Diodo de silicio ECG 125.
C1= Capacitor existente en el automóvil.
S1= Ruptor (Platinos).
S2= Interruptor dos polos dos tiros.
L1=Primario de la bobina de encendido.

CONCLUSIONES

1. La importancia de los sistemas de regulación de bajo voltaje radica, en que el buen funcionamiento de los demás sistemas a ser alimentados depende de un valor de voltaje dentro de límites muy estrictos.

2. Los sistemas de regulación en los cuales se aplican dispositivos electrónicos, ya sea de una forma parcial (sistemas asistidos electrónicamente), o total (sistemas completamente electrónicos), aumenta en gran porcentaje la fiabilidad y durabilidad del conjunto.

3. El alternador presenta ventajas operativas, que relegan a las dínamos de la aplicación en sistemas de carga de bajo voltaje en los automóviles actuales.

4. La importancia de los sistemas de ignición automotrices, radica en la incidencia que tiene este factor en la producción de una óptima inflamación de la mezcla aire-gasolina dentro de la cámara de combustión, lo que produce el máximo aprovechamiento de la energía producida en la explosión.

5. Los sistemas convencionales poseen un tiempo medio entre fallas muy bajo (requieren un mantenimiento periódico relativamente muy frecuente), lo cual puede ser solventado parcialmente con el uso de semiconductores que ayuden a la conmutación del circuito primario del ruptor.

6. Los sistemas totalmente electrónicos tienen mejor desempeño que los sistemas convencionales, en lo que a potencia de chispa y funcionamiento a altas revoluciones se refiere.

7. Los sistemas electrónicos de ignición poseen un tiempo medio entre fallas muy alto, gracias a la producción de los impulsos de conmutación por medio de generadores que aprovechan fenómenos electromagnéticos para su accionamiento con ausencia total de contacto mecánico y al control del circuito primario de la bobina por medio de semiconductores de propósito especial.

8. Los generadores de impulso por medios electromagnéticos por su desempeño, duración y fiabilidad de operación pueden ser considerados en el siguiente orden:
   a) Generador por efecto Hall.
   b) Generador por inducción.
   c) Generador optoelectrónico.

9. El sistema de ignición por descarga capacitiva provee la mejor solidez de chispa producida con un régimen elevado de revoluciones del motor.

10. La importancia de los sistemas de dosificación de combustibles, se encuentra en el aumento de la eficiencia del motor de explosión interna, aunado al control de las emanaciones tóxicas a la salida del escape del motor.

11. Un sistema basado en carburación es relativamente poco eficiente ya que toma como parámetro único de dosificación el volumen de aire aspirado por los cilindros en su carrera de admisión.

12. Un sistema de inyección monopuntual mejora la eficiencia del motor si se usa en sustitución del carburador.

13. Un sistema de inyección electrónica es más eficiente ya que toma en cuenta varios parámetros de dosificación, tales como: caudal de aire, temperatura del cuerpo del motor, régimen de carga, velocidad taquimétrica del motor, etc.

14. Los sistemas de inyección electrónica tiene su punto débil en la utilización de muchos sensores se hallan en un ambiente muy variable en lo referente a temperatura, vibraciones mecánicas, humedad, polvo, etc., los cuales afectan su funcionamiento.

RECOMENDACIONES

1. Alentar la producción en la industria nacional, de dispositivos de regulación para automóviles, ya que estos son de demanda constante, puesto que se posee la tecnología requerida, aunque se tenga que depender de proveedores foráneos de ciertos dispositivos muy especializados (semiconductores).

2. Las escuelas e institutos técnicos que se ocupan del ramo eléctrico, electrónico y automotriz, deben de proporcionar dentro de su programas de estudio estos de interés común entre estas tres especialidades.

3. Debido a las nuevas reglamentaciones sobre el control de emisiones contaminantes que han entrado en vigor en Guatemala, es de suma importancia que se capacite adecuadamente a los técnicos automotrices en lo que se refiere a reparaciones y ajustes de los sistemas que influyen en dichas emanaciones.

4. Es procedente el agregar al pensum de estudios en el curso de Electrónica Industrial un capitulo al estudio de la electrónica del automóvil, ya que esta tecnología puede aplicarse fácilmente a otros ámbitos industriales, en lo que se utilizan motores de combustión interna.

5. Debe disponerse de toda la información técnica (diagramas, tablas y especificaciones), así como el instrumental de diagnóstico básico (tacómetro, medidores de ángulos de cierre y apertura, pistola de tiempo, osciloscopio y multímetro especial para diagnostico automotriz, sondas especiales, etc.), al darle servicio a un sistema electrónico en el automóvil, para obtener un resultado profesional.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO PEREZ, José Manuel. **Electricidad del automóvil.** 2ª. Edición. Madrid, España: Editorial Paraninfo. 269 pp.

ALONSO PEREZ, José Manuel. **Tecnologías avanzadas del automóvil.** Madrid, España: Editorial Paraninfo, 1,994. 362 pp.

CROUSE, William. **Equipo eléctrico y electrónico del automóvil.** 6ª. Edición. Grupo Editor Alfaomega. 1,992. 466 pp.

CROUSE, William. **Motores de automóvil.** México, D.F.: Grupo Editor Alfaomega. 1,996. 449 pp.

DE CASTRO, Miguel. **Inyección de gasolina.** 5ta Edición. Barcelona, España: Ediciones CEAC S.A., 1,991. 302 pp.

DE CASTRO, Miguel. **Manual del encendido.** 3ª. Edición. Barcelona, España: Grupo Editorial CEAC, S.A. 1,992. 223 pp.

GUILLERI, Stefano. **Dispositivos electrónicos del automóvil.** 2ª. Edición. Barcelona, España: Grupo Editorial CEAC S.A. 1,993. 247 pp.

GUILLERI, Stefano. **Electrónica del automóvil.** 3ª. Edición. Barcelona, España: Grupo Editorial CEAC S.A. 1,996. 237 pp.

RIBBENS, William B. **Comprendiendo Electrónica del automóvil.** Buenos Aires, Argentina: Editorial Hispano Americana S.A. HASA, 1,993. 418 pp.

VALKENBURGH, Van. **Electricidad básica**. México, D.F.: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. CECSA, 1,984. 5to. Tomo, 173 pp.