



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

SEDE – LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TESIS DE GRADO

**“ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE
COMBUSTIBLE MULTIPUNTO MPFI EN UN VEHÍCULO LADA MODELO
2104 FABRICADO EN EL AÑO 1994”**

REALIZADO POR:

FRANKLIN PANCHI

DIEGO SALAZAR

LATACUNGA – ECUADOR

2007

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo ha sido desarrollado en su totalidad por los señores FRANKLIN PANCHI y DIEGO SALAZAR bajo nuestra dirección y codirección.

ING. GERMÁN ERAZO LAVERDE
DIRECTOR

ING. LUIS MENA NAVARRETE
CODIRECTOR

Agradecimientos

Agradezco a Dios, quien día a día me llena de sabiduría, a fin de alcanzar mis metas propuestas.

A mis padres y hermanas, por su apoyo incondicional brindado desde el inicio de mis estudios.

A mi querida esposa, por su comprensión y apoyo, necesarios para culminar con éxito mi carrera.

A mis profesores, por sus conocimientos impartidos en las aulas; en especial a Ing. Germán Erazo, quién dirigió e hizo posible la elaboración de esta tesis.

Y por último a mis compañeros de clase con quienes compartimos experiencias inolvidables.

Franklin Danilo

Agradecimientos

A Dios Padre Todopoderoso, quien en Su Infinita Misericordia me ha obsequiado la vida, me ha colmado con Su amor y bendición, y permitido que otro de mis sueños se haga realidad.

A mis padres, Galo y Gloria, y a mi hermana Liz; quienes haciendo un gran esfuerzo, me apoyaron aún cuando sé que les fue difícil verme partir todos los fines de semana.

A la mujer de mi vida, quien siempre ha estado a mi lado y sido testigo de mis mejores y peores momentos; pacientemente me tomó de la mano y me ha ayudado a salir adelante. Dios y yo sabemos que sin usted nada de esto hubiera sido posible.

A mis amigos y compañeros de aula, por haber hecho de estos 5 años una maravillosa y única experiencia; y en especial a Franklin, por demostrar su gran amistad y motivarme durante la presente tesis.

A mis maestros, quienes se esmeraron por impartir correctamente sus asignaturas y permitieron mi preparación académica.

A la Escuela Politécnica del Ejército, por brindarme una educación de alto nivel que me permitirá enfrentar con seguridad los desafíos del mañana.

Diego Fernando

Dedicatoria

La presente tesis la dedico con mucho esmero a mis padres, quienes con infinito amor y sabiduría, supieron guiar mi vida por el sendero del bien, plasmado en mis principios y valores que me llevarán a ser cada día una mejor persona.

Y con mucho cariño a mi hija Amelia, quien es la razón de mi existir, quién me llena de alegría, de satisfacción, de confianza y de una emoción enorme por continuar superándome en esta universidad de la vida.

Franklin Danilo

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico enteramente y con mucho amor a mi Princesita, puesto que desde que Dios me bendijo con su compañía, ha sido mi soporte, mi inspiración, mi felicidad, mi seguridad, mi razón de vivir, y quien hace emerger fuerzas desde lo más profundo de mi alma para superarme día a día y poder seguir adelante. Que Dios le bendiga.

Diego Fernando

INDICE

Carátula
Certificación
Dedicatorias
Agradecimientos
Índice
Introducción

I. SISTEMA DE INYECCIÓN SECUENCIAL MPFI

- 1.1 INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA MPFI
- 1.2 SUBSISTEMAS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE
- 1.3 CONTROL ELECTRÓNICO
 - 1.3.1 Módulo de control del tren de potencia (PCM)
 - 1.3.1.1 Arquitectura del PCM
 - 1.3.2 Sensores
 - 1.3.2.1 Sensor de posición del cigüeñal (CAS)
 - 1.3.2.2 Sensor de oxígeno (HEGO)
 - 1.3.2.3 Sensor de flujo másico de aire (MAF)
 - 1.3.2.4 Sensor de posición del estrangulador (TPS)
 - 1.3.2.5 Sensor de temperatura del refrigerante (WTS)
 - 1.3.2.6 Sensor de velocidad del vehículo (VSS)
 - 1.3.2.7 Sensor de picado del motor (KS)
 - 1.3.3 Actuadores
- 1.4 CÁLCULO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN INYECCIÓN ELECTRÓNICA
- 1.5 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE
 - 1.5.1 Depósito de combustible
 - 1.5.2 Bomba eléctrica de combustible
 - 1.5.3 Mangueras y cañerías de alta presión
 - 1.5.4 Filtro de combustible

1.5.5 Regulador de la presión de inyección

1.5.6 Inyectores

1.5.7 Válvula electromagnética de purga (Cánister)

1.6 SISTEMA DE INGRESO DE AIRE

1.6.1 Regulador de marcha de ralentí (IAC)

1.7 SISTEMA DE ENCENDIDO ELECTRÓNICO

1.8 AUTODIAGNÓSTICO

1.8.1 Códigos de falla

II. EL MOTOR LADA BA3-2104

2.1 DATOS GENERALES DEL MOTOR

2.1.1 Especificaciones técnicas del motor LADA

2.1.1.1 Bloque de cilindros

2.1.1.2 Cigüeñal y volante de inercia

2.1.1.3 Émbolos y bielas

2.1.1.4 Cabezote

2.1.1.5 Árbol de levas y válvulas

2.2 PARÁMETROS FUNDAMENTALES DEL MOTOR

2.2.1 Poder antidetonante (número de octano)

2.2.2 Formación de la mezcla aire-gasolina

2.2.3 Combustión

2.2.4 Gases de escape

2.2.5 Rendimiento volumétrico

2.2.6 Ciclo práctico

2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL TRABAJO DEL MOTOR

2.3.1 La cilindrada

2.3.2 La relación de compresión

2.3.3 La velocidad de rotación del motor

2.3.4 La velocidad del émbolo

2.3.5 La relación diámetro/carrera

2.4 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR

2.4.1 Torque

2.4.2 Potencia

2.4.3 Consumo específico de combustible

2.5 SISTEMAS DEL MOTOR LADA 2104

2.5.1 Sistema de lubricación

2.5.2 Sistema de refrigeración

2.5.3 Sistema de alimentación de combustible

2.5.4 Sistema de encendido

2.5.5 Sistema de escape

2.5.6 Sistema de admisión de aire

III. ADAPTACIÓN E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN SECUENCIAL MPFI

3.1 CONSIDERACIONES PARA LA ADAPTACIÓN

3.1.1 Espacio en el habitáculo del motor

3.1.2 El sistema de inyección electrónica a implementarse

3.1.3 Existencia de autopartes en el mercado nacional

3.1.4 Existencia de equipos y maquinaria compatibles para el diagnóstico y mantenimiento del sistema de inyección electrónica a implementarse

3.2 PRECAUCIONES PARA LA INSTALACIÓN

3.2.1 Sistema eléctrico

3.2.2 Sistema de encendido

3.2.3 Sistema de alimentación

3.2.4 Sistema de refrigeración

3.2.5 Sistema de lubricación

3.3 FACTIBILIDAD DEL SISTEMA

3.3.1 Ventajas del sistema

3.3.2 Desventajas del sistema

3.3.3 Factibilidad

3.4 SUPRESIÓN DE ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS CONVENCIONALES E IMPLEMENTACIÓN Y ADAPTACIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

3.4.1 Desmontaje del motor

- 3.4.1.1 Evacuación de líquidos
- 3.4.1.2 Desmontaje de partes y piezas
- 3.4.2 Supresión de partes y piezas convencionales
 - 3.4.2.1 Supresión en el sistema de encendido
 - 3.4.2.2 Supresión en el sistema de alimentación de combustible
 - 3.4.2.3 Supresión en el sistema de refrigeración
 - 3.4.2.4 Supresión en el sistema de admisión de aire
- 3.4.3 Adaptación de dispositivos mecánicos
 - 3.4.3.1 Adaptación de la base del sensor de picado (KS) al bloque de cilindros
 - 3.4.3.2 Adaptación del cabezote
 - 3.4.3.3 Instalación del sensor de oxígeno (HEGO)
 - 3.4.3.4 Adaptación de la bomba eléctrica de combustible
- 3.4.4 Montaje de partes mecánicas e Implementación de componentes electrónicos

IV. ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR LADA 2104

- 4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS PREVIO LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA SECUENCIAL MPFI
 - 4.1.1 Potencia
 - 4.1.2 Torque
 - 4.1.3 Consumo específico de combustible
 - 4.1.4 Emisiones de gases
 - 4.1.5 Rendimiento volumétrico
 - 4.1.6 Rendimiento térmico
- 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS UNA VEZ IMPLEMENTADO EL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA SECUENCIAL MPFI
 - 4.2.1 Potencia
 - 4.2.2 Torque
 - 4.2.3 Consumo específico de combustible
 - 4.2.4 Emisiones de gases
 - 4.2.5 Rendimiento volumétrico
 - 4.2.6 Rendimiento térmico

4.3 COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE DESEMPEÑO RESULTANTES ENTRE AMBOS SISTEMAS

4.3.1 Potencia

4.3.2 Torque

4.3.3 Consumo específico de combustible

4.3.4 Rendimiento volumétrico

4.3.5 Rendimiento térmico

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

5.2 RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO "A" ESQUEMA DE CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL SISTEMA
DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA VAZ MP7.0H

ANEXO "B" DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE LOS COMPONENTES
DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL VEHÍCULO LADA 2104

ANEXO "C" DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE LOS DIFERENTES
SISTEMAS DEL VEHÍCULO LADA 2104

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la industria automotriz ha ido avanzando a pasos agigantados en lo que a tecnología se refiere; esto se debe a la cada vez más frecuente inclusión de componentes electrónicos que ayudan a controlar y optimizar las diferentes funciones y tareas que se deben ejecutar dentro de un automóvil.

La introducción de vehículos equipados con el sistema de inyección electrónica de combustible en nuestro país fue a partir de los años 90; y desde entonces este nuevo sistema de alimentación empezó a desplazar al tradicional carburador, el cual ha disminuido su presencia en el parque automotor a tal punto que hoy es obsoleto.

Por esta razón decidimos efectuar la adaptación del sistema electrónico de inyección gasolina en un vehículo convencional a carburador, modelo LADA 2104 del año 1994. Con esto pondremos a prueba el sistema de alimentación con carburador versus el sistema de alimentación con inyección electrónica, y finalmente demostraremos las notables mejoras que se obtienen al realizar dicha sustitución.

En el **Capítulo I** explicaremos el funcionamiento del sistema de inyección electrónica de combustible, así como de los diferentes subsistemas y dispositivos de los que éste se compone.

En el **Capítulo II** daremos a conocer los datos generales del motor LADA BA3-2104, así como sus parámetros fundamentales y factores que influyen en el trabajo, además de mostrar sus curvas características y los diferentes sistemas de los que se compone el motor.

En el **Capítulo III** detallaremos los pasos que se realizaron durante el proceso de adaptación del sistema, a más de presentar las respectivas precauciones y consideraciones que analizamos para lograr la exitosa implementación del sistema.

En el **Capítulo IV** realizaremos un análisis de las mejoras obtenidas al comparar entre el sistema con carburador y el de inyección electrónica.

Finalmente en el **Capítulo V** presentaremos las conclusiones obtenidas y las recomendaciones del caso que se generaron durante el desarrollo del proyecto.

I. SISTEMA DE INYECCIÓN SECUENCIAL MPFI

1.1 INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA MPFI

El funcionamiento del motor Otto se basa en la combustión de una mezcla homogénea de combustible lo más pulverizado posible, con aire. El rendimiento del motor y las emisiones contaminantes dependen básicamente de la composición de la mezcla que se introduce en la cámara.

La necesidad de motores potentes, ligeros, de mayor fiabilidad y menor consumo fueron los incentivos de la investigación hacia los sistemas de inyección electrónica.

Todos los sistemas actuales que efectúan la inyección del combustible en el colector de admisión, lo hacen delante de la válvula de admisión; mediante unos inyectores que en su apertura y debido a la forma del agujero de salida, pulverizan finalmente el combustible creando una buena emulsión con el aire.

En los sistemas de inyección secuencial de gasolina, la inyección del combustible se efectúa durante la carrera de admisión, en el colector frente a la válvula de admisión a presiones comprendidas entre los 35 y 60 psi.

En los motores con carburador, el aire debe arrastrar al combustible, por depresión, a través de conductos calibrados. Esto genera efectos de inercia por la diferencia de densidad y rozamiento del aire y de la gasolina, que dificultan la elaboración correcta de la mezcla. En los sistemas de inyección, estos efectos no tienen lugar porque la cantidad de combustible inyectado no depende directamente de la depresión creada en el conducto de aspiración.

Los sistemas de inyección ahorran combustible porque sólo inyectan lo estrictamente necesario para el correcto funcionamiento del motor en cualquier régimen de giro.

No obstante, los sistemas de inyección presentan la desventaja de que son más costosos porque en su fabricación se utilizan componentes de precisión mecánicos y electrónicos.

Los equipos de inyección electrónica secuencial multipunto son, en nuestro medio, los sistemas de alimentación más exactos. Para ello se basan en el uso de la electrónica con tal de conseguir una dosificación lo más exacta posible. El control de dosificación puede realizarse porque se controla una serie de parámetros para definir el tiempo de inyección. Estos esencialmente son:

- Caudal y temperatura del aire.
- Temperatura del motor.
- Régimen de giro del motor.
- Carga del motor.
- Velocidad del vehículo
- Tensión del acumulador del vehículo.
- Oxígeno residual de la mezcla.
- Condiciones de funcionamiento: ralentí en frío, puesta en marcha, etc.

Para la determinación de estos parámetros se utilizan sensores, los cuales detectan una condición de operación, la transforman en un valor eléctrico y lo envían al Módulo de Control del Tren de Potencia (**PCM**), que procesa esta información y transmite órdenes pertinentes a los actuadores del sistema; lo que ha permitido que los sistemas de inyección electrónica de combustible adquieran una dosificación lo más ajustada posible a las condiciones de marcha y estado del motor.

1.2 SUBSISTEMAS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE

Para detallar los subsistemas en los que se divide el sistema de inyección electrónica, haremos una breve descripción de su funcionamiento.

El recorrido del combustible empieza desde el depósito, donde es aspirado por una bomba eléctrica de combustible, que recibe la corriente desde el relé principal, regida por el interruptor de contacto y el PCM, dicha bomba impulsa el combustible a través del filtro, al riel de inyectores, llegando al regulador, donde se establece la presión de inyección adecuada, pasando finalmente a los inyectores.

El aire de la atmósfera aspirado por los émbolos, atraviesa el filtro de aire, pasa por el sensor de flujo másico de aire (MAF), que envía información al PCM; continúa su recorrido por el cuerpo de aceleración, y finalmente por el colector de admisión. El aire que entra viene regulado por el estrangulador de aceleración, que a través de su sensor de posición (TPS) envía una señal al PCM, el cual controla posteriormente el regulador de marcha de ralentí (IAC).

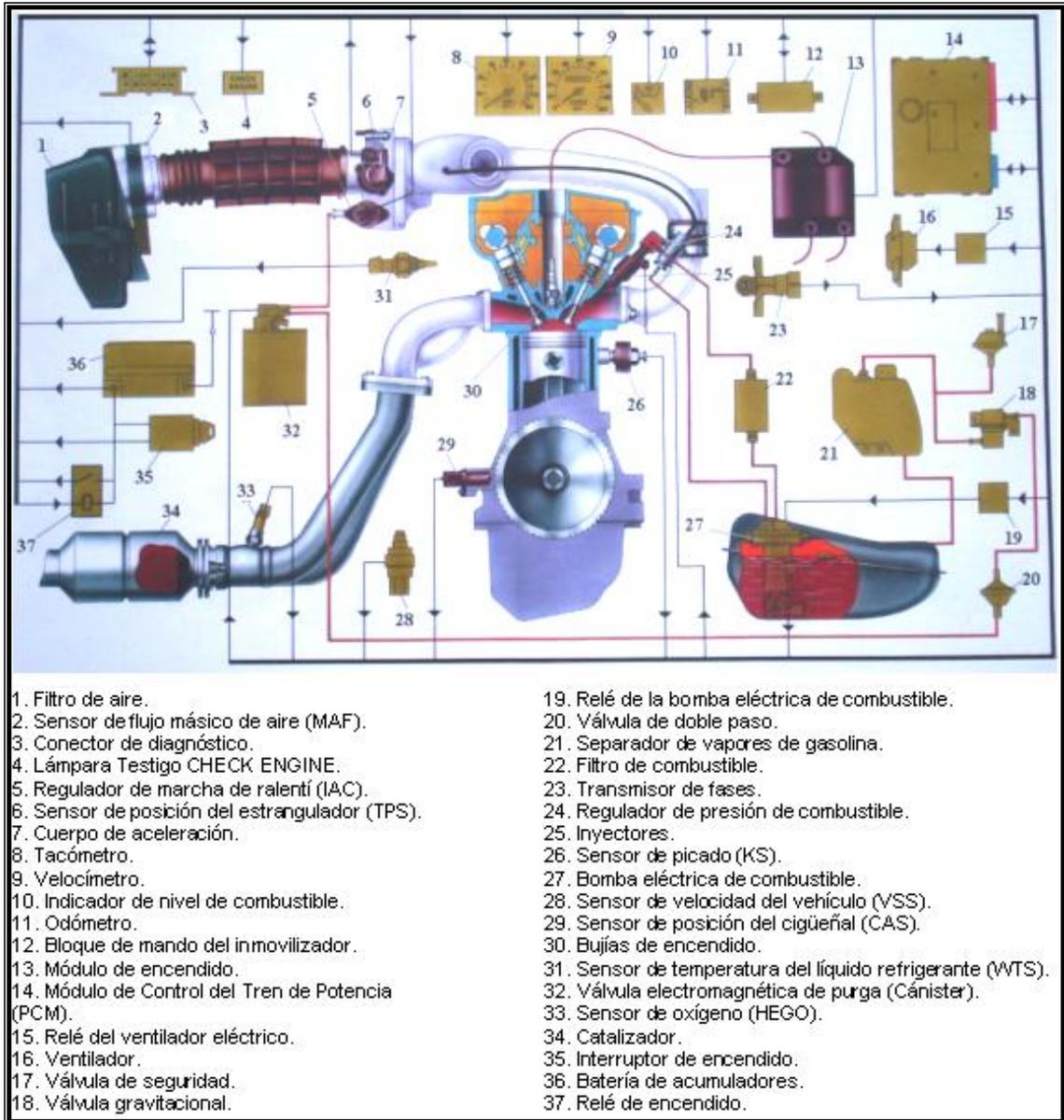


Figura 1.1 Esquema del Sistema de Inyección de Combustible

Cuando el aire aspirado pasa por los conductos del cabezote, recibe la cantidad de combustible necesaria para la combustión por parte de los inyectores de acuerdo a las condiciones de funcionamiento del motor.

A continuación, en la **Figura 1.2** se muestra un esquema simple de un sistema de inyección electrónica de combustible.

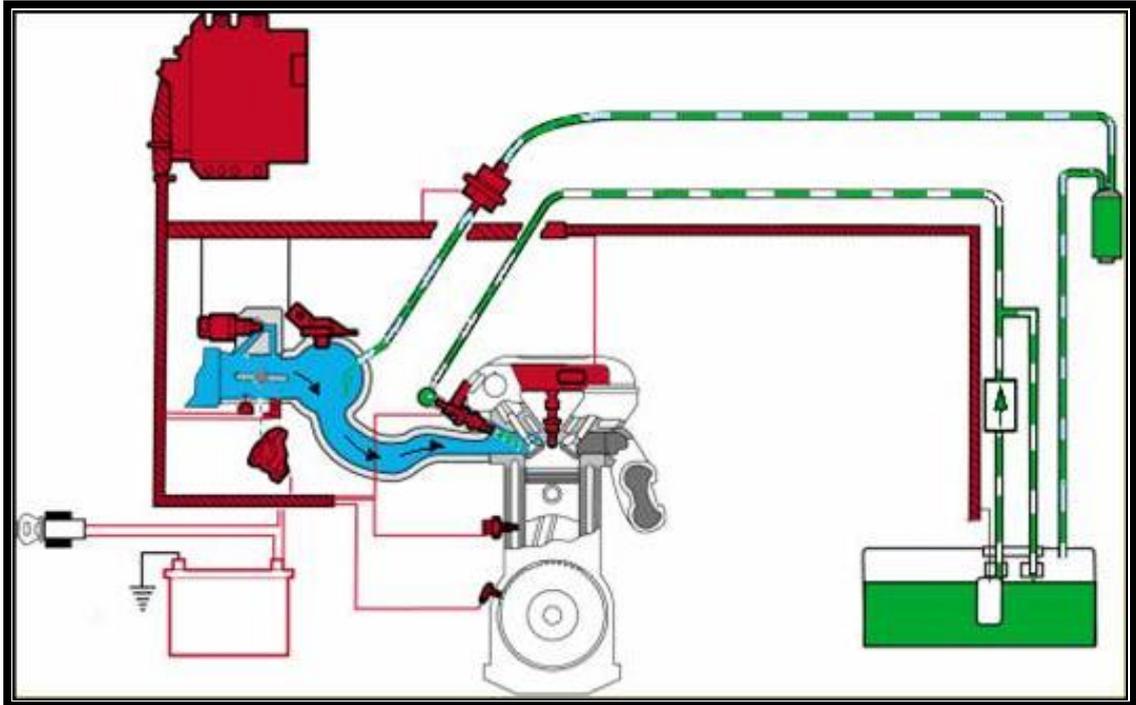


Figura 1.2 Esquema del Sistema de Inyección Electrónica

De acuerdo a lo descrito, los subsistemas en los cuales se subdivide el Sistema de Inyección Electrónica son:

- Control Electrónico (color rojo).
- Alimentación de Combustible (color verde).
- Admisión de Aire (color celeste).
- Autodiagnóstico.

1.3 CONTROL ELECTRÓNICO

En la **Figura 1.3** se muestra el esquema completo del Sistema de Control Electrónico, el cual emplearemos en la adaptación que realizaremos.

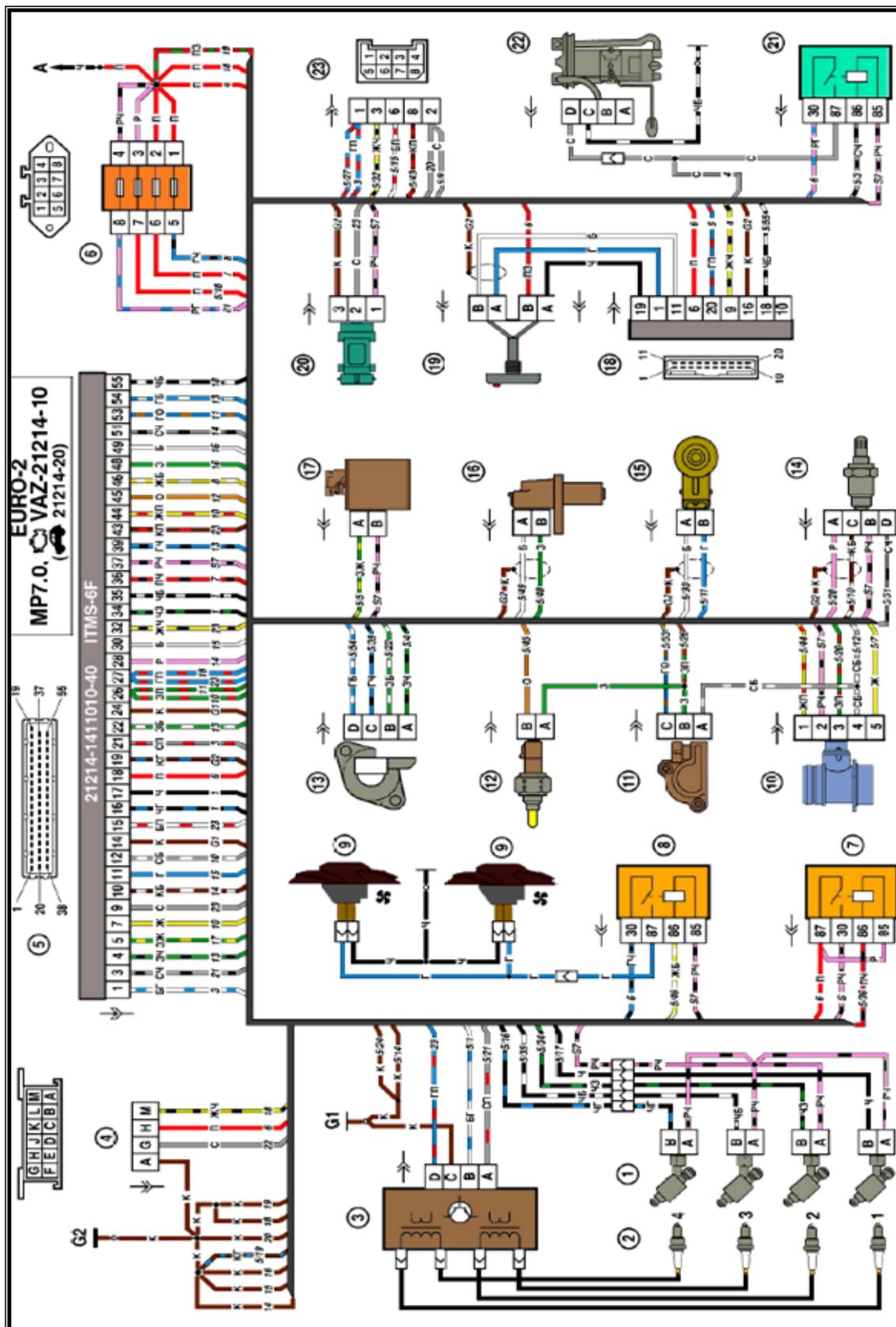


Figura 1.3 Esquema de conexiones eléctricas del sistema de mando del motor a inyección multipunto de combustible (VAZ MP7.0H)

1.3.1 Módulo de control del tren de potencia (PCM)

Es la parte básica del sistema de inyección electrónica, ya que recibe la información de los sensores, se encarga del procesamiento de datos e inmediatamente envía órdenes precisas a los actuadores, para lograr una correcta dosificación de la mezcla. El resultado final del proceso del PCM es la determinación del tiempo de la inyección y el instante exacto del salto de la chispa de encendido.



Figura 1.4 Módulo de Control del Tren de Potencia (PCM)

1.3.1.1 Arquitectura del PCM

El PCM contiene, básicamente: un conformador de impulsos, un convertidor analógico-digital, un bus de datos y direcciones, y un microordenador; el cual, se compone de una unidad aritmético/lógica (ALU) de funcionamiento digital, y demás componentes, como se muestra en la **Figura 1.5**.

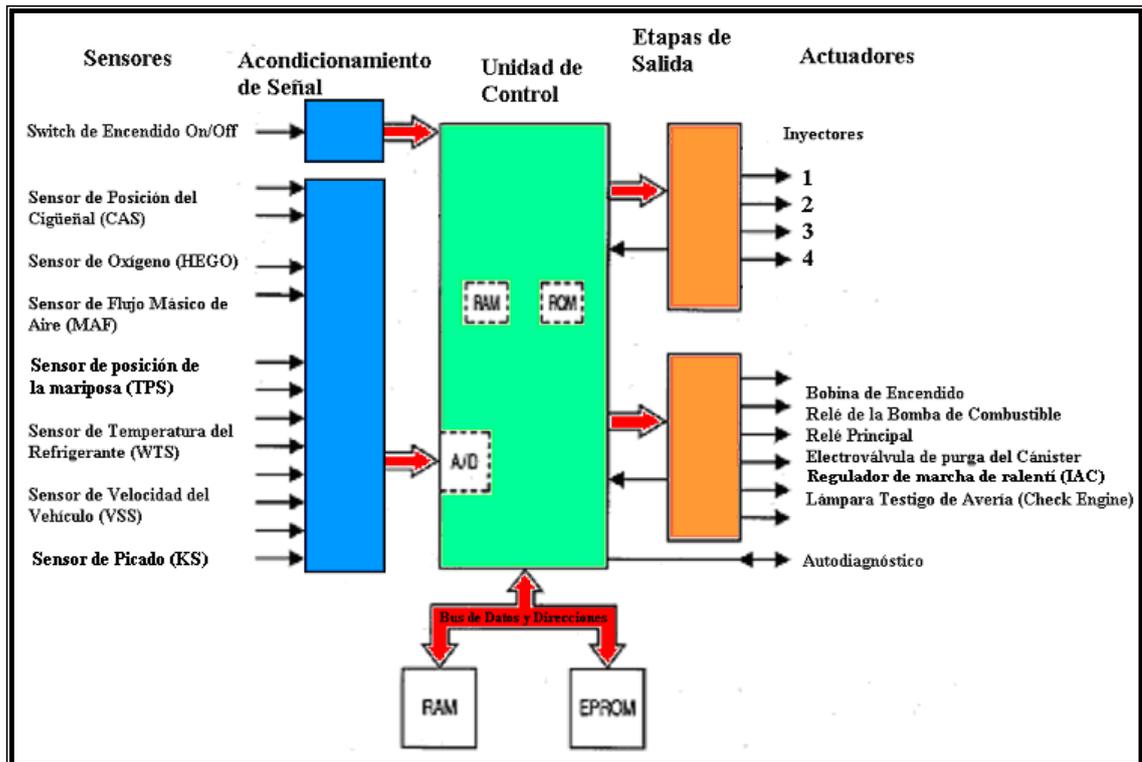


Figura 1.5 Arquitectura del PCM

- **Conformador de impulsos**

Actúa para recibir los impulsos de tensión de los diferentes sensores. Estos impulsos son modificados en magnitud y en forma, para dejarlos en condiciones que puedan ser procesados por el microordenador.

- **Convertidor analógico digital**

Es el encargado de recibir las señales que se producen por variaciones de tensión en los sensores. Estas variaciones de tensión son convertidas de señales analógicas a digitales.

- **Microprocesador**

Es la unidad central de proceso (CPU), contiene en su interior una Unidad Aritmético/Lógica (ALU), que realiza las operaciones aritméticas y las operaciones lógicas. Los programas y datos que precisa los obtiene de la memoria ROM, mientras los datos que ha de procesar le vienen de la memoria RAM que almacena los datos suministrados por los sensores. Además consta de un Acumulador, que es una memoria intermedia que le permite a la ALU guardar datos mientras trabaja con otros que tendrán relación con lo que está procesando; y posee una Unidad de Control, que es el elemento activo que solicita los datos, controla las entradas, las salidas y el desarrollo de las operaciones.

- **Memoria ROM**

Como en todos los ordenadores, la memoria ROM mantiene grabados los programas con todos los datos, valores teóricos, etc. con los que ha de funcionar el sistema. Esta memoria no puede borrarse.

- **Memoria RAM**

Es la memoria de acceso aleatorio en la que se acumulan los datos de funcionamiento. Aquí están almacenados los datos que proporcionan los sensores hasta el momento en que son requeridos por la CPU, en cuyo momento son sobregabados con los nuevos datos que se reciben de los sensores.

Los defectos que se generen en el funcionamiento del sistema, son memorizados en el PCM en el orden en que van apareciendo. “Cuando se reconoce un defecto por primera vez y el estado de error permanece durante un tiempo mayor que 0,5 segundos, el defecto se memoriza como permanente. Si este defecto desaparece enseguida se memoriza como intermitente y no presente. Si una avería se clasifica como permanente, se activa la función de emergencia o modo de avería.”¹

La lámpara testigo CHECK ENGINE situada en el panel de instrumentos, se enciende cuando se activa el modo de avería para que el conductor se de cuenta de la existencia de uno o varios defectos en el funcionamiento del sistema; y cada vez que se pone en contacto el switch de encendido del motor. Si no hay averías importantes presentes, la lámpara testigo se apaga aproximadamente después de 4 segundos de haberse conectado el encendido del motor.

Los errores almacenados en la memoria del PCM pueden eliminarse accediendo directamente a la dirección de memoria, donde están almacenados mediante la opción *Borrado de errores*, para esto es necesario utilizar los equipos de diagnóstico propios de cada fabricante o un scanner universal.

Los datos elaborados se envían en forma de señales eléctricas a los actuadores. Este trabajo se efectúa de manera constante durante el funcionamiento del PCM, y todo se borra al desconectar la instalación.

¹ http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0203103-202014//05CAPITULO3.pdf, pág. 19

- **Memoria EEPROM**

Cuando el PCM recibe en tiempo real los datos provenientes de los diferentes sensores, debe procesarlos inmediatamente y a su vez tomar acciones que permitan establecer un correcto funcionamiento. En esta memoria se encuentran almacenadas las siguientes funciones:

Control del arranque en frío

En las condiciones de arranque en frío el sistema verifica:

- Empobrecimiento natural de la mezcla (a bajas temperaturas).
- Condensación del combustible en las paredes internas del múltiple de admisión.

El PCM reconoce esta condición y corrige el tiempo de inyección en función de:

- Temperatura del líquido refrigerante.
- Temperatura del aire aspirado.
- R.P.M. del motor.

En la fase de arranque, el PCM dirige una primera inyección simultánea para todos los inyectores y, enseguida inicia el funcionamiento normal secuencial sincronizado. Durante la fase de calentamiento del motor, el PCM controla el movimiento del regulador de marcha de ralentí para graduar la

cantidad de aire necesario y así garantizar la estabilidad en el régimen de rotación del motor.

El régimen de rotación disminuye proporcionalmente cuando aumenta la temperatura del motor hasta obtener la temperatura óptima de funcionamiento.

Control de la detonación

El sistema detecta la presencia del fenómeno de la detonación mediante el procesamiento de la señal proveniente del sensor de picado.

“El PCM compara continuamente las señales provenientes de dicho sensor con un valor determinado. De ese modo, el PCM puede detectar la detonación y reduce el avance del encendido (a intervalos de 3° hasta un máximo de 9°) hasta que desaparezca el fenómeno. A continuación, el avance del encendido va restableciéndose gradualmente hasta alcanzar el valor base (a intervalos de 0,8°)”².

Control de las R.P.M. máximas del motor

En función del número de r.p.m. alcanzado por el motor, el PCM:

- Por encima de 6.000 r.p.m. reduce el tiempo de inyección.
- Por encima de 6.500 r.p.m. interrumpe la alimentación a los inyectores.
- Por debajo de 5.800 r.p.m. reanuda el mando de los inyectores.

² Manual de Capacitación Técnica Bosch 2006 pag 15

1.3.2 Sensores

Los sensores comúnmente empleados en los Sistemas de Inyección Electrónica son los siguientes:

1.3.2.1 Sensor de posición del cigüeñal (CAS)

Las r.p.m. de funcionamiento del motor es el parámetro principal de análisis del PCM del sistema de inyección electrónica.

La señal para la determinación del régimen y posición del cigüeñal es generada por un elemento inductivo acoplado frente a una rueda dentada fijada al cigüeñal. La rueda dentada (**Figura 1.6**) posee tallados 58 dientes, existiendo un espacio libre, justo donde coincide con el PMS del cilindro N° 1 (ó alguno otro de referencia), en esta zona es precisamente donde se inducen los pulsos de mayor amplitud.

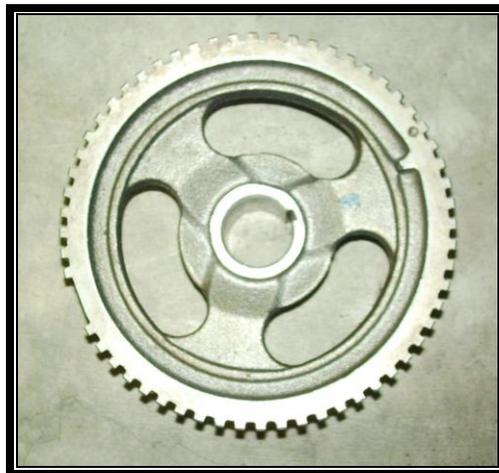


Figura 1.6 Rueda dentada

Este sistema cuenta continuamente los pulsos menores para la determinación de las r.p.m., y reserva los pulsos mayores sólo para la sincronización de la inyección y el encendido.

Este detector se compone de un núcleo magnético rodeado de un bobinado que produce una señal sinusoidal cuya frecuencia es proporcional al régimen de rotación del motor. La **Figura 1.7** nos muestra la disposición del sensor CAS y la rueda dentada.

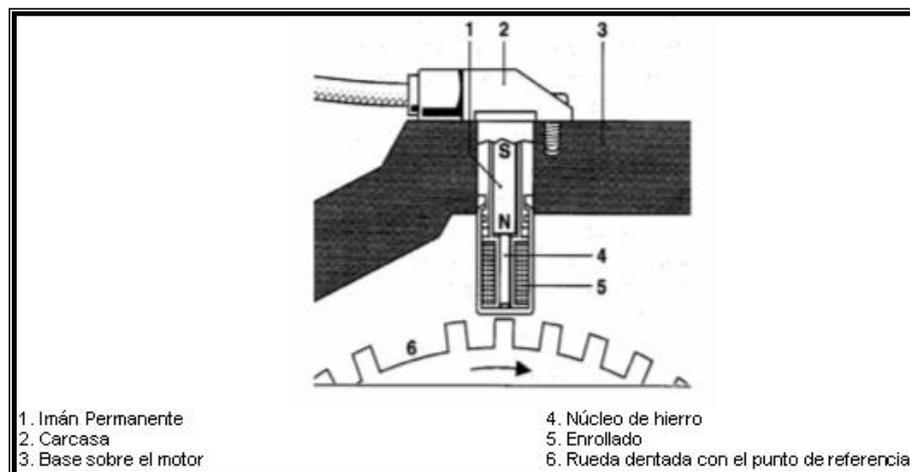


Figura 1.7 Sensor inductivo para la determinación de las RPM y posición del cigüeñal

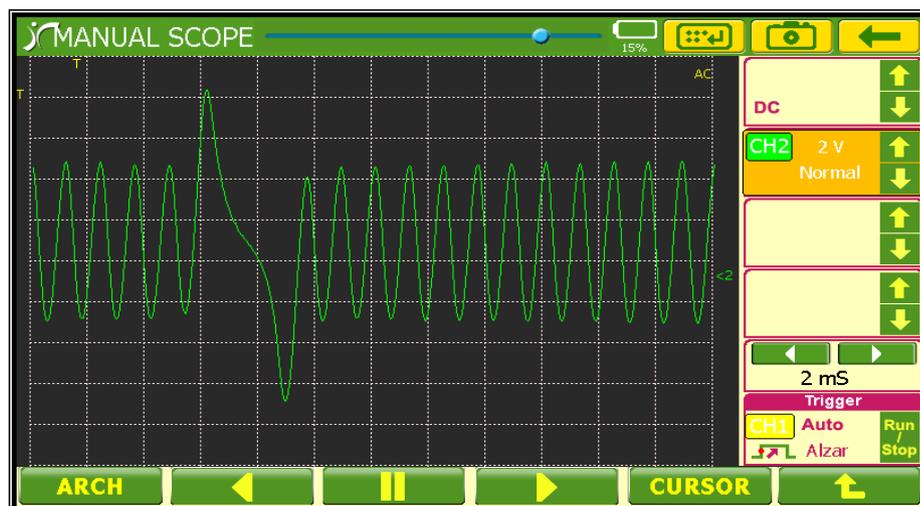


Figura 1.8 Señal de salida del Sensor CAS

1.3.2.2 Sensor de oxígeno (HEGO)

Es un sensor que analiza los gases producidos por la combustión en el mismo momento que circulan por el sistema de escape, detectando exceso o deficiencia de oxígeno que provocarán la intervención del PCM para evitarlos.

El sensor de oxígeno está constituido básicamente por un cuerpo de cerámica compuesto fundamentalmente de dióxido de zirconio y sus superficies internas y externas están provistas de electrodos revestidos de una fina capa de platino, permeable a los gases. La zona externa está recubierta a su vez de una capa de cerámica porosa, que protege la superficie del electrodo contra los residuos de combustión. A partir de 300°C la cerámica se vuelve conductora para los iones de oxígeno, estableciéndose una tensión eléctrica en los bornes del sensor.

Para el correcto funcionamiento del HEGO es necesario que alcance una temperatura de trabajo de 300°C aproximadamente. En los primeros modelos eran los propios gases de escape calientes los que se encargaban de calentarlo. El principal inconveniente era que demoraban varios segundos en calentarse, lo cual incrementaba notablemente la emisión de contaminantes durante el arranque en frío. Para evitar este inconveniente, actualmente este sensor se calienta artificialmente mediante una resistencia eléctrica antes de poner en marcha el motor.

Constituido así el sensor (**Figura 1.9**), cada uno de los electrodos se encuentra en contacto con un medio diferente (los gases de escape por un lado y el aire ambiente por otro). Si el contenido de oxígeno de ambos lados en contacto con los electrodos difiere, aparece una tensión eléctrica entre ellos. Como la tasa de oxígeno de los gases de escape es función de la riqueza de la

mezcla, el sensor es capaz de detectar y medir esta riqueza, enviando la señal conveniente al PCM para que corrija el pulso de inyección y lo adecue a las necesidades de la marcha.

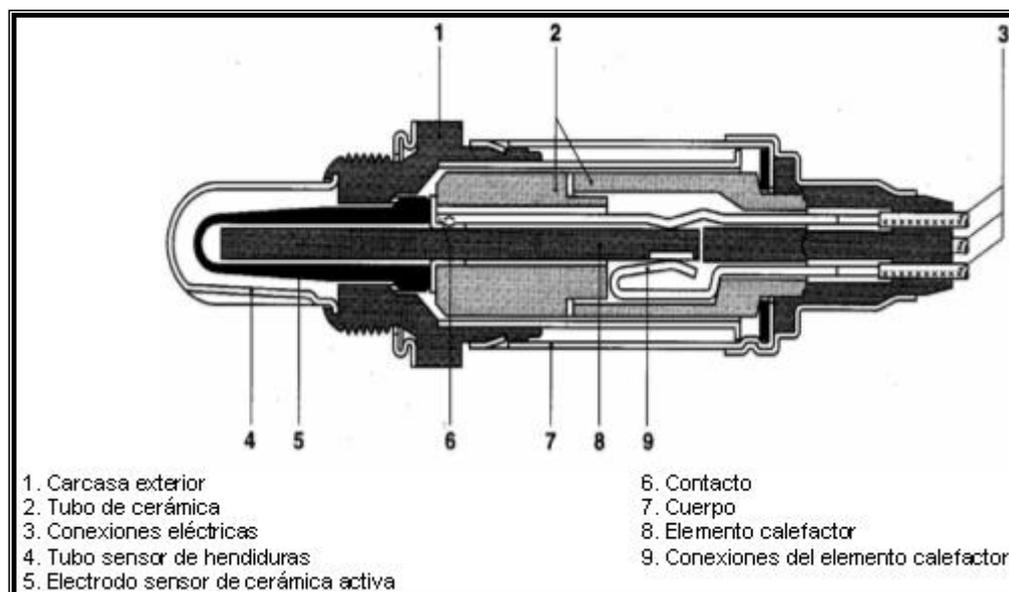


Figura 1.9 Sensor HEGO

El sensor HEGO debe ser capaz de captar la composición de la mezcla en todo momento, y en función de ello variar su señal enviada al PCM.



Figura 1.10 Sensor de Oxígeno (HEGO)

El sensor HEGO envía una señal a la PCM, que oscila entre 0,4 (mezcla pobre) a 1,0 (mezcla rica) voltios, como se muestra en la **Figura 1.11**.

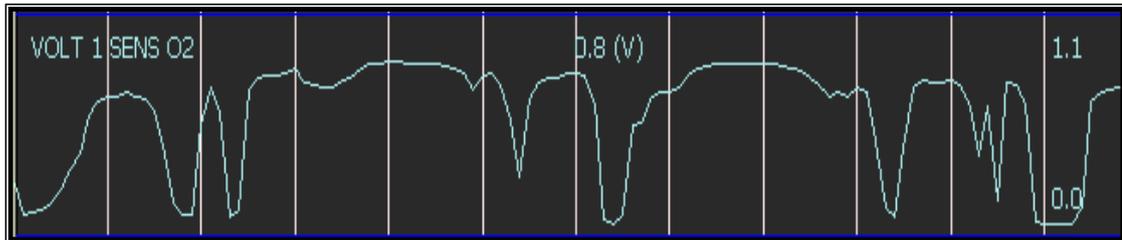


Figura 1.11 Señal del Sensor de Oxígeno

1.3.2.3 Sensor de flujo másico de aire (MAF)

El sensor de flujo másico de aire es un sistema de medición totalmente eléctrico. La temperatura y la cantidad de la masa de aire que penetra por el múltiple de admisión ejercen una acción refrigerante sobre una placa caliente mediante la cual se consiguen variaciones de su resistencia eléctrica. Estas variaciones son enviadas al PCM de manera que a un enfriamiento de la placa caliente se responde enviando una corriente de mayor intensidad para aumentar de este modo el calentamiento. Las diferencias de corriente son las que determinan, una vez procesadas por el PCM, el flujo másico de aire que atraviesa en todo momento la placa de platino del sensor.

Además determina la corrección automática con aires de diferente densidad según la altura a que se trabaje. Un aire frío es más denso que un aire caliente y como la cantidad se determina por la temperatura del aire caliente, la corrección es automática. En el caso de una presión atmosférica menor esto se traducirá en un menor paso de aire en la aspiración, por lo que la corriente será más lenta y, por tanto, el enfriamiento de la placa caliente será menor.

En caso de fallar el sensor MAF, el PCM determina la cantidad de aire que ingresa en los cilindros a través de la señal del sensor de posición del estrangulador (TPS).



Figura 1.12 Sensor de Flujo Másico de Aire (MAF)

1.3.2.4 Sensor de posición del estrangulador (TPS)

La determinación de la posición del estrangulador, es esencial para el control electrónico del sistema. Determina no sólo el estado de ralentí, media o plena de carga del motor, sino también la solicitud de mayor potencia para aceleraciones, subidas de pendientes, etc. En todas sus variantes, la señal de este elemento es de tipo analógico, y la información la aporta su variación de tensión.

Su funcionamiento es sencillo, se basa en la clásica resistencia variable que, en este caso, tiene su elemento de variación solidario al eje de la mariposa. Al moverse la mariposa obliga a las resistencias a variar su valor, lo cual queda expresado en una variación de la tensión. Esta variación de tensión es la utilizada precisamente por el PCM para determinar la posición física de la mariposa de gases en todo momento.



Figura 1.13 Sensor de Posición del Estrangulador

1.3.2.5 Sensor de temperatura del refrigerante (WTS)

La determinación de la temperatura del motor se realiza mediante una resistencia eléctrica variable del tipo NTC (*negative temperature coefficient*) que está en contacto directamente con el líquido de refrigeración. Estas resistencias, como se muestra en la **Figura 1.14**, disminuyen su resistencia óhmica proporcionalmente al incremento de temperatura.

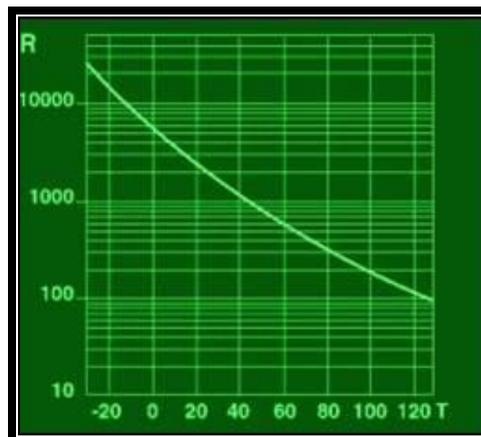


Figura 1.14 Curva característica del Sensor de Temperatura del Refrigerante

Esta variación de la resistencia es detectada por el PCM, la cual ajusta entonces los pulsos de inyección de acuerdo a su interpretación de la

temperatura del motor. Básicamente el PCM disminuye los pulsos de inyección en la medida que el motor se calienta, y los incrementa cuando el motor está frío.

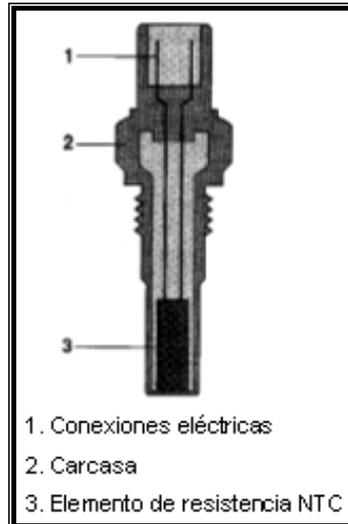


Figura 1.15 Resistencia de tipo NTC

Generalmente este sensor va implantado en el bloque de cilindros, en el cabezote o acoplado en la toma de retorno del líquido refrigerante del motor.



Figura 1.16 Sensor de Temperatura del Refrigerante

1.3.2.6 Sensor de velocidad del vehículo (VSS)

El sensor de velocidad del vehículo **VSS** proporciona una señal de corriente alterna al PCM la cual es interpretada como velocidad del vehículo.

Este sensor es un generador de imán permanente montado en la caja de velocidades o en la cadena del velocímetro. Al aumentar la velocidad del vehículo, la frecuencia y el voltaje aumentan, entonces el PCM convierte ese voltaje en Km/h, el cual usa para sus cálculos.

Tiene en su interior un imán giratorio que genera una onda sinusoidal de corriente alterna directamente proporcional a la velocidad del vehículo.

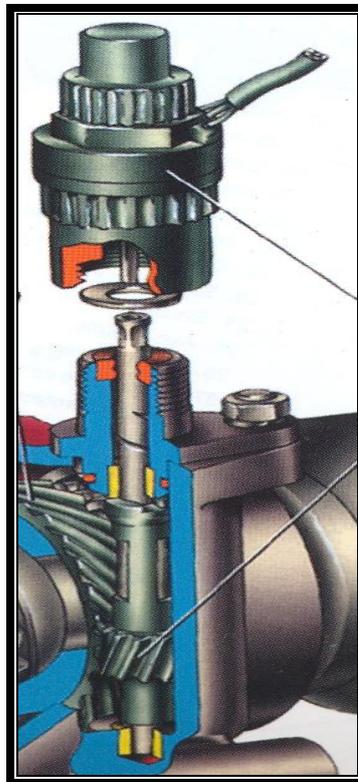


Figura 1.17 Sensor de Velocidad del Vehículo

1.3.2.7 Sensor de picado del motor (KS)

El estado de "picado" del motor se determina mediante un sensor de tipo piezoeléctrico, montado en el bloque de cilindros, y es capaz de detectar la intensidad de las vibraciones provocadas por la detonación en las cámaras de combustión. El cristal piezoeléctrico (generalmente de Cuarzo) que constituye el sensor, detecta las vibraciones generadas y las transforma en señales eléctricas que envía a la PCM.



Figura 1.18 Sensor de Picado

Analizando la información generada, como se muestra en la **Figura 1.19**, la PCM detecta las fases de picado y lanza estrategias con el fin de evitar la degradación del motor.

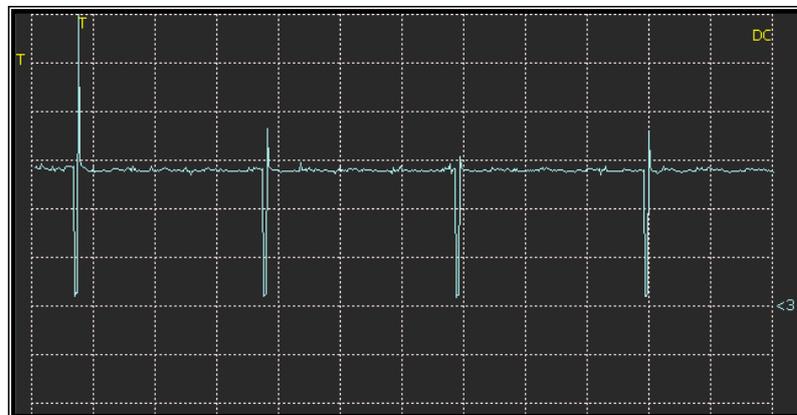


Figura 1.19 Señal de salida del Sensor de Picado

1.3.3 Actuadores

Los actuadores son elementos electromecánicos, los cuales reciben señal directamente del PCM para su funcionamiento; éste descarga la información que proviene de los diferentes sensores y, a partir de programas que se encuentran codificados en su memoria, comanda los elementos siguientes:

- Inyectores
- Bobinas de encendido
- Válvula electromagnética de purga (cánister)
- Regulador de marcha de ralentí (válvula IAC)
- Relé del ventilador eléctrico
- Relé de la bomba eléctrica de combustible
- Lámpara testigo de avería CHECK ENGINE

Relés

Garantizan la alimentación del PCM y de los diferentes elementos del circuito. Según el sistema de inyección, comandarán:

- Los circuitos del PCM.
- La bomba eléctrica de combustible.
- El ventilador eléctrico, etc.



Figura 1.20 Relé Bosch

1.4 CÁLCULO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN INYECCIÓN ELECTRÓNICA.

Para el cálculo teórico de consumo de combustible en inyección electrónica nos basaremos en fundamentos de hidráulica.

Comenzaremos calculando el caudal que es expulsado por cada inyector al momento de la inyección. Para esto, primero necesitamos conocer la velocidad de descarga. La **figura 1.21** representa el interior de un inyector; el cual nos ayudará para el cálculo de la velocidad de descarga.

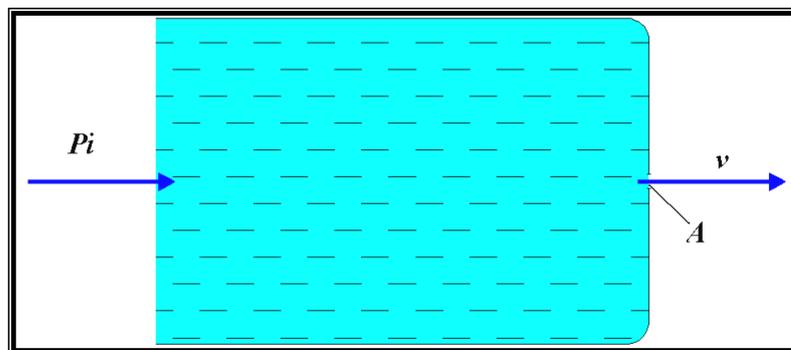


Figura 1.21 Esquema para el cálculo de la velocidad de descarga de un inyector

“La ecuación que emplearemos para determinar la velocidad de descarga de un inyector será:

$$v = \phi \sqrt{2 \frac{P_i}{\rho}} \quad (\text{Ec. 01})$$

Donde:

- v = velocidad de descarga
- ϕ = coeficiente de fricción del líquido
- P_i = presión interior (presión regulada en el riel de inyección)
- ρ = densidad del líquido.”³

Los datos que tenemos los transformaremos a un solo sistema de unidades, de la siguiente manera:

$$P_i = 350 \text{MPa} = 350000000 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$\phi = 0,82$$

$$\rho = 0,86 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} * \frac{1 \text{dm}^3}{0,001 \text{m}^3} = 860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ahora, reemplazaremos estos datos en la **Ec.1**, y obtendremos:

³ Kurt Gieck, Manual de Fórmulas Técnicas, 19ª Edición, Editorial Alfaomega, México, 1995, pag N7

$$v = \phi \sqrt{2 \frac{P_i}{\rho}}$$

$$v = 0,82 * \sqrt{2 \frac{350000000 \frac{kg}{m^3 s^2}}{860 \frac{kg}{m^3}}}$$

$$v = 0,82 * 902,1937 \frac{m}{s}$$

$$v = 739,79 \frac{m}{s}$$

Tenemos que la velocidad con la que descarga combustible un inyector en el colector de admisión es de 739,79 m/s.

Para el cálculo del caudal emplearemos la siguiente fórmula:

$$\boxed{Q = v * A} \quad (\text{Ec. 02})$$

Donde:

- Q = caudal
- v = velocidad de descarga del líquido
- A = área del orificio.

Los datos deben estar en las mismas unidades. En este caso, el diámetro uno de los orificios de un inyector, será transformado de milímetros a metros.

$$d = 0,05mm$$

$$d = 0,05mm * \frac{1m}{1000mm}$$

$$d = 5 * 10^{-5}m$$

Con este dato, ya podemos calcular el área de un orificio del inyector, con la fórmula:

$$A = \frac{\pi * (d)^2}{4}$$

(Ec. 03)

Donde:

- A = área del orificio
- d = diámetro del orificio

Reemplazando los datos obtenidos, tenemos:

$$A = \frac{\pi * (d)^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (5 * 10^{-5}m)^2}{4}$$

$$A = 1,963 * 10^{-9}m^2$$

Cabe recalcar que este valor representa el área de un solo orificio del inyector, pero cada uno de nuestros inyectores posee 4 orificios, así que para obtener el área total de los orificios de un inyector hay que multiplicarlo por 4.

$$A_T = A * \#orificios$$

$$A_T = (1,963 * 10^{-9} m^2) * 4$$

$$A_T = 7,853 * 10^{-9} m^2$$

Esto quiere decir que cada inyector posee un área de evacuación de combustible de apenas $7,853 * 10^{-9} m^2$; que sin embargo es suficiente para cumplir con el trabajo solicitado por el motor.

Ahora que ya tenemos el área total de los orificios y la velocidad de descarga, podemos calcular el caudal suministrado por cada inyector, con la ayuda de la **Ec. 02**.

$$Q = v * A$$

$$Q = 739,79 \frac{m}{s} * 7,853 * 10^{-9} m^2$$

$$Q = 5,810 * 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 5,810 * 10^{-6} \frac{m^3}{s} * \frac{(10dm)^3}{(1m)^3} * \frac{1l}{1dm^3}$$

$$Q = 5,810 \frac{ml}{s}$$

Este resultado refleja la cantidad de combustible que suministra un inyector en un determinado tiempo; en este caso son 5,810 ml/s.

Ahora, debemos determinar un número de revoluciones a las que trabaja el motor y el dato de tiempo de inyección, que serán obtenidos con el escáner CARMAN SCAN VG con el motor en funcionamiento.

Los datos obtenidos son los siguientes:

- Régimen de giro del motor: 900 r.p.m.
- Tiempo de inyección (t_i): 1,6 ms.

Debido a que en una revolución del cigüeñal, el sistema envía pulsos de inyección para dos inyectores, debemos conocer el tiempo en que permanecen abiertos; entonces debemos multiplicar el tiempo de inyección por el número de inyectores:

$$t_{i(\text{ciclo})} = (t_i) * (\# \text{inyect})$$

$$t_{i(\text{ciclo})} = 1,6\text{ms} * 2$$

$$t_{i(\text{ciclo})} = 3,2\text{ms}$$

Por lo tanto, el tiempo de inyección en 1 revolución, será:

$$3,2 \text{ ms} = 3,2 * 10^{-3} \text{ s/rev.}$$

Ahora, para conocer el tiempo que permanecen abiertos los inyectores a la velocidad de 900 r.p.m, sólo debemos multiplicar el tiempo de inyección en 1 revolución por el número de revoluciones deseado (900 rev).

$$t_i = 3,2 * 10^{-3} \frac{\text{s}}{\text{rev}} * 900\text{rev}$$

$$t_i = 2,88\text{s}$$

Entonces, en 1 minuto, girando el motor a 900 r.p.m., los inyectores han permanecido abiertos un tiempo de apenas 2,88 s.

Conocido este valor, ya podemos calcular el volumen de combustible consumido por el motor a 900 r.p.m.

$$\boxed{V = Q * ti} \quad (\text{Ec. 04})$$

Donde:

- V = volumen de combustible consumido
- Q = caudal enviado por los inyectores
- ti = tiempo que éstos permanecen abiertos.

Entonces, reemplazando los valores en la **Ec. 04**, tenemos:

$$V = Q * ti$$

$$V = 5,810 \frac{ml}{s} * 2,88s$$

$$V = 16,732 ml$$

Este valor significa que, en 1 minuto, con el motor girando a 900 r.p.m., el volumen de combustible consumido por él, será de 16,732 ml.

1.5 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE

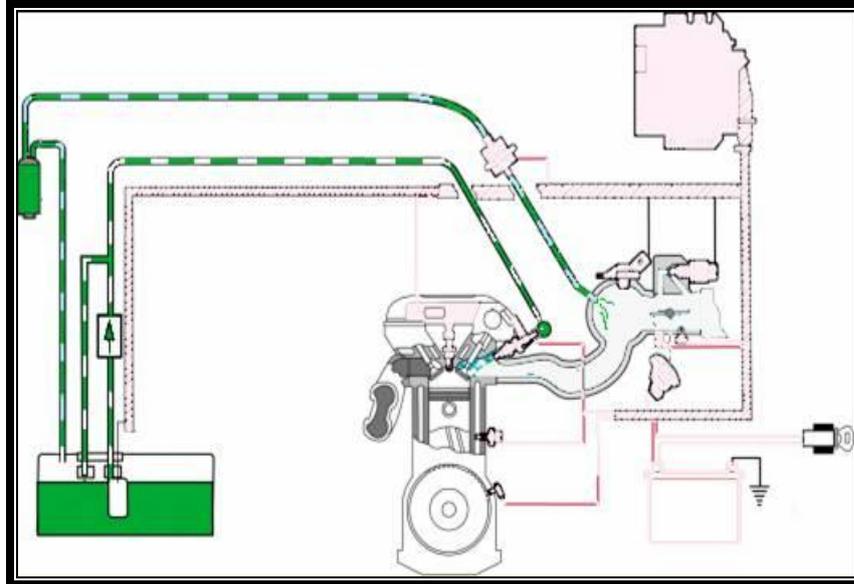


Figura 1.21 Esquema del sistema de alimentación de combustible

El sistema de alimentación representa la parte primordial del sistema de inyección electrónica, ya que este se encarga de hacer llegar el combustible hacia el cilindro para su combustión. Sus componentes principales son: el depósito de combustible, la bomba eléctrica, el filtro, el riel de inyectores, el regulador de presión de inyección y los inyectores.

1.5.1 Depósito de combustible

“El depósito de combustible está formado por un recipiente de chapa con una capacidad suficiente para proporcionar al vehículo una autonomía de marcha de unos 500 km.

Está construido en dos mitades, que se sueldan posteriormente. Las superficies exteriores van protegidas por un baño de estaño y después pintadas.”⁴



Figura 1.22 Depósito de Combustible

1.5.2 Bomba eléctrica de combustible

La bomba eléctrica de combustible está montada dentro del depósito, y también incorpora:

- El medidor del nivel de combustible.
- Un pre-filtro de combustible.

Esta bomba debe tener un funcionamiento continuo para mantener la alimentación a una presión estable. Por tanto, se trata de una bomba rotativa que ofrece presión de forma inmediata al ponerse en funcionamiento.

⁴ Manual CEAC del Automóvil, Editorial CEAC, España, 2003, pag 200

La bomba no sólo debe alimentar todos los conductos, sino que ha de proporcionar una presión y caudales mayores que los de máximo consumo de funcionamiento. Usualmente para un sistema de este tipo, la presión es de alrededor de 60 psi y el caudal de 2 litros/minuto aproximadamente.



Figura 1.23 Bomba eléctrica de combustible

1.5.3 Mangueras y cañerías de alta presión

El sistema requiere de tres líneas de combustible en el sistema de alimentación; y éstas son:

- La línea de abastecimiento de combustible, por la cual el combustible será succionado por la bomba eléctrica desde el depósito, pasando por los diversos elementos del sistema de alimentación y finalmente será transportado hacia los inyectores. Esta manguera debe ser capaz de soportar presiones elevadas (por seguridad, superior a los 100 psi).
- La línea de retorno de combustible, que inicia su recorrido en el regulador de presión ubicado en el riel de inyectores, el cual permitirá enviar el combustible excesivo directamente al depósito.

- La línea de desfogue de los vapores de combustible producidos en el depósito, que es accionada por la válvula de desfogue y permite el paso de dichos vapores hacia el filtro de carbones activos (cánister), y posteriormente al múltiple de admisión para ser combustionados.



Figura 1.24 Manguera de alta presión de combustible

1.5.4 Filtro de combustible

Se encuentra instalado entre la bomba eléctrica de combustible y el riel de inyectores, y habitualmente se sitúa en el compartimiento del motor. El material filtrante puede ser el fieltro pero en la actualidad la mayoría de los filtros son de papel. El filtro, propiamente dicho, va alojado en el interior de un cartucho y no es recuperable.



Figura 1.25 Filtro de combustible

1.5.5 Regulador de la presión de inyección

Una de sus funciones es la de transferir el combustible al depósito por el conducto de retorno en caso que se supere la presión máxima admisible en el riel de inyectores. Además, el regulador se encuentra comunicado con el múltiple de admisión por lo que la regulación se hace sensible a la depresión que exista en el múltiple.



Figura 1.26 Regulador de presión.

1.5.6 Inyectores

En los sistemas actuales se utilizan inyectores gobernados eléctricamente, o sea, válvulas de regulación eléctrica.

Son dispositivos que tienen dos estados estables, abiertos o cerrados. Cuando están abiertos permiten el paso del combustible, y cuando están cerrados lo bloquean.



Figura 1.27 Inyectores eléctricos

La PCM es la encargada de mandar los impulsos eléctricos que gobernarán la apertura de los inyectores. El tiempo de duración de los impulsos determina el tiempo de abertura de la aguja pulverizadora, y debido a que la presión de alimentación del inyector es constante, la cantidad de combustible inyectado será proporcional al tiempo de duración del impulso eléctrico.

El inyector debe ser una válvula que responda con una gran precisión a los impulsos eléctricos que reciba. Los componentes que lo forman deben ser de gran precisión. En la siguiente figura pueden observarse la estructura típica:

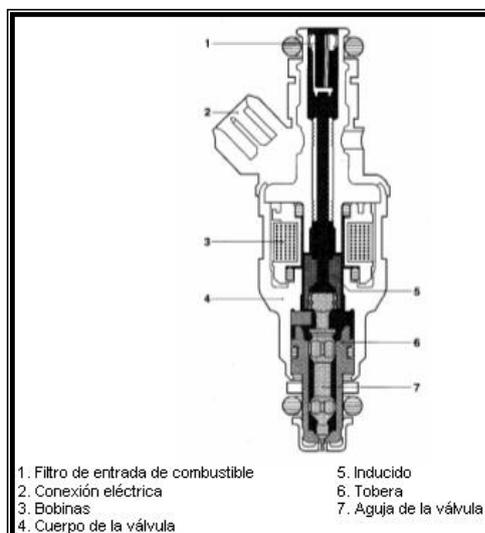


Figura 1.28 Inyector eléctrico de combustible

1.5.7 Válvula electromagnética de purga (Cánister)

El cánister forma parte del sistema de alimentación de combustible, ya que, va acoplado a la cañería de desfogue del tanque, y almacena los vapores de combustible que emanan desde el interior del depósito.



Figura 1.29 Válvula electromagnética de purga (Cánister)

Los vapores de combustible (contaminantes) recogidos en el filtro de carbones activos (canister), se envían hacia los conductos de admisión para ser quemados. En efecto, la PCM compensa esta cantidad de combustible adicional reduciendo el suministro a los inyectores.

La válvula electromagnética de purga del cánister es accionada por la PCM, y permite reciclar los vapores contenidos en el cánister en función de las condiciones de uso del motor.

1.6 SISTEMA DE INGRESO DE AIRE

La curva de par entregado por el motor es proporcional a la masa de aire que entra en el cilindro en función de las r.p.m. del motor. Una manera efectiva de mejorar el par entregado es proporcionar al múltiple de admisión una configuración geométrica adecuada.



Figura 1.30 Múltiple de admisión

El método más simple para mejorar la admisión es mejorando la dinámica del aire de ingreso. Los sistemas de inyección multipunto sólo transportan aire en su múltiple de admisión, y los inyectores son los encargados de descargar el combustible. Esta característica ofrece un amplio rango de opciones en el diseño del múltiple de admisión.

El múltiple de admisión estándar para sistemas de inyección multipunto consiste en túneles individuales curvados y una cámara de sobrepresión con un estrangulador.

“La concepción definitiva del múltiple de admisión depende del rango de trabajo del motor que se quiera optimizar, ya que túneles cortos y curvados permiten una máxima potencia, pero reducen el par a bajas r.p.m., mientras que túneles largos ofrecen un efecto inverso.”⁵

1.6.1 Regulador de marcha de ralentí (IAC)

La regulación de aire adicional se realiza mediante un motor de pasos de movimiento escalonado, que controla el paso del aire durante el calentamiento del motor igualmente mediante la señal generada por el sensor de posición del estrangulador. El control lo efectúa directamente la PCM mediante pulsos cuadrados que envía continuamente a este elemento en función de diferentes parámetros del motor.



Figura 1.31 Regulador de marcha de ralentí (IAC)

La frecuencia de estos pulsos es constante, por lo que no está sincronizada con ningún elemento del motor. La regulación consiste precisamente en variar la duración de los pulsos, de manera que cuanto más

⁵ http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0203103-202014//05CAPITULO3.pdf, pág. 31

duren más tiempo estará abierta la válvula, permitiendo de esta manera el control del paso del aire adicional.

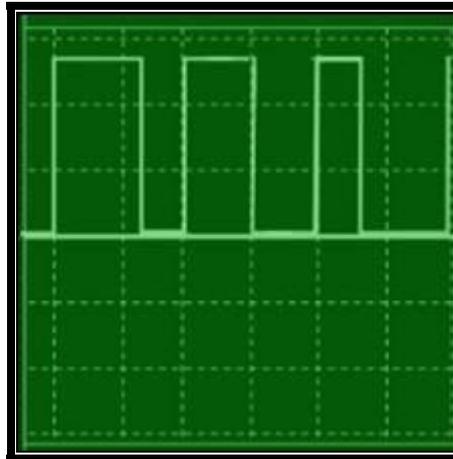


Figura 1.32 Señal cuadrada enviada al regulador de marcha de ralentí.

1.7 SISTEMA DE ENCENDIDO ELECTRÓNICO

El sistema de encendido comprende un bloque compuesto de dos bobinas, con 4 salidas de alta tensión, que produce saltos de chispa de par en par. Para un orden de encendido 1-3-4-2, una de las bobinas de ignición dispara al mismo tiempo un par de chispas, la de evento y la de desperdicio.

La chispa de evento se dispara al final de la carrera de compresión en el cilindro 1, mientras que la chispa de desperdicio se dispara en el cilindro 4 al final de la carrera de escape. En el ciclo siguiente, la misma bobina de ignición dispara la chispa de evento en el cilindro 4 cerca del final de la carrera de compresión, y a la vez dispara la chispa de desperdicio en el cilindro 1 al final de la carrera de escape. La otra bobina de ignición dispara a los cilindros 2 y 3 de la misma manera. Dado que se necesita muy poca tensión para disparar una bujía durante la carrera de escape (chispa de desperdicio), la mayor parte

de la tensión disponible es dirigida a la bujía que se dispara en la carrera de compresión (chispa de evento).

Durante condiciones operativas normales, la temporización de la distribución de la ignición es controlada por un programa complejo incorporado en la PCM, la cual recibe datos en tiempo real provistos por el sensor CAS, que determina la posición de los émbolos en cada cilindro. El módulo de ignición contiene transistores de potencia de conmutación (uno para cada bobina), los cuales conmutan ON/OFF en los arrollamientos primarios de la bobina de ignición.



Figura 1.33 Bobina de 4 salidas de Alta Tensión

El sistema consta además de cables de alta tensión y de sus respectivas bujías las cuales cuentan con una resistencia interna que mantienen el voltaje adecuado, lo cual las hace apropiadas para este tipo de sistemas.

1.8 AUTODIAGNÓSTICO

El sistema de autodiagnóstico controla las señales provenientes de los sensores comparándolas con los valores permitidos. Este control se efectúa durante dos etapas:

- **Señalización de averías durante la puesta en marcha.**
 - La lámpara testigo encendida durante 4 segundos indica fase de prueba.
 - La lámpara testigo apagada después de 4 segundos indica que no hay ninguna avería en los componentes.
 - La lámpara testigo encendida después de 4 segundos indica que hay una avería.

- **Señalización de averías durante el funcionamiento.**
 - La lámpara testigo encendida indica avería.
 - La lámpara testigo apagada indica que no hay ninguna avería.

1.8.1 Códigos de falla

Cuando la computadora por medio de la memoria RAM recibe una señal, ya sea de un sensor o un actuador, las compara con la programación de la memoria ROM; y si se encuentran fuera de los parámetros normales; ésta comunica a la memoria RAM que existe un problema y esta es la que emite un código de falla a causa del error. Cuando esto sucede se enciende en el

tablero de instrumentos la lámpara de testigo de avería CHECK ENGINE que permitirá conocer al conductor que existe una falla en alguno de los componentes del sistema de inyección. Para saber cuál es el problema, la computadora archiva los códigos de falla, que son una secuencia de dígitos.

El sistema OBD II monitorea sensores y actuadores; y los códigos de falla son representados por una letra y cuatro dígitos. El conector de diagnóstico con el que cuenta el sistema Bosch VAZ MP7.0H es de 12 pines.

Los códigos de falla del sistema de inyección Bosch que emplea son:

Tabla I.1 Códigos de falla del Sistema de Inyección Bosch VAZ MP7.0H

P0102 / P0103	Bajo / alto nivel de señal sensor de caudal de masa de aire
P0112 / P0113	Bajo / alto nivel de temperatura de aire de entrada
P0115 , P0116	Errónea señal de sensor de temperatura del líquido refrigerante
P0117 / P0118	Bajo / alto nivel de señal del sensor de temperatura del líquido refrigerante
P0122 / P0123	Bajo / alto nivel de señal del sensor de posición del estrangulador
P0130 / P0136	Señal errónea del sensor de oxígeno antes / después del neutralizador
P0131 / P0132	Bajo / alto nivel de señal del sensor de oxígeno antes del neutralizador
P0134 / P0140	Sensor de oxígeno antes / después del neutralizador no activado
P0135 / P0141	Rotura del calentador del sensor de oxígeno antes / después del neutralizador
P0137 / P0138	Bajo / alto nivel de señal del sensor de oxígeno después

	del neutralizador
P0171 / P0172	Mezcla demasiado pobre / rica
P0201 / P0202 / P0203 / P0204	Apertura del circuito eléctrico de los inyectores de los cilindros 1 / 2 / 3 / 4 respectivamente
P0261 / P0264 / P0267 / P0270	Cortocircuito en el conductor principal del circuito eléctrico de los inyectores de los cilindros 1 / 2 / 3 / 4
P0262 / P0265 / P0268 / P0271	Cortocircuito en el conductor de alimentación del circuito eléctrico de los cilindros 1 / 2 / 3 / 4
P0300	Imprevisto paso elevado de pulverización en la admisión
P0301 / P0302 / P0303 / P0304	Elevada pulverización en cilindros 1 / 2 / 3 / 4
P0325	Apertura del circuito eléctrico del sensor de picado
P0327 / P0328	Bajo / alto nivel de señal del sensor de picado
P0335 / P0336	Errónea / falsa señal del sensor de posición del cigüeñal
P0340	Errónea señal del sensor de posición del árbol de levas
P0342 / P0343	Bajo / alto nivel de señal del sensor de posición del árbol de levas
P0422	Baja efectividad del neutralizador
P0441	Mal estado de la válvula electromagnética de purga Cánister
P0444 / P0445	Circuito abierto o cortocircuito en el circuito de la válvula electromagnética de purga cánister / en el circuito general
P0480	Mal estado del circuito eléctrico del ventilador eléctrico
P0500	No hay señal del sensor de velocidad
P0501	Señal incorrecta del sensor de velocidad
P0503	Discontinuidad (intermitencia) en la señal del sensor de velocidad
P0505	Regulador de ralentí defectuoso
P0506 / P0507	Bajas / altas revoluciones en ralentí
P0560	Insuficiente tensión del acumulador para trabajar con la Unidad de Control Electrónico (PCM)
P0562 / P0563	Disminución / aumento de la tensión en la red de a bordo

P0601	Error constante en la memoria de la PCM para M1.54 no hay comunicación con el inmovilizador
P0615 / P0616 / P0617	Circuito abierto / cortocircuito del circuito en masa / cortocircuito en el circuito de alimentación del relé del motor de arranque
P1620	Error constante en la memoria de la PCM
P1603 , P0604 , P1621	Error transitorio en la memoria de la PCM
P0607	Incorrecta señal del sensor de picado
P1102	Baja resistencia del circuito calentador sensor de oxígeno
P1115 , P1135	Incorrecto funcionamiento del circuito del calentador del sensor de oxígeno antes del neutralizador
P1140	Incorrecta señal del sensor de caudal de masa de aire
P1141	Incorrecto funcionamiento del circuito del calentador del sensor de oxígeno después del neutralizador
P1500	Apertura en el circuito eléctrico del relé de la bomba eléctrica de combustible
P1501 / P1502 / P1541	Cortocircuito en el conductor general del circuito eléctrico del relé de la bomba eléctrica de combustible / conductor de alimentación / apertura del circuito
P1509	Carga excesiva en el circuito del regulador de ralentí
P1513 / P1514	Cortocircuito en el conductor general / apertura del circuito del regulador de ralentí.
P1570 , P1600	No existe conexión con el inmovilizador
P1602	Pérdida de tensión de alimentación a la PCM
P1603 , P1622 , P1640	Error de energía para la memoria independiente de la PCM
P1606	Mal funcionamiento del sensor de carretera áspera
P1616 / P1617	Bajo / alto nivel de la señal del sensor de carretera áspera
P1612	Saturación de la PCM (no responde)

II. EL MOTOR LADA BA3-2104

El motor LADA BA3-2104 es el “corazón” del vehículo; ya que es el suministrador de energía que, mediante la transmisión, hace llegar su giro a las ruedas y permite que el vehículo se desplace.

Es un motor de combustión interna, de 4 tiempos que emplea gasolina como combustible.

Se compone principalmente de un sistema de alimentación, de un sistema de admisión de aire, los cuales permiten formar la mezcla aire-combustible, que llegará a la cámara de combustión. Además necesita un sistema de encendido para iniciar la combustión.

Como consecuencia de las altas temperaturas producidas en el interior del motor, dispone también de un sistema de refrigeración; y debido a la fricción producida por el constante movimiento de piezas metálicas que giran o se deslizan entre sí, posee también un sistema de refrigeración.

Además cuenta con el sistema de escape, que se encarga de la evacuación de los gases producidos en la cámara por la combustión de la mezcla. Más adelante, en este capítulo, ampliaremos la información sobre cada uno de estos sistemas.

A continuación se muestra una imagen en corte del motor LADA BA3-2104; en el cual se pueden observar sus partes y componentes principales.

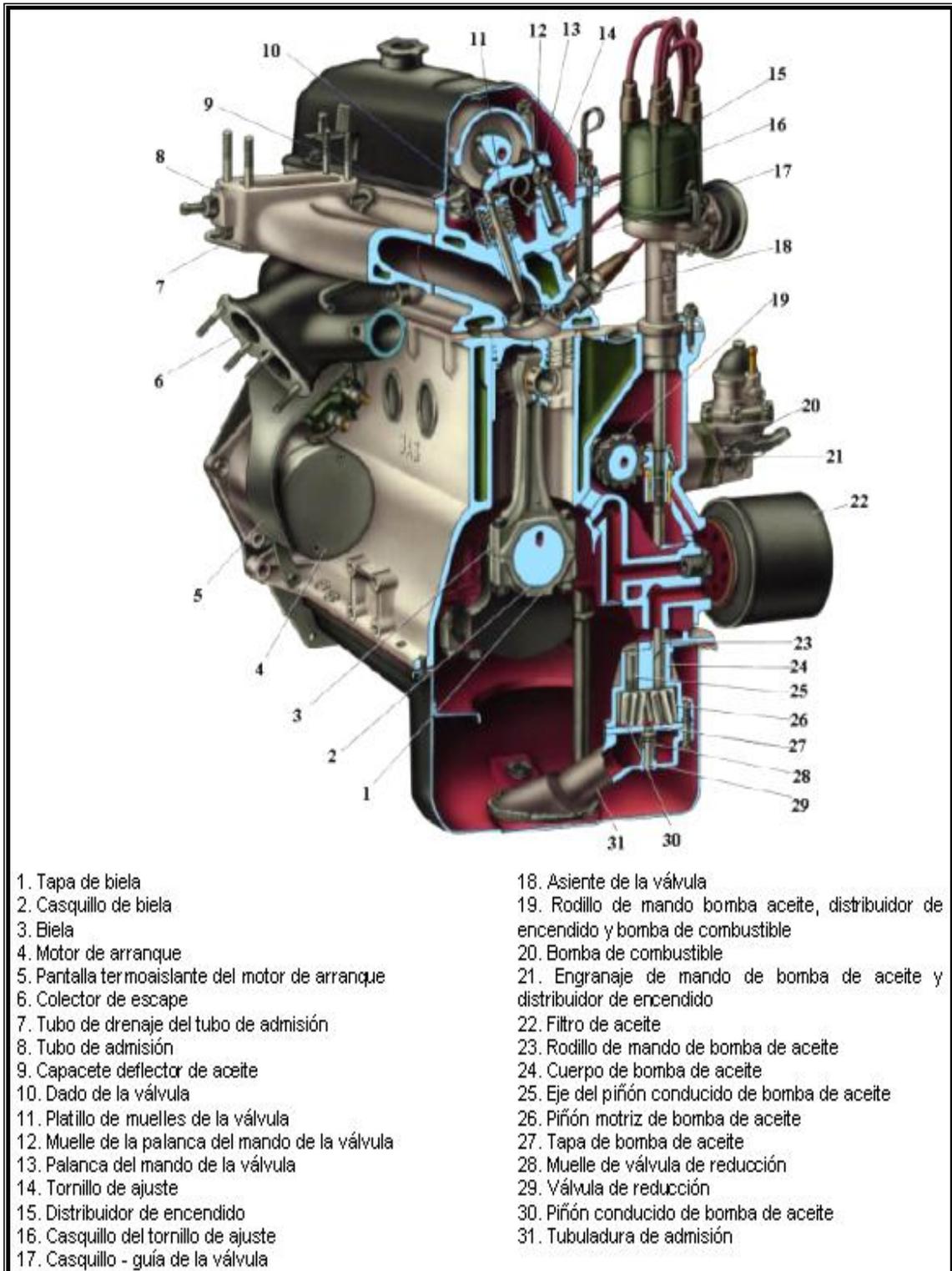


Figura 2.1 Sección Transversal del Motor LADA

2.1 DATOS GENERALES DEL MOTOR

En la **Tabla II.1** se muestran los datos generales del motor LADA BA3-2104, obtenidos mediante mediciones y observación.

Tabla II.1 Datos generales del motor

Cilindrada	1.500 c.c.
Relación de Compresión	8,5 : 1
Tipo	SOHC
Válvulas	8
Número de Ciclos	4
Número de Cilindros	4 en línea
Orden de encendido	1-3-4-2
Diámetro x Carrera	78 x 80 mm.
Velocidad de ralentí	900 ± 50

2.1.1 Especificaciones técnicas del motor LADA

Estas son necesarias para conocer los componentes principales del motor, así como los materiales de que están fabricados y sus respectivas calibraciones.

2.1.1.1 Bloque de cilindros

El bloque de cilindros está hecho de acero con límite de resistencia a la ruptura de 490 a 784 Mpa (50-80 kgf/mm²), con recubrimiento zincado.

La rectificación de los cilindros se realiza con medidas de 0,25 – 0,50 – 0,75 – 1,00 mm.

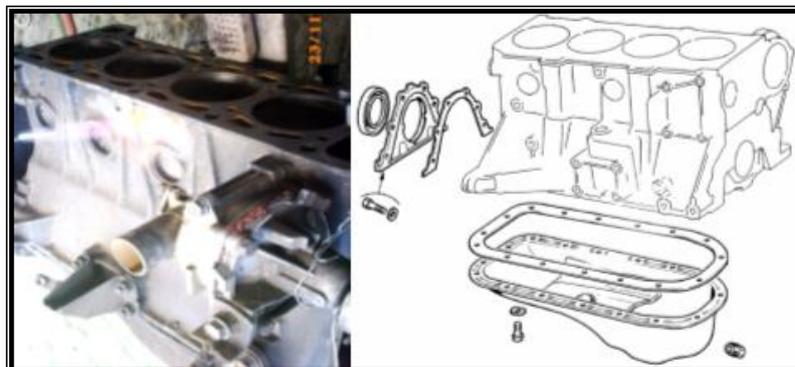


Figura 2.2 Bloque de Cilindros

2.1.1.2 Cigüeñal y volante de inercia

El cigüeñal está fabricado de acero aleado al Cr-Ni-Mo con límite de resistencia a la ruptura de 784 a 980 MPa (80-100 kgf/mm²).

Los valores nominales para rectificación de muñones de biela y de bancada son 0,25 – 0,50 – 0,75 – 1,00 mm. El juego axial permitido se encuentra entre 1 y 2 mm.

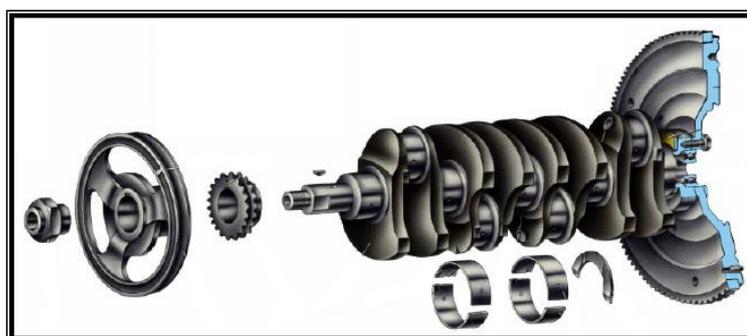


Figura 2.3 Cigüeñal y Volante de inercia

2.1.1.3 Émbolos y bielas

Los émbolos son de aleación Al-Si con proporciones de Cu-Ni-Mg.

La holgura entre cilindro y émbolo debe estar entre 0,05 y 0,07 mm. La holgura entre bulón y émbolo es de 0,004 mm.

La biela está hecha con acero al Cr-Ni-Mn con límite de resistencia a la ruptura 490 a 784 Mpa (50-80 kgf/mm²).



Figura 2.4 Émbolo y Biela

2.1.1.4 Cabezote

El cabezote está fabricado con aleación ligera, de Aluminio y Silicio.

La rectificación de planicidad del cabezote puede realizarse hasta máximo 1,00 mm.

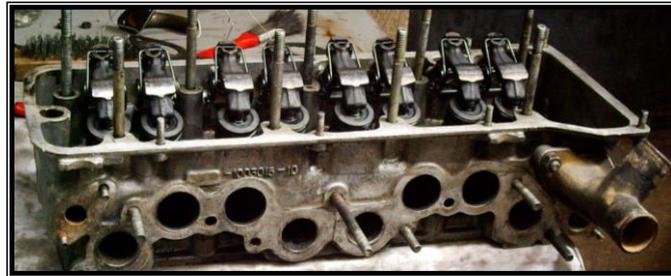


Figura 2.5 Cabezote

2.1.1.5 Árbol de levas y válvulas

El árbol de levas es de acero aleado con Si-Mn-Cu-Cr y templado, con límite de resistencia a la ruptura de 784 a 980 MPa (80-100 kgf/mm²).

Las válvulas de admisión están fabricadas en acero al Carbono con Cr-Ni-Mn-Si; mientras que las válvulas de escape son de acero austenítico con altos contenidos de Cr y Ni.



Figura 2.6 Árbol de levas y Válvulas

2.2 PARÁMETROS FUNDAMENTALES DEL MOTOR

Para poder comprender las particularidades que presentan los mecanismos que componen un motor, hay que conocer cuales son las funciones que desempeñan. A continuación se estudiarán los parámetros que debe reunir el motor para un mejor rendimiento.

2.2.1 Poder antidetonante (número de octano)

“La fuerza con la que es impulsado el émbolo en el tiempo de explosión depende de la presión alcanzada en la cámara de combustión. Esta presión depende a su vez de la presión al final de la compresión, siendo esta última consecuencia de la relación de compresión. A mayor relación de compresión, mayor rendimiento del motor. Sin embargo, la relación de compresión viene limitada por el comportamiento de la gasolina.

Al saltar la chispa en la cámara se inicia la explosión, y lo primero que se enciende es la porción de gasolina y aire que rodea los electrodos de la bujía. La llama se va propagando por capas de forma esférica, hasta alcanzar toda la cámara de combustión.

En este caso, la explosión se produciría con mayor rapidez, ya que tendría dos focos de ignición: el de la bujía y el originado por la presión; siendo este último incontrolado. Este fenómeno se conoce por el nombre de detonación.”⁶

⁶ Manual CEAC del Automóvil, Editorial CEAC, España, 2003, pág. 39

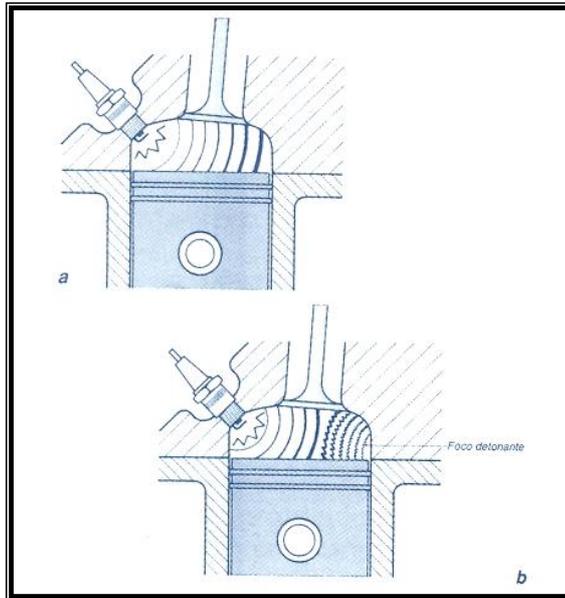


Figura 2.7 La explosión con doble foco de ignición

La resistencia que pone una gasolina a la detonación se mide por su número de octano (N.O.). Cuanto mayor es este número, mejor resiste la presión sin detonar.

No todos los hidrocarburos que pueden formar parte de la gasolina son igual de detonantes; entre ellos, el isoctano (C_8H_{18}) es muy antidetonante. A este hidrocarburo se le asigna un N.O. igual a 100. El heptano (C_7H_{16}) es muy detonante y se le asigna un N.O. igual a 0. Las mezclas de estos dos hidrocarburos fundamentales tienen un poder antidetonante que depende de la proporción con la que participe cada uno, siendo mayor la de isoctano.

Una gasolina “super” de N.O. igual a 90 equivale a un poder antidetonante de una mezcla de 90 % de isoctano con un 10 % de heptano; y en el caso de la gasolina “extra”, que posee un N.O. igual a 80, un 80 % de isoctano y un 20 % de heptano.

La relación de compresión máxima en un motor de gasolina está limitada principalmente por su poder antidetonante.

2.2.2 Formación de la mezcla aire-gasolina

La mezcla aire-gasolina comienza a efectuarse en el carburador.



Figura 2.8 Formación de la mezcla

La aspiración que crean los émbolos en los tiempos de admisión, dan origen a que una corriente de aire, proveniente de la atmósfera, se establezca a través del carburador y arrastre de sus surtidores la cantidad de gasolina necesaria para formar la mezcla explosiva.

Al irrumpir los gases en el interior del cilindro se encuentran un ambiente más caliente, que facilita la evaporación, y debido a la turbulencia que origina la cabeza de la válvula, los vapores de gasolina se mezclan mejor con el aire.

Durante la compresión, la homogeneización de la mezcla se completa, de forma que cada molécula de gasolina está rodeada por moléculas de oxígeno, para la combustión.

Para arder totalmente 1 kg de gasolina necesita 14,7 kg de aire. Por tanto, la relación de pesos aire-gasolina es 14,7:1.

Esta relación se denomina relación estequiométrica, y es algo variable en relación a la composición de la gasolina.

Los límites de inflamación de la mezcla de aire y gasolina son las relaciones de pesos 7:1 para la "mezcla rica", y de 20:1 para la "mezcla pobre".

2.2.3 Combustión

“Al saltar la chispa, se produce una reacción química en la mezcla, que es la oxidación del carbono y del hidrógeno que componen la gasolina. Esta oxidación tiene lugar de forma violenta y desprende gran cantidad de calor, que eleva el nivel térmico de la cámara, alcanzando altas temperaturas (oscilan entre 2000 y 2500 °C).

Debido al calor desprendido, las presiones llegan a valores de entre 570 y 780 psi. Estas presiones, al actuar sobre la cabeza del émbolo, proporcionan el trabajo del ciclo.”⁷

⁷ Manual CEAC del Automóvil, Editorial CEAC, España, 2003, pág. 41

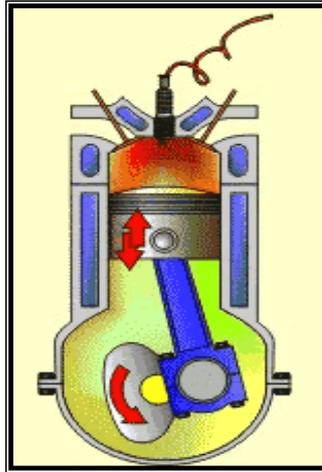


Figura 2.9 Combustión de la mezcla

2.2.4 Gases de escape

Los gases resultantes de la combustión completa están compuestos, principalmente, por CO_2 (dióxido de carbono o anhídrido carbónico), procedente de la oxidación del carbono, y H_2O (en forma de vapor de agua seco), procedente de la oxidación del hidrógeno, más el nitrógeno que forma parte del aire (no interviene en la combustión) y otras sustancias volátiles con azufre y plomo.

Si por necesidades del motor, o por mala carburación, hay un exceso de gasolina en la mezcla, parte del carbono sólo se quema a medias y da lugar a un gas: el monóxido de carbono (CO), que sale a la atmósfera en unión de los otros.

El CO es especialmente tóxico ya que se puede formar en grandes concentraciones. Es por ello que resulta muy peligroso permanecer en un local cerrado con un motor en marcha, sobre todo girando despacio (al "ralentí"),

que es cuando más CO se produce. Este gas es también el principal causante de la contaminación atmosférica de las ciudades.

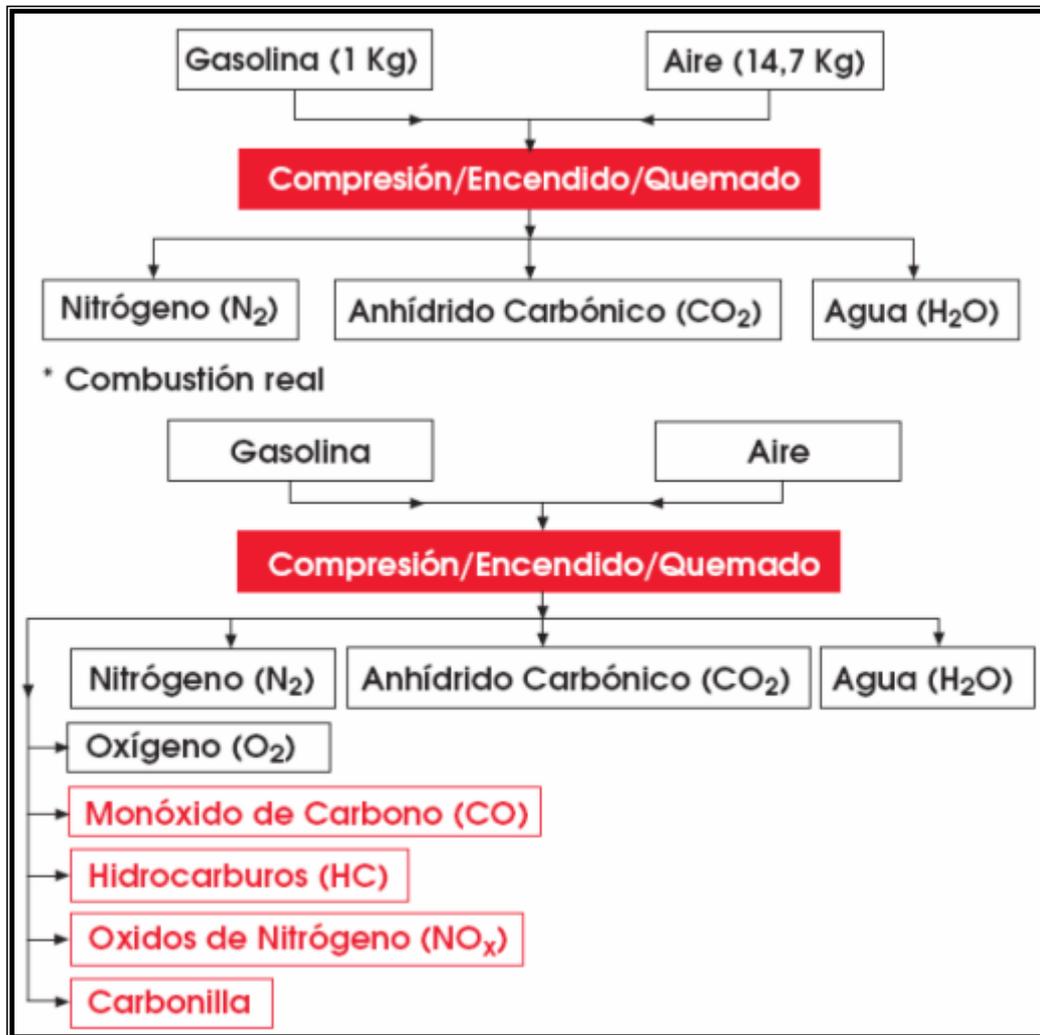


Figura 2.10 Resultado del proceso de combustión

“Los Hidrocarburos (HC) son combustible crudo sin quemar y son derivados de una combustión incompleta. Son típicamente medidos en partes por millón (ppm). Todos los motores siempre producen algún exceso de HC cuando parte del combustible permanece sin quemar al haber sido enfriado por la pared del cilindro, relativamente fría, en la cámara de combustión. Su presencia se debe a los componentes incombustibles de la mezcla o a las reacciones intermedias del proceso de combustión.

Los óxidos de nitrógeno (NOx), son producidos por las altas temperaturas existentes en el motor, el nitrógeno se oxida formando pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno, aunque sea un gas inerte a temperatura ambiente. El NOx es medido en partes por millón (ppm)

Estos no sólo irritan la mucosa, sino que en combinación con los hidrocarburos contenidos en el smog y con la humedad del aire producen ácidos nitrosos, que posteriormente caen sobre la tierra en forma de lluvia ácida y contaminan grandes áreas.”⁸

Cuando salen del cilindro, los gases de escape tienen temperaturas de entre 650 y 750 °C, un calor residual que no se aprovecha (al salir al exterior, por el tubo de escape, esta temperatura baja mucho).

2.2.5 Rendimiento volumétrico

La cantidad de combustible quemado en cada explosión no depende sólo de la cilindrada, sino también del grado de llenado del cilindro al final de la admisión.

Como el tiempo de admisión es demasiado breve, los gases de mezcla fresca dentro del cilindro nunca alcanzan el valor de la presión atmosférica. Esto quiere decir que un motor que sea capaz de llenar en mejor forma sus cilindros será el más eficiente puesto que dispone de mayor número de moléculas de oxígeno que le permiten quemar mayor cantidad de combustible.

⁸ <http://www.gencat.net/mediamb/cast/index.htm>

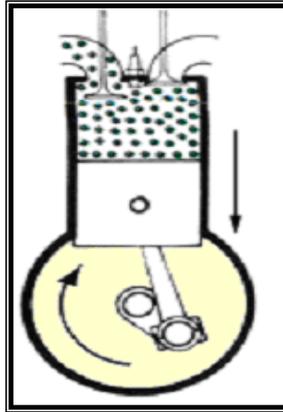


Figura 2.11 Llenado del cilindro

Se denomina rendimiento volumétrico al porcentaje de presión de llenado de un cilindro. Por ejemplo, si la presión barométrica es de 1 bar, el motor tendrá un 80% de rendimiento volumétrico cuando los gases en sus cilindros alcanzan una presión de 0,8 bares, antes de comenzar la carrera de compresión.

“La Fórmula para calcular el rendimiento volumétrico es:

$$n_v = \frac{m_a}{m_D} * 100\%$$

(Ec. 05)

Donde:

- n_v = Rendimiento volumétrico, en %
- m_a = Consumo real de aire, en Kg/h
- m_D = Consumo teórico de aire, en Kg/h”⁹

⁹ Teoría de los motores de combustión interna, pag. 133

Este rendimiento es variable y su máximo oscila entre el 80% y el 90%.

2.2.6 Ciclo práctico

Cuando un émbolo baja haciendo la admisión, crea una depresión en el cilindro y, a través de los tubos de admisión y del carburador, se forma una corriente de mezcla.

La válvula de admisión se abre antes de que el émbolo llegue al PMS, continúa abierta durante el ciclo de admisión y permanece abierta hasta después de que el émbolo llega al PMI, con esto la mezcla tiene más tiempo de acceder al interior del cilindro a pesar de que el émbolo inicia la subida en tiempo de compresión.

Por lo que respecta al tiempo de escape, la válvula se abre poco antes de llegar el émbolo al PMI. Es más rentable iniciar la apertura de la válvula antes, despreciando la última parte de la expansión, que tener que vencer la presión residual de la misma.

Para facilitar la evacuación máxima, conviene que la válvula de escape todavía deje abertura suficiente para que los gases de escape continúen saliendo hasta llegar el émbolo pase el PMS. Por este motivo, el cierre total de la válvula se produce cuando el émbolo empieza a bajar en tiempo de admisión.

El ángulo, en que permanecen las dos válvulas abiertas, se llama cruce de válvulas.

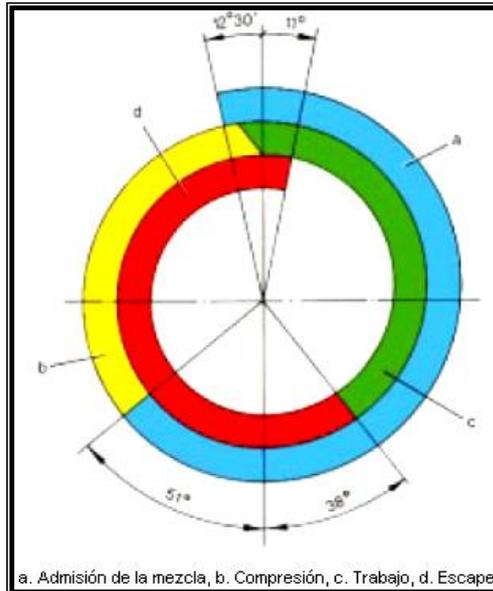


Figura 2.12 Diagrama de apertura de válvulas:

Al ciclo que se obtiene con los avances a la apertura y los retrasos al cierre de las válvulas, se le denomina ciclo práctico.

La velocidad que adquiere la mezcla de aire y gasolina en su recorrido depende de la velocidad de giro del motor. A mayor número de revoluciones, mayor número de admisiones, y como la amplitud de los conductos es invariable, lógicamente la mezcla circulará más deprisa.

2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL TRABAJO DEL MOTOR

Los factores que influyen en el trabajo del motor, son todos aquellos que tienen incidencia directa en el rendimiento. Estos factores son los siguientes:

- La cilindrada.
- La relación de compresión.

- Presión de compresión.
- La velocidad de rotación del motor.
- La velocidad de émbolo.
- La relación carrera / diámetro.

2.3.1 La cilindrada

La cilindrada es la suma de los volúmenes que el desplazamiento de los émbolos origina en el interior de los cilindros.

La cilindrada unitaria es el volumen interior de un cilindro sin contar la cámara de compresión.

El volumen de cilindro (**Figura 2.13**) se calcula por la fórmula:

$$V_h = \frac{\pi * D^2}{4} * S$$

(Ec. 06)

Donde:

- V_h = volumen del cilindro
- π = letra griega pi (su valor aproximado es 3, 1416)
- D^2 = es el diámetro al cuadrado
- S = es la carrera.

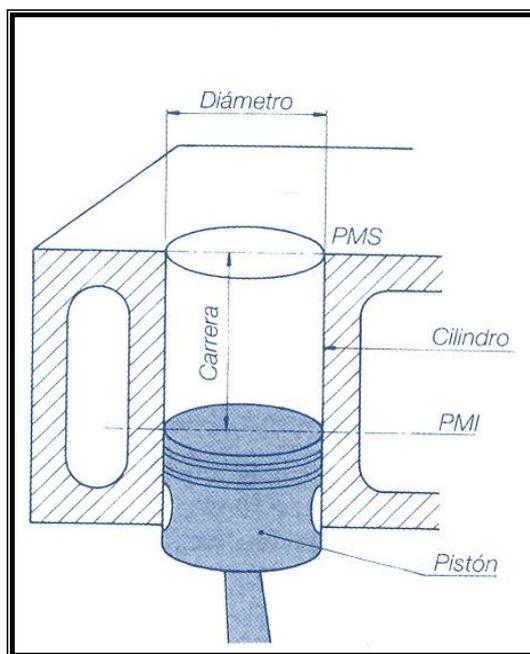


Figura 2.13 Elementos de un cilindro

El volumen V_h vendrá dado en la misma unidad (elevada al cubo) en que se hayan expresado el diámetro (D) y la carrera (S).

Aunque el milímetro (mm) es la unidad de longitud más empleada en mecánica, para expresar las cilindradas se emplea el centímetro (cm) o el decímetro (dm), es decir, en cm^3 o en dm^3 (un dm^3 es lo mismo que un litro). Por lo que, para los cálculos, hay que expresar el diámetro y la carrera en cm o en dm.

Para saber la cilindrada total bastará con multiplicar el volumen de un cilindro, obtenido con la fórmula anterior por el número total de cilindros. La fórmula empleada es:

$$VH = Vh * i$$

(Ec. 07)

Donde:

- VH = cilindrada total
- Vh = cilindrada unitaria
- i = número de cilindros que posee el motor

La cilindrada total es un dato que, redondeado, muchas marcas añaden a la denominación de sus modelos.

Una vez conocido esto, vamos a proceder con el cálculo de la cilindrada de nuestro motor LADA. Los datos son los siguientes:

$$D = 78 \text{ mm} = 7,8 \text{ cm}$$

$$S = 80 \text{ mm} = 8,0 \text{ cm}$$

Por lo tanto, la cilindrada unitaria será:

$$Vh = \frac{\pi * D^2}{4} * S$$

$$Vh = \frac{3,1416 * 7,8^2}{4} * 8$$

$$Vh = 382,27 \text{ cm}^3$$

Ahora multiplicaremos la cilindrada unitaria por el número de cilindros para conocer la cilindrada total del vehículo.

$$VH = V * i$$

$$VH = 382,27 * 4$$

$$VH = 1529,08 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto, redondeando, se dirá que este motor es de 1.5 litros o 1500 C.C.

2.3.2 La relación de compresión

El volumen total del cilindro incluye, además de la cilindrada unitaria, el espacio ocupado por la cámara de compresión. La relación de compresión es el índice que expresa el número de veces que el volumen de la cámara de compresión está contenido en el volumen total del cilindro.

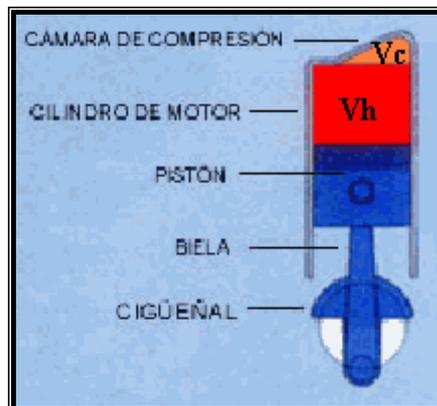


Figura 2.14 Relación de Compresión

Si Vh es el volumen del cilindro (cilindrada unitaria) y Vc es el volumen de la cámara de compresión, el volumen total del cilindro será la suma de ambos, es decir. $Vh + Vc$.

La fórmula para calcular la relación de compresión es la siguiente:

$$\xi = \frac{Vh + Vc}{Vc} \quad (\text{Ec. 08})$$

Donde:

- ξ = relación de compresión
- Vc = volumen del cilindro
- Vh = volumen de la cámara de compresión.

Se trata, por tanto, del cociente resultante de dividir el volumen total del cilindro ($Vh + Vc$) para el volumen de la cámara de compresión (Vc). La relación de compresión ξ se expresa, como veremos, sin unidades, puesto que se trata de una relación entre dos unidades de la misma especie.

Cuando los gases se comprimen aumentan su temperatura. Este aumento de temperatura da lugar a una dilatación de los gases. Al no poderse dilatar, por estar encerrados, aumenta su presión, que se suma a la producida por el proceso de la compresión, de forma que, cuando el émbolo llega al PMS, la presión en la cámara es muy superior al número que expresa la relación de compresión.

Las relaciones se expresan con un signo de dos puntos (:) entre los dos valores de relación, siendo uno de ellos siempre 1. Así ocurre también en las relaciones de compresión. Al tratarse de un aumento, se representaran

como $\xi : 1$, es decir, que el volumen total del cilindro ($V_h + V_c$) es ξ veces mayor que el volumen de la cámara de compresión (V_c).

Los datos obtenidos, una vez realizada la medición de la cámara de compresión y el cálculo de la cilindrada son los siguientes:

$$V_c = 51 \text{ cm}^3 \quad \text{y} \quad V_h = 382,27 \text{ cm}^3$$

Para nuestro caso en particular, la relación de compresión será:

$$\begin{aligned}\xi &= \frac{V_h + V_c}{V_c} \\ \xi &= \frac{382,27 + 51}{51} \\ \xi &= 8,495 \\ \xi &= 8,5 : 1\end{aligned}$$

Esta relación de compresión se encuentra dentro de los rangos normales de los motores de gasolina, ya que oscilan mayoritariamente entre 7,5:1 y 12:1.

2.3.3 La velocidad de rotación del motor

En mecánica, una revolución o giro es una vuelta completa del eje o cigüeñal.

La velocidad de rotación (o de giro) del motor viene determinada por el número de revoluciones por minuto (r.p.m.), es decir, la cantidad de vueltas que da el cigüeñal en un minuto.

Sabemos que la potencia de un motor es el trabajo que realiza por unidad de tiempo, siendo dicho trabajo consecuencia de la cantidad de ciclos del motor. Para una misma cilindrada, quemará mayor cantidad de combustible y tendrá mayor potencia el motor que gire más deprisa, es decir, el que haga más ciclos. Por lo tanto:

- para una misma cilindrada, a mayor velocidad de giro mayor potencia.
- para una misma velocidad de giro, a mayor cilindrada mayor potencia.

Por tanto, para conseguir motores más potentes hay dos recursos: aumentar la cilindrada o aumentar la velocidad de rotación del motor.

La cantidad de r.p.m. de un motor está limitada por la velocidad media máxima que puede alcanzar el émbolo y por los tiempos disponibles para realizar la admisión y la combustión, principalmente.

2.3.4 La velocidad de émbolo

El movimiento del émbolo no es uniforme. Cuando el émbolo llega al PMS se detiene para cambiar el sentido de su movimiento, por lo que en este punto su velocidad es nula, a medida que baja va aumentando la velocidad, y poco antes de llegar al centro de su carrera alcanza la velocidad máxima, que va disminuyendo para volver a ser nula en el PMI.

“La velocidad media del émbolo, para una determinada cantidad de r.p.m. del motor, se halla mediante la fórmula:

$$v_m = \frac{n * 2 * S}{60} \quad (\text{Ec. 09})$$

Donde:

- v_m = velocidad media del émbolo, en metros por segundo (m/s)
- n = velocidad de rotación del motor, en r/min.
- S = carrera del émbolo, en metros ¹⁰

La velocidad de rotación se divide por los 60 segundos que tiene un minuto (s/min), ya que hay que pasar los minutos a segundos. Así se convertirán las r/min en r/s (revoluciones por segundo).

Debido a que el movimiento completo del émbolo en cada vuelta del cigüeñal incluye dos carreras, una de subida y otra de bajada, se debe multiplicar por dos. El resultado se expresa en metros por vuelta a revolución (m/r).

Este dato define en buena medida las condiciones de funcionamiento de las principales piezas del motor y de su rendimiento mecánico.

¹⁰ Manual CEAC del Automóvil, Editorial CEAC, España, 2003, pág. 38

Para el caso de nuestro motor LADA tenemos las siguientes velocidades medias:

Datos:

$$S = 80 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$$

$$n_{max} = 4500 \text{ r.p.m.}$$

$$v_m = \frac{n * 2 * S}{60}$$

$$v_m = \frac{4500 * 2 * 0,08}{60}$$

$$v_m = 12 \text{ m/s}$$

Las velocidades medias superiores a unos 13 o 14 m/s pueden ser peligrosas para la integridad del motor, ya que aumentarían mucho los rozamientos y las fuerzas de inercia. El rozamiento del émbolo con el cilindro es uno de los factores principales de las pérdidas de potencia del motor.

2.3.5 La relación diámetro/carrera

Una de las causas que más influyen en el máximo número de r.p.m. a alcanzar en un motor, es la relación existente entre el diámetro de los émbolos y la longitud de la carrera.

Una misma cilindrada unitaria se puede conseguir con un mayor diámetro del cilindro y una carrera más corta (menor radio del brazo del cigüeñal), o al revés, con una carrera más larga y un diámetro menor.

Para un mismo número de r.p.m, cuando al final de la explosión se abre la válvula de escape, los gases de la combustión aún están muy calientes y, por lo tanto, de poder bajar más el émbolo, continuarían empujándolo aprovechando más el calor producido por el combustible. Esto es lo que sucede en los émbolos de carrera larga, y da lugar a un mejor rendimiento térmico.

Sin embargo, para no sobrepasar la velocidad máxima admisible del émbolo, el régimen de giro ha de ser menor.

Los rozamientos entre el cilindro y el émbolo son mayores. Por durar más la carrera, tiene una mayor pérdida de calor a través de las paredes del cilindro. La cámara de compresión resulta más estrecha debido al menor diámetro del émbolo, y dificulta la situación y el tamaño de las válvulas. El brazo del cigüeñal, cuya longitud (radio de giro) es igual a la mitad de la carrera, ha de ser más largo, lo que se traduce en un aumento de las fuerzas centrífugas ocasionadas por la muñequilla y la parte de la biela que va articulada en ella. Estas fuerzas centrífugas tienden a expandir las masas sometidas a ellas y dan lugar a un aumento de los esfuerzos en los cojinetes de giro del cigüeñal.

En los motores que tienen la carrera menor que el diámetro, el rendimiento térmico es menor pero todos los efectos negativos que acumula el de carrera larga son mejorados en él. Estos se suelen llamar super-cuadrados.

Los motores que tienen el diámetro del émbolo igual a la carrera, reciben el nombre de cuadrados.

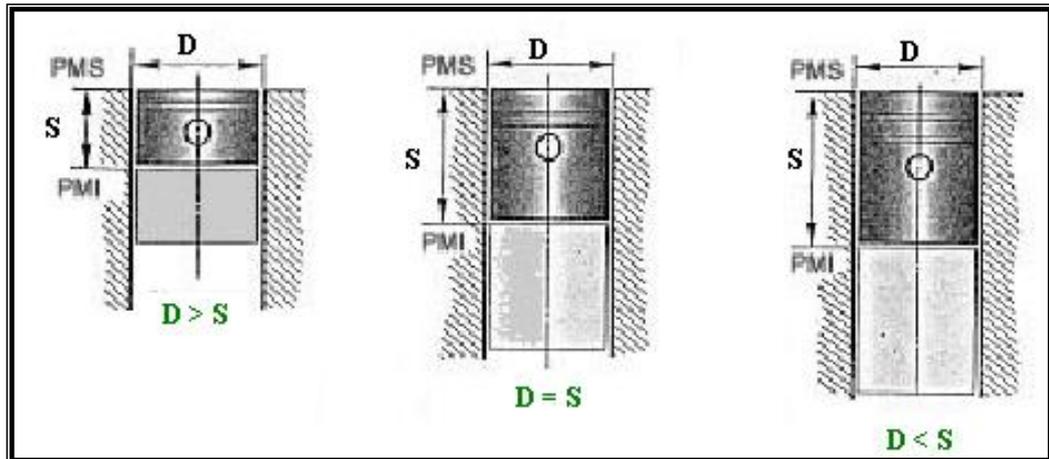


Figura 2.15 Relación Diámetro/Carrera

La tendencia actual en los motores de vehículos de turismo es hacerlos ligeramente super-cuadrados.

En nuestro caso, tenemos que $S = 80$ mm, y $D = 78$ mm; $S > D$; por lo tanto apreciamos que la relación diámetro carrera (D/S) es igual a 0,975, muy cercana a 1; con lo que concluiremos que tiende a ser un motor cuadrado.

2.4 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR

Las curvas características del motor, o curvas de desempeño, son una representación gráfica que permiten observar la manera en que el motor está trabajando.

2.4.1 Torque

El torque se define como el esfuerzo de giro sobre un eje originado por una fuerza exterior a él. Su valor es el producto de la fuerza por la longitud de la perpendicular (brazo) trazada desde el centro del eje a la dirección de la fuerza. La determinación del torque, la podemos hacer basándonos en la **Figura 2.16**, donde observamos que *O* es el centro del eje.

$$Tq = F \otimes D$$

(Ec. 10)

Donde:

- Tq = torque, en N.m.
- F = magnitud de la fuerza, en N.
- D = brazo de la fuerza (perpendicular a la línea de dirección), en m.

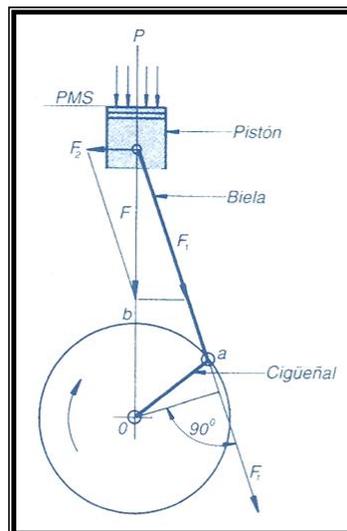


Figura 2.16 Elementos relacionados con el torque del motor

Si se van obteniendo los valores medios del torque para cada número de revoluciones y se van trasladando al diagrama donde las alturas sobre el eje

vertical son expresadas en N.m y las distancias sobre el eje horizontal sean las revoluciones a las que se obtienen, uniendo todos los puntos hallados se llega a una curva con el aspecto al de la **Figura 2.17**

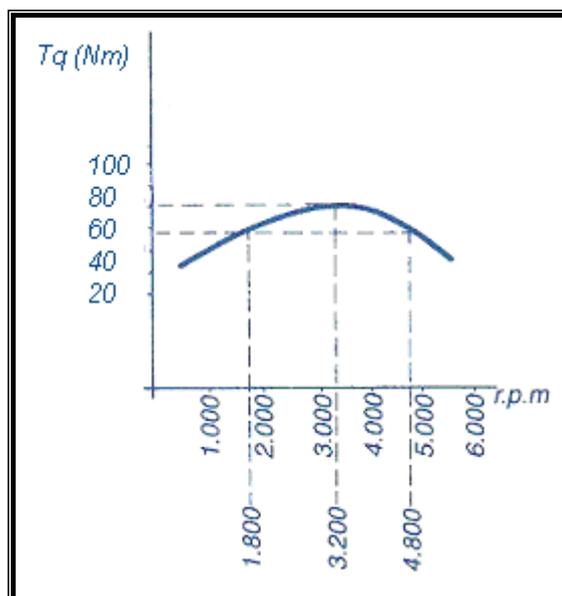


Figura 2.17 Curva del Torque.

2.4.2 Potencia

El torque se ha definido como el esfuerzo de giro que hace un motor. Este esfuerzo llega a las ruedas a través de los mecanismos de la transmisión y, venciendo las resistencias que opone al vehículo, lo hace moverse.

Para un mismo valor de torque y una misma resistencia al avance del coche, cuantas más vueltas dé el cigüeñal, más velocidad alcanzará el vehículo. Esta combinación torque-revoluciones es la potencia.

Según esto, la potencia vendrá expresada por la fórmula:

$$P = Tq * \omega$$

(Ec. 11)

Donde:

- P = potencia producida por el motor
- Tq = torque del motor
- ω = velocidad angular

La potencia vendrá expresada en kilovatios (kW). A continuación le recordaremos las equivalencias aproximadas de las unidades de potencia:

$$1 \text{ kg.m/s} = 9.807 \text{ W} = 0,0133 \text{ CV}$$

$$1 \text{ W} = 0,102 \text{ kg.m/s} = 0,00136 \text{ CV}$$

$$1 \text{ CV} = 75 \text{ kg.m/s} = 735,5 \text{ W}$$

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$$

Las variaciones de la potencia con el número de revoluciones se pueden representar mediante una curva en un diagrama de dos ejes; el vertical para la potencia y el horizontal para las r.p.m.

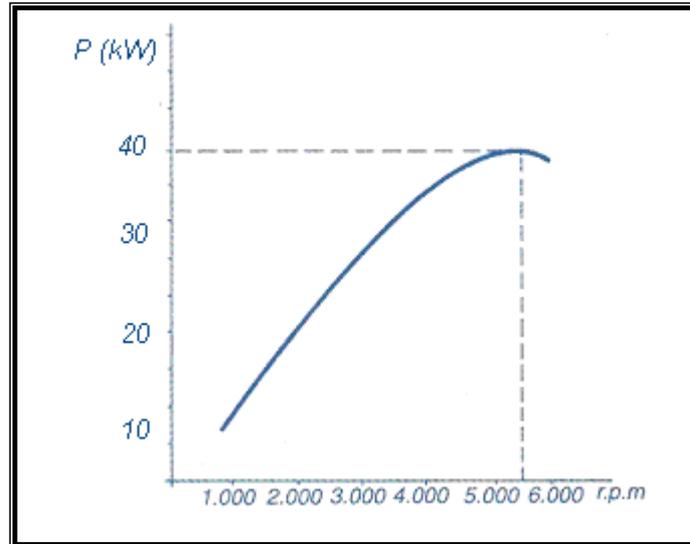


Figura 2.18 Curva de la potencia

2.4.3 Consumo específico de combustible

Es la cantidad de combustible consumido por cada unidad de trabajo desarrollado por el motor. Se expresa en $\text{kg/kW}\cdot\text{h}$ (kilogramos por kilo vatio hora).

La curva del consumo específico es la que completa el conjunto de las curvas características de un motor, estando también en relación con las r.p.m.

Teóricamente, el consumo específico debería ser igual a cualquier número de revoluciones, siendo independiente de la cilindrada del motor.

En la práctica esto no es así, sino que la riqueza de la mezcla varía según las necesidades del motor.

A un bajo número de revoluciones, debido a la poca depresión que se origina en la admisión, el llenado del cilindro es menor, y los restos de gases de escape mayores. En este ambiente es necesario enriquecer la mezcla para aprovechar el aire, y como el trabajo producido es pequeño, el consumo específico es alto.

A velocidades de giro medias (velocidad de cruce del automóvil), la riqueza de la mezcla se puede reducir por debajo de la relación estequiométrica o teórica, ya que el motor trabaja en buenas condiciones con esfuerzos moderados. El consumo específico disminuye.

A altas revoluciones, las explosiones se suceden con mucha rapidez, y pese a la refrigeración del motor, la temperatura en la cámara de combustión se eleva en exceso, pudiendo afectar a las piezas que trabajan en peor condición de refrigeración. Una mezcla rica arde con menor temperatura, protegiendo las piezas. Si a esto se añade que la relación aire-gasolina de máxima potencia es un poco superior a la teórica, no es de extrañar que se aumente la proporción de gasolina y el consumo específico se eleve en esta zona de la curva.

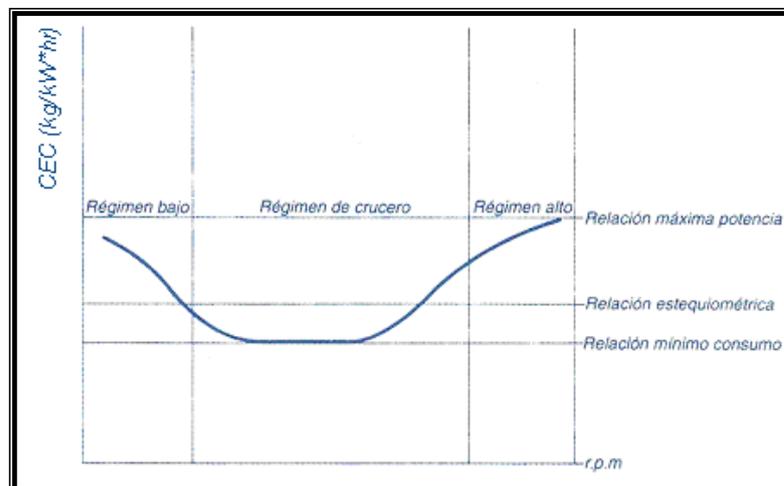


Figura 2.19 Curva del Consumo Específico

2.5 SISTEMAS DEL MOTOR LADA 2104

El motor LADA se compone principalmente de los sistemas de lubricación, refrigeración, alimentación de combustible, encendido, escape y admisión de aire.

2.5.1 Sistema de lubricación

El aceite del cárter es aspirado por la bomba de aceite, que es accionada por un piñón que recibe el movimiento directamente de la cadena de sincronización del motor, y envía a presión el aceite por todo el circuito. El aceite procedente de la bomba pasa por el filtro, en cuyo interior hay una válvula de paso para puentear el filtro si este se obstruyera impidiendo que el aceite llegue a los elementos a lubricar.

Un sensor de presión de aceite, conectado a una lámpara testigo situada en el tablero de mandos indica al conductor si la presión es correcta.

Los conductos (de color naranja en la **figura 2.20**) representan las distintas canalizaciones de lubricación con su respectivo sentido de flujo. Los flujos de lubricante circulan por el bloque, dividiéndose en varios circuitos.

Un circuito lubrica los cojinetes centrales del cigüeñal, y a través de los conductos internos de éste, el lubricante llega hasta los muñones de las bielas; y a través de un conducto interno de la biela se envía un chorro de lubricante con dirección variable, refrigerando y engrasando el bulón y las paredes del cilindro.

Otro circuito asciende hasta el cabezote, pasando por el conducto interno del árbol de levas y lubricando allí las superficies de sus levas, los balancines y engrasando las colas de las válvulas. Después de cumplido su cometido, el lubricante escurre al cárter.

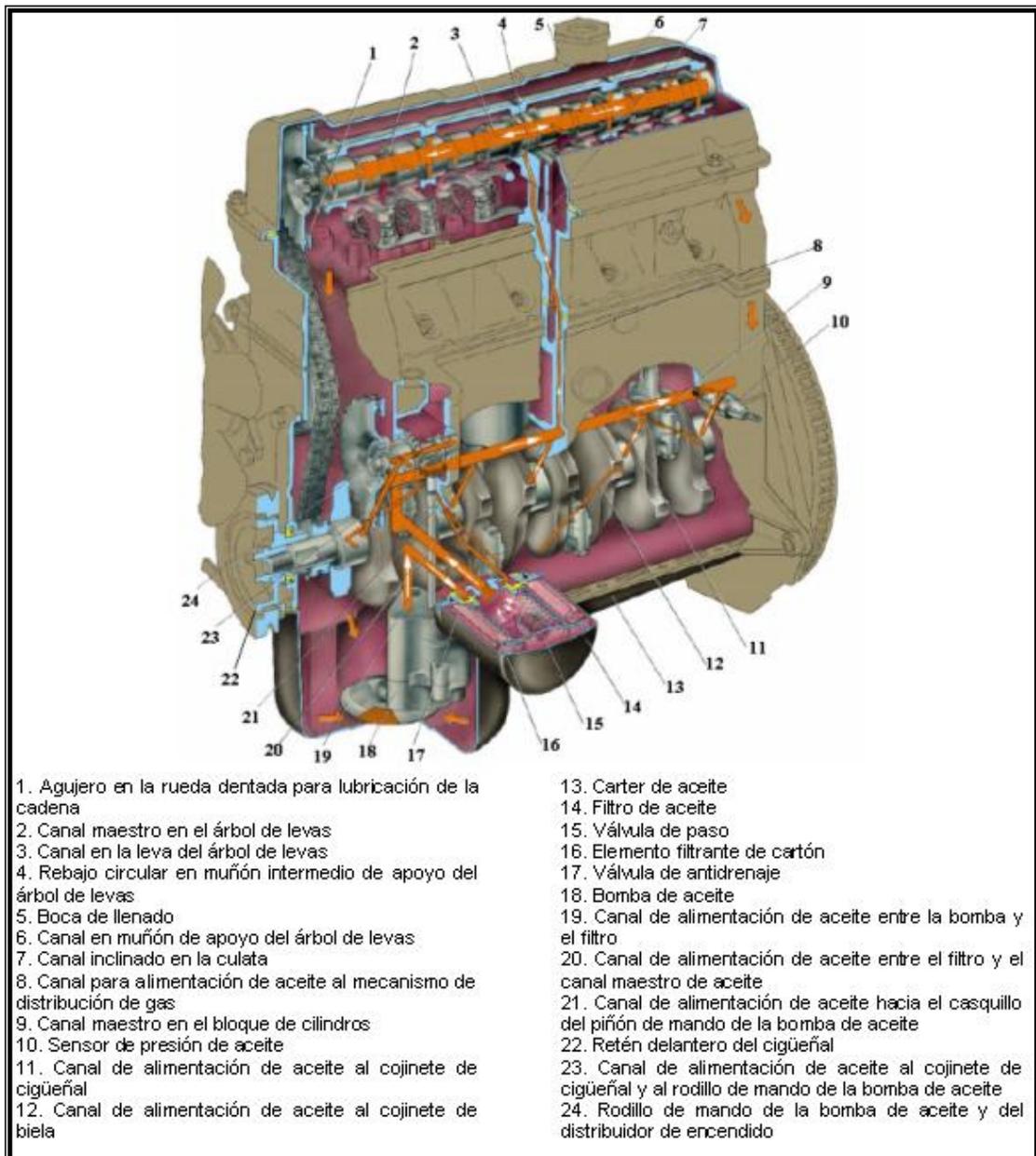


Figura 2.20 Sistema de Lubricación del Motor LADA

2.5.2 Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración debe permitir la máxima temperatura del motor, que asegure su buen funcionamiento, consiguiéndose así un menor consumo de combustible y gases de escape menos contaminantes.

Cuando el motor está frío, el termostato cierra los conductos de circulación del líquido refrigerante, con lo que se anula el paso hacia el radiador, circulando el líquido refrigerante desde la bomba a los conductos internos del bloque de cilindros, desde el bloque de cilindros al cabezote, y finalmente retornando al termostato, cerrándose así el circuito; consiguiéndose con ello un calentamiento más rápido del motor. Cuando el líquido refrigerante alcanza su temperatura normal, el termostato se abre restituyendo la circulación por el radiador.

Con el motor caliente, el termostato permite el paso del líquido refrigerante desde la parte inferior del radiador directamente a la bomba, ésta lo impulsa al interior de la parte inferior del bloque de cilindros desde donde sube por medio de sus conductos al cabezote y sale a la parte alta del radiador.

Finalmente el líquido caliente baja por los conductos internos de los tubos intercambiadores de calor (líquido-aire) del radiador, enfriándose mediante la acción del ventilador y de la corriente externa de aire que es generada por el movimiento del vehículo. Una vez enfriado el líquido refrigerante, es succionado nuevamente por la bomba, estableciéndose así el circuito de refrigeración.

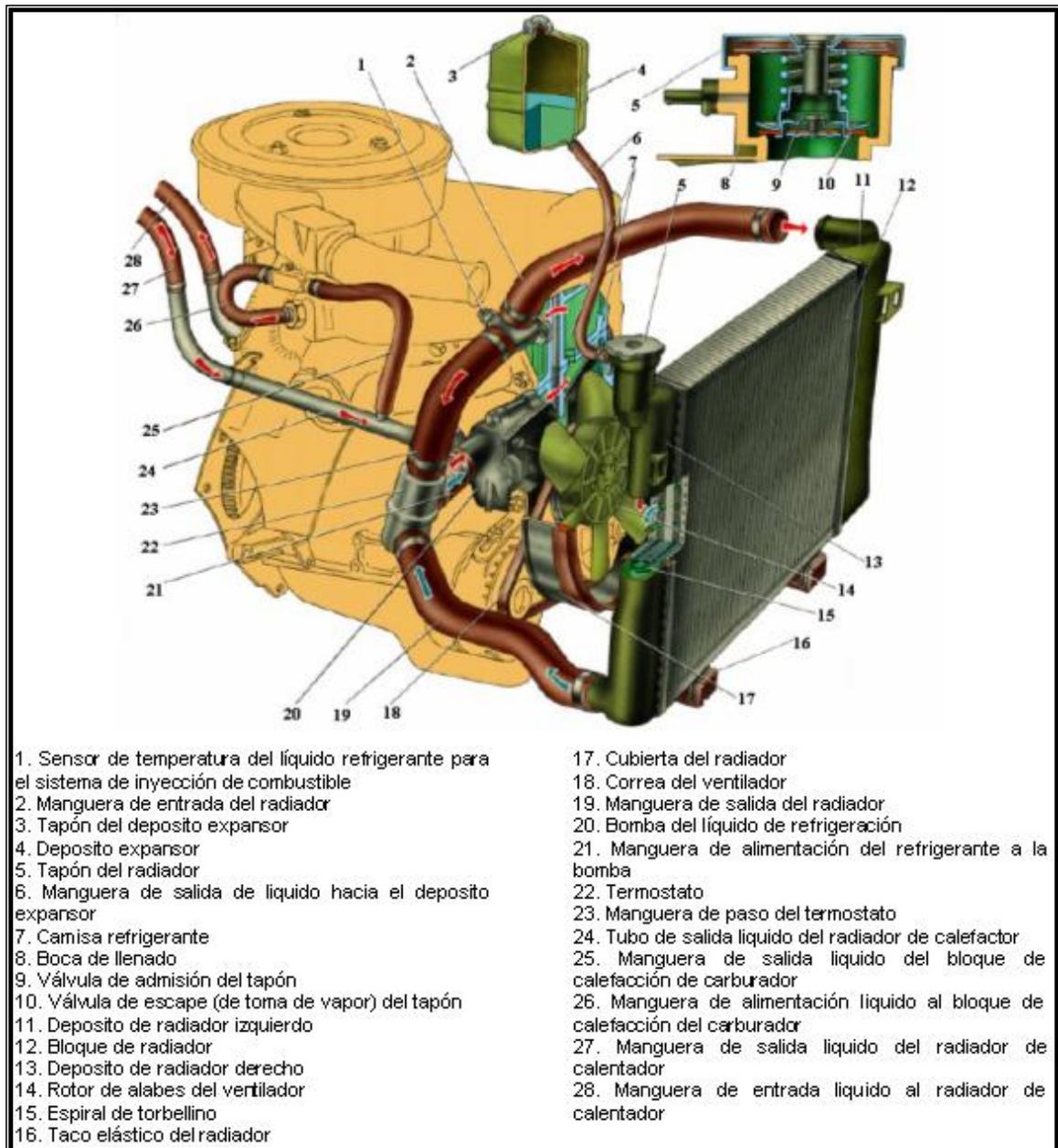


Figura 2.21 Sistema de refrigeración

2.5.3 Sistema de alimentación de combustible

El sistema de alimentación de combustible empieza con el depósito, donde se almacena el combustible (situado en la parte trasera del vehículo). El combustible es aspirado por la bomba de combustible a través del conducto y filtro de gasolina, e impulsado a presión hasta el carburador.

La bomba de combustible es de tipo mecánico y es accionada por el movimiento del piñón de mando de la bomba de aceite.

El carburador es el encargado de establecer la dosificación aire-combustible requerida por el motor, el cual va montado sobre el múltiple de admisión. Recibe el aire filtrado y gradúa la cantidad de la mezcla con la mariposa.

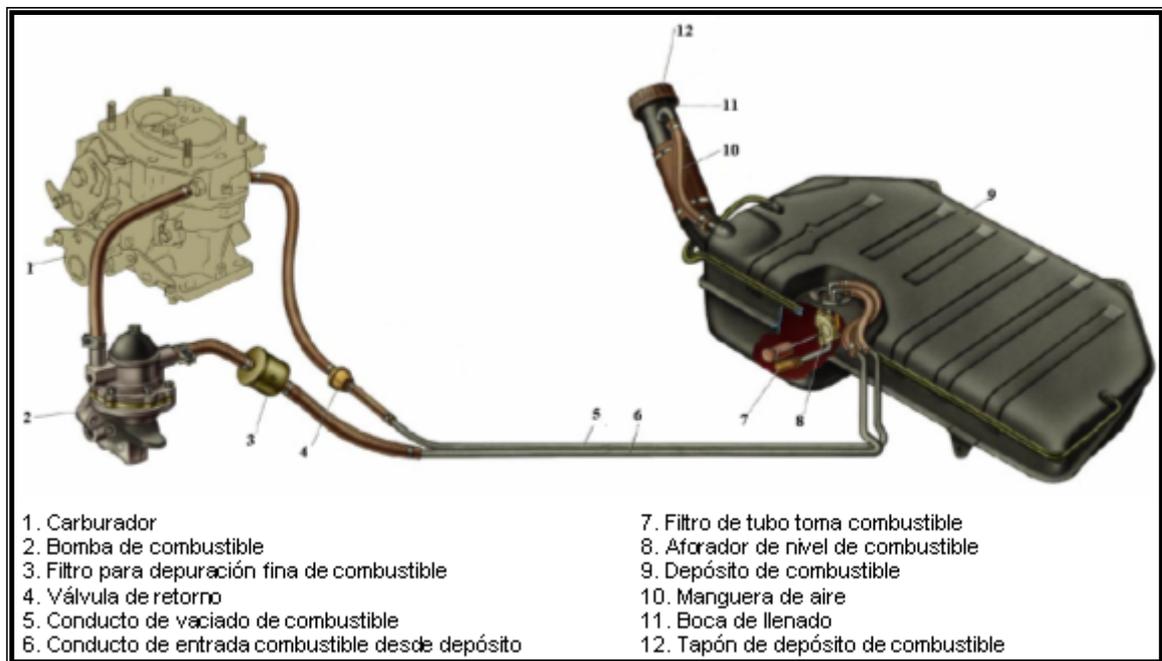


Figura 2.22 Sistema de alimentación de combustible

2.5.4 Sistema de encendido

El sistema de encendido es el encargado de generar la corriente de alta tensión que salta en forma de chispa entre los electrodos de la bujía, iniciando la combustión de la mezcla en el interior del cilindro.

Además de la generación de la alta tensión, es su misión distribuir las chispas sincronizadamente en cada cilindro, haciéndolas saltar en las respectivas bujías al final de la carrera de compresión.

El sistema de encendido está formado básicamente por dos circuitos: uno de baja tensión y otro de alta tensión.

El circuito de baja tensión está compuesto por la batería, el switch de encendido, el relé principal, el arrollamiento primario de la bobina, los platinos y el condensador.

El circuito de alta tensión comienza en el arrollamiento secundario de la bobina, continúa por el cable de alta tensión al borne central de la tapa de distribución y llega al rotor, de éste pasa de nuevo a la tapa y a los cables de las bujías, cerrando el circuito por masa en la culata a través de las bujías.

Al poner el switch en contacto y arrancar el motor, da vueltas la leva del delco, abriendo y cerrando los platino. Cuando se cierran, la corriente de baja tensión de la batería que llega al borne positivo de la bobina, recorre el arrollamiento primario y sale al borne negativo que está empalmado a la conexión del platino y por él cierra el circuito con masa. La corriente que pasa por el primario crea en el núcleo de la bobina un campo magnético.

Al abrirse los contactos del platino y gracias al condensador, el campo desaparece con gran rapidez, induciendo en el arrollamiento secundario una corriente de alta tensión que sale de la bobina por el borne central y va a la tapa del distribuidor, pasando por el rotor, y de él distribuye a las bujías de encendido.

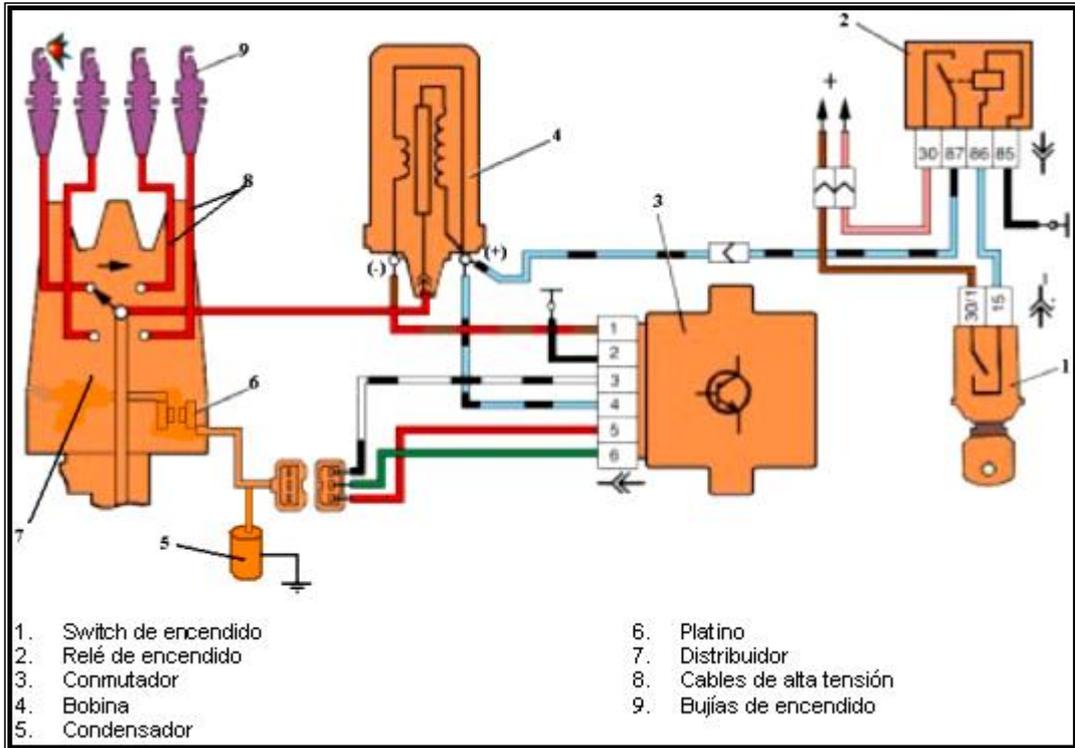


Figura 2.23 Sistema de encendido convencional LADA

2.5.5 Sistema de escape

Tiene la misión de conducir los gases quemados, procedentes de la combustión, al exterior, de modo que el nivel sonoro y la dirección de salida se adapte a las reglamentaciones legales.

Los gases de escape salen del cilindro a gran velocidad y elevada temperatura, por lo que contienen bastante energía; además salen de forma intermitente debido a la separación de explosiones. Estas circunstancias dan lugar a movimientos oscilatorios y ondas de choque. Para conseguir que esta energía no se convierta en sonora cuando se expansionan los gases en la atmósfera, el sistema de escape debe conseguir enfriar los gases y amortiguar las vibraciones, pero sin crear resistencias que provoquen retenciones a la salida de los cilindros.

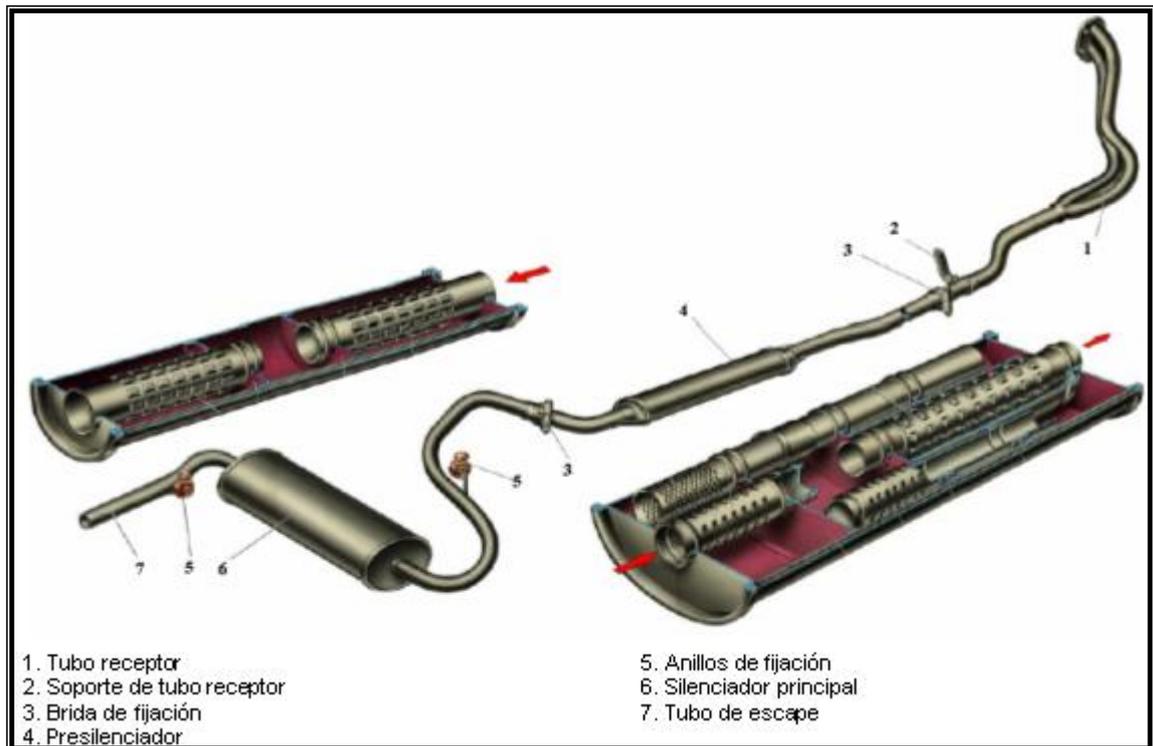


Figura 2.24 Sistema de Escape

2.5.6 Sistema de admisión de aire

Este sistema empieza por la toma de aire frío, donde el aire es aspirado debido al vacío provocado por los cilindros y por la acción de la presión atmosférica, el cual debe ser previamente filtrado a causa de las partículas de polvo que se mantienen suspendas en él; esto para evitar la formación de una pasta abrasiva con el aceite, que desgasta rápidamente los elementos móviles del motor.

Una vez cumplido este proceso, el aire pasa por los venturis del carburador, arrastrando combustible y formando la mezcla.

La mezcla en su recorrido hasta el cilindro debe encontrar el mínimo de resistencias. Los sistemas de admisión deben ser amplios, las curvas en los conductos no tienen que ser cerradas y las válvulas deben ser grandes. Las resistencias que encuentra la mezcla gaseosa en su recorrido, disminuyen su velocidad y, por lo tanto, su caudal.

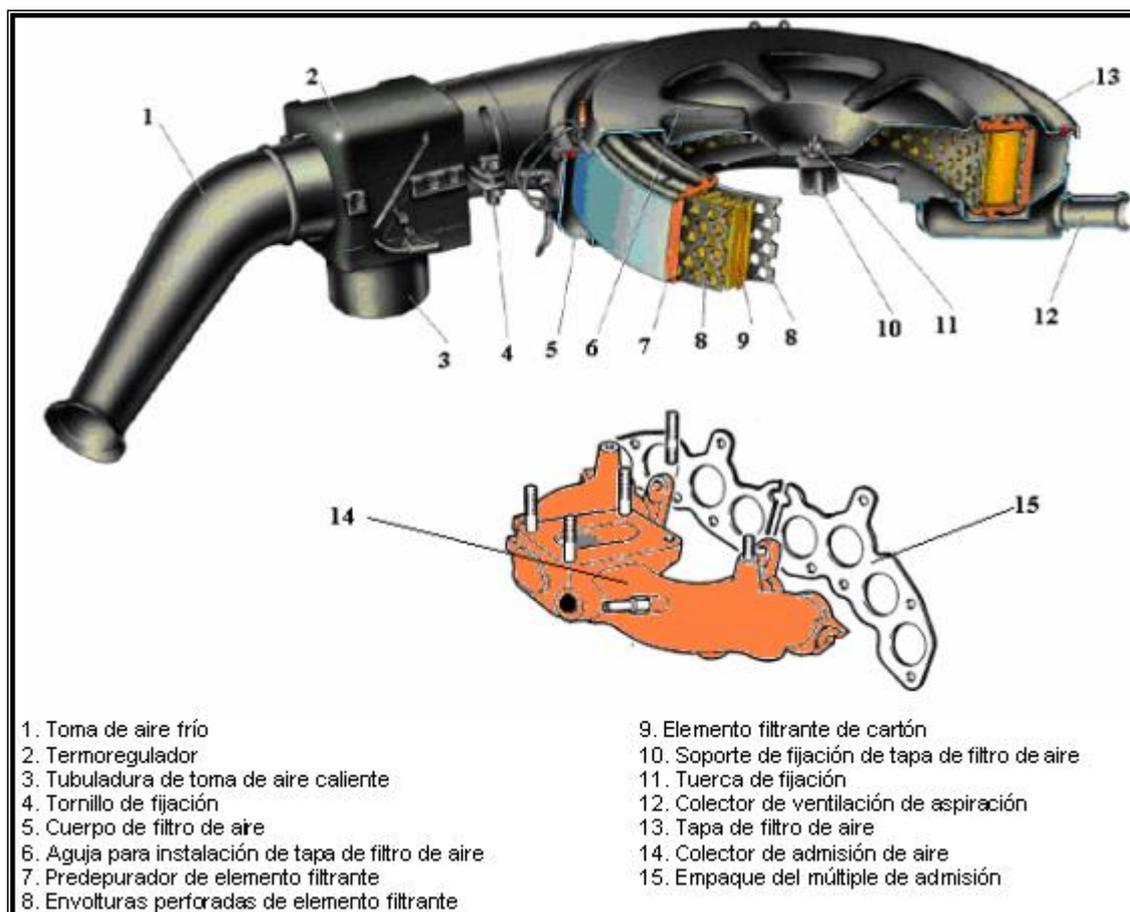


Figura 2.25 Sistema de Admisión de Aire

III. ADAPTACIÓN E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN SECUENCIAL MPFI

3.1 CONSIDERACIONES PARA LA ADAPTACIÓN

La implementación de un nuevo sistema de alimentación requiere de algunas consideraciones de importancia previa su instalación, las cuales explicaremos a continuación.

3.1.1 Espacio en el habitáculo del motor.

Una de las principales consideraciones a tomar en cuenta es el espacio que se requiere para instalar los diferentes componentes del sistema de inyección electrónica como son: el colector de admisión de aire, la válvula electromagnética de purga (cánister), la nueva bobina de encendido, el filtro de combustible, el riel de inyectores, el regulador de presión de inyección, las cañerías de alta presión, el nuevo depurador con sus conductos y los diferentes sensores.

En el habitáculo del motor LADA disponemos de suficiente espacio para realizar el montaje e instalación de los componentes antes mencionados.



Figura 3.1 Habitáculo del motor

3.1.2 El sistema de inyección electrónica a implementarse

Para la adaptación del nuevo sistema de inyección se puso en consideración las diferentes marcas de las casas productoras de sistemas de inyección multipunto MPFI; que finalmente nos llevó a elegir el sistema de inyección electrónica que utilizan los actuales vehículos de la marca LADA.

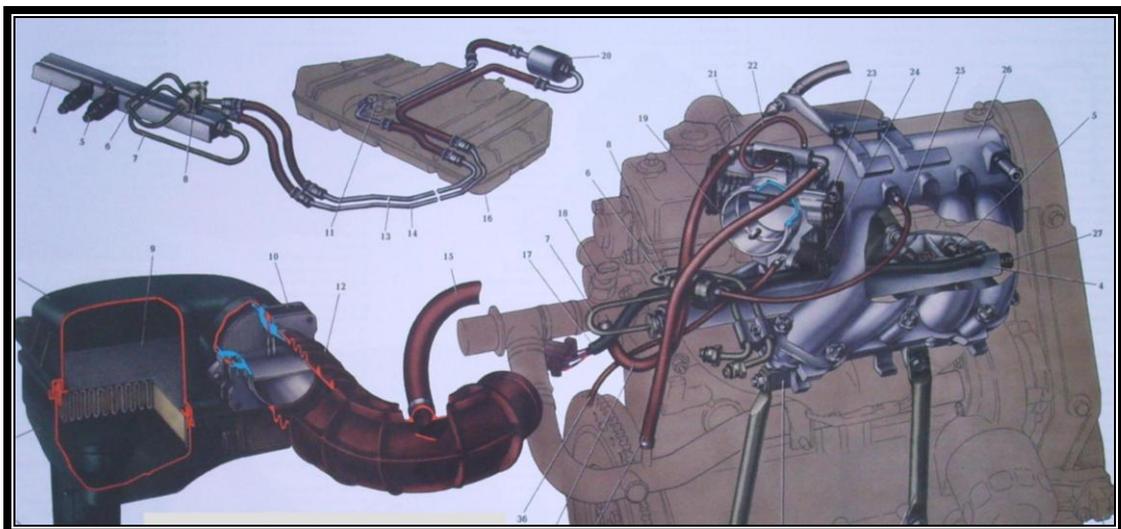


Figura 3.2 Sistema de Inyección electrónica BOSCH

3.1.3 Existencia de autopartes en el mercado nacional

Esta consideración es primordial porque nuestra tesis se basa en la implementación de un sistema de inyección electrónica que se encuentre en el mercado nacional, con la finalidad de evitar dificultades y elevados costos al momento de adquirir los elementos necesarios; además, que de existir la necesidad de reemplazar elementos averiados debido a su funcionamiento, es necesario tener un stock completo de repuestos.



Figura 3.3 Elementos que conforman el Sistema de Inyección Electrónica



Figura 3.4 Módulo de Control de Potencia (PCM)

3.1.4 Existencia de equipos y maquinaria compatibles para el diagnóstico y mantenimiento del sistema de inyección electrónica a implementarse.

Es estrictamente necesario poder contar con los equipos que nos permitirán realizar un mantenimiento efectivo del sistema implementado como es el empleo del escáner para detectar las averías reflejadas en los códigos de falla que nos envía la UCE.



Figura 3.5 Concesionarios LADA

Estos los podemos encontrar en Concesionarios LADA autorizados a nivel nacional o en escáners universales que contengan los sistemas europeos.



Figura 3.6 Pantalla del Escáner CARMAN SCAN VG

3.2 PRECAUCIONES PARA LA INSTALACIÓN

El presente trabajo requiere del desmontaje del motor, para lo cual debemos desacoplar todos los sistemas adicionales, como son el sistema de encendido, sistema de alimentación, sistema de refrigeración, sistema de lubricación, y sistema eléctrico. Las precauciones que se deben tomar para el desmontaje de cada uno de estos sistemas serán explicadas a continuación.

3.2.1 Sistema eléctrico

Para proceder al desarmado de los componentes del motor, lo primordial es desconectar el sistema eléctrico, para de esta manera evitar posibles cortocircuitos que pueden producirse al manipular herramientas metálicas o la puesta a masa de cables alimentados con voltaje.

Las precauciones que tomaremos con respecto al sistema eléctrico son:

- Desconectar los bornes de la batería, eliminando así la alimentación del sistema.
- Ser cuidadosos de no romper los cables eléctricos, es decir que al momento de realizar una desconexión, los cables deben ser halados de los respectivos sockets, y no de los cables en sí; y en caso de tener la necesidad de cortarlos, aislarlos adecuadamente.
- Tener muy en cuenta de dónde se desacoplan los cables, sockets y arneses; y en caso de duda, señalarlos cuidadosamente. Este paso a seguir es muy importante, ya que se realiza con el fin de evitar daños en los componentes eléctricos a causa de conexiones equivocadas.

3.2.2 Sistema de encendido

Para realizar nuestro trabajo, necesitamos retirar por completo el sistema de encendido, ya que se instalará uno completamente nuevo. Por lo tanto, las precauciones a tomar serán las siguientes:

- Antes de retirar las bujías, limpiar sus alrededores; esto con la finalidad de evitar el ingreso de partículas de lodo o polvo a la cámara de combustión; que podrían ocasionar rayaduras y abrasión en el cilindro al hacer funcionar el motor.
- Al momento de desconectar los cables de alta tensión, hacerlo tirando del capuchón y no del cable, ya que así evitaremos su rotura.
- Ser cuidadosos, tanto para sacar como para colocar las bujías, ya que así evitaremos que el recubrimiento cerámico que éstas llevan, se trice o se rompa.
- Como acotación, cabe recalcar que para el nuevo sistema de encendido se requieren bujías con resistencia interna, que son diferentes a las convencionales; esto debido a que el voltaje que llegará a las bujías será mucho mayor.

3.2.3 Sistema de alimentación

Las precauciones a seguir para el desmontaje de este sistema deben ser tomadas muy en cuenta, ya que si no realizamos los procedimientos de forma adecuada, debido a la presencia de combustible, podrían desatarse incendios o incluso explosiones, derivándose esto en posibles daños a algunos elementos del vehículo e incluso en lesiones personales.

Por lo tanto, las prevenciones que tomaremos serán las siguientes:

- Antes de desconectar las cañerías de alimentación de combustible, liberar la presión que existe en el circuito; con esto evitaremos derrames.
- En caso de que se empiece a derramar combustible al momento de desacoplar cañerías o mangueras, rápidamente colocar un recipiente en el que se pueda recolectar el combustible.
- Al momento de la instalación, hay que tener en consideración que se debe adaptar una bomba eléctrica de combustible de similares características (presión y caudal) a las que el nuevo sistema de inyección electrónica requiera.
- Debemos tomar en cuenta que, como vamos a trabajar con un sistema altamente presurizado de alimentación de combustible, tendremos que adquirir cañerías y mangueras que resistan dichas presiones.
- Finalmente, se debe verificar que exista un adecuado ajuste en los lugares de acople de cañerías y mangueras; y con el vehículo trabajando, verificar que no exista fugas de combustible. Esto resulta particularmente importante, ya que de existir algún derrame, con el incremento de la temperatura se podría ocasionar un incendio.

3.2.4 Sistema de refrigeración

A pesar de que no parezcan existir mayores inconvenientes para la seguridad al momento de hablar del sistema de refrigeración; existen procedimientos que debemos seguir al momento de desacoplar este sistema. Lo recomendable es:

- Antes de la evacuación del líquido refrigerante, esperar que la temperatura del motor disminuya considerablemente, ya que así se evitarán quemaduras.
- Al momento de realizar la evacuación del líquido refrigerante, hacerlo en un lugar en el que existan desagües, para evitar problemas con piso húmedo y resbaladizo
- En caso de existir deterioro, fisuras o rotura en las mangueras; realizar el respectivo reemplazo; pero siempre verificando que éstas sean apropiadas acorde a la función que van a desempeñar.

3.2.5 Sistema de lubricación

El sistema de lubricación es definitivamente uno de los más importantes para el correcto funcionamiento del motor, ya que de fallar éste en pleno funcionamiento, los diferentes componentes mecánicos que se encuentran bajo fricción se quedarán sin lubricación y habrá aumento de temperatura, desgaste excesivo, fusiones, y finalmente el motor sufrirá daños muy considerables. Por lo tanto debemos ser cuidadosos con el tratamiento de este sistema. Las precauciones que se deben tomar con respecto al sistema de lubricación son las siguientes:

- Previo la evacuación del aceite, estar preparados con un recipiente lo suficientemente grande como para albergar toda la cantidad de aceite que se extraiga del vehículo.
- Colocar el recipiente adecuadamente para evitar que el aceite se derrame.
- Al momento de realizar el cambio, utilizar un aceite que cumpla con las características requeridas por el motor; y de igual manera, el filtro deberá ser confiable y de buena calidad, para evitar problemas posteriores; ya que si ingresa suciedad en el circuito de lubricación, los

diferentes componentes mecánicos bajo fricción sufrirán daños graves y posiblemente habrá que reemplazarlos.

- Cuando ya se vaya a colocar el aceite, verificar que estén correctamente ajustados el filtro y el tapón del cárter, para evitar posibles fugas del lubricante.
- Tener en cuenta que el cambio de aceite se debe hacer al kilometraje establecido por la casa fabricante del aceite.

3.3 FACTIBILIDAD DEL SISTEMA

Para determinar la factibilidad debemos analizar, tanto las ventajas como las desventajas que resultan de la instalación del sistema de inyección electrónica; y posteriormente emitir un criterio en base a la conveniencia de su implantación.

3.3.1 Ventajas del sistema

- Bajo mantenimiento periódico
- Stock completo de repuestos
- Herramientas de diagnóstico compatibles
- Mejor arranque en frío
- Aumento de potencia y torque
- Reducción de consumo de combustible
- Disminución de emisiones de gases contaminantes
- Auto regulación de acuerdo a las diferentes condiciones de funcionamiento.

3.3.2 Desventajas del sistema

- Costo de instalación elevado
- Costos de mantenimiento considerables
- Elementos electrónicos no reparables
- Necesidad de contar con personal calificado para mantenimiento

3.3.3 Factibilidad

Una vez que hemos tomado en cuenta las diferentes consideraciones para la instalación, además de sus correspondientes ventajas y desventajas, se ha optado por la elección del Sistema de Inyección Electrónica **BOSCH VAZ MP7.0H**, ya que su adaptación será más conveniente al ser éste el empleado en la actualidad por la marca LADA desde la introducción de los sistemas de inyección electrónica multipunto.

Bajo un seguimiento realizado minuciosamente se determinó que los vehículos *NIVA LADA* están constituidos por elementos mecánicos como: cabezote, bloque de cilindros, eje cigüeñal, cilindros, pistones, árbol de levas, válvulas y demás elementos fijos y móviles que conforman el motor de combustión interna, de similares características a las de nuestro vehículo; e incluso los nuevos vehículos de la Casa LADA, específicamente hablando del modelo recientemente lanzado al mercado, el “*CLÁSICO*”, posee una estructura mecánica semejante, a la cual se le ha implementando el sistema de inyección electrónica y realizado pequeñas modificaciones de los respectivos sistemas adicionales para el adecuado funcionamiento del motor.



Figura 3.7 Habitáculo del Motor Modelo CLÁSICO (2006)



Figura 3.8 Habitáculo del Motor Modelo 2104 (1994)

Por lo tanto resulta factible la adaptación del sistema, ya que estos vehículos trabajan en el mismo rango de datos, tales como: temperatura de funcionamiento del motor, cantidad de aire aspirado, rango de revoluciones del motor, velocidad del vehículo, y otros; que son determinados por los diferentes dispositivos electrónicos. Además se obtendrá mejoras considerables dentro de las principales características brindadas por el motor, como son potencia, torque, consumo de combustible y reducción de gases contaminantes.

3.4 SUPRESIÓN DE ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS CONVENCIONALES E IMPLEMENTACIÓN Y ADAPTACIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Una vez analizados todos los parámetros y consideraciones para la instalación, procederemos a realizar la adaptación del sistema de inyección electrónica de combustible multipunto MPFI en el vehículo LADA modelo 2104 fabricado en el año 1994.

3.4.1 Desmontaje del motor

Para iniciar nuestro trabajo de campo, debemos tomar en cuenta las precauciones mencionadas en el numeral 3.2 del presente capítulo.

Una vez determinado el proceso de desmontaje a realizarse, procedemos a preparar las máquinas y herramientas necesarias.



Figura 3.9 Máquinas empleadas en el proceso de adaptación



Figura 3.10 Herramientas de uso común

Empezamos desconectando la batería de acumuladores.



Figura 3.11 Desconexión y desmontaje de la batería de acumuladores

3.4.1.1 Evacuación de líquidos

Se debe evacuar el líquido refrigerante y el lubricante de los respectivos sistemas, ya que vamos a desarmar casi en su totalidad el motor para realizar las respectivas adaptaciones.

Para el caso del líquido refrigerante, debemos considerar las precauciones mencionadas en el literal 3.2.4. Una vez efectuado esto, procedemos a aflojar el tapón de evacuación del líquido refrigerante del radiador, esperamos que se evacue en su totalidad el líquido refrigerante existente en el sistema, y desconectamos las mangueras de sus respectivas tomas para evacuar el líquido que quedaron en su interior.

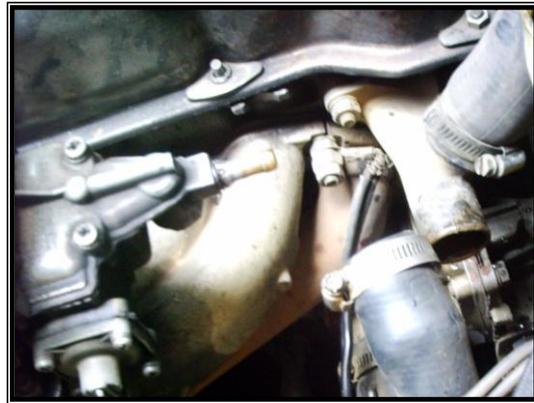


Figura 3.12 Evacuación Líquido Refrigerante

Para el caso del aceite lubricante del motor, debemos considerar las precauciones mencionadas en el literal 3.2.5. Una vez efectuado esto, procedemos a retirar la tapa superior del motor ubicada en la tapa de válvulas aflojar el tapón de evacuación ubicado en la parte más baja del cárter y esperamos que el aceite se drene completamente. Posteriormente aflojamos y retiramos el filtro de aceite.

3.4.1.2 Desmontaje de partes y piezas

Seguidamente empezamos el desmontaje de los diferentes componentes que se encuentran en el compartimiento del motor, tales como depurador con su filtro de aire, carburador, tapa de válvulas, distribuidor de encendido, cabezote, bloque de cilindros, entre otros.

Para desmontar el depurador debemos desconectar las cañerías de vacío, aflojar y retirar los pernos de sujeción del mismo.



Figura 3.13 Desmontaje depurador

Al momento de desmontar el carburador es necesario desacoplar las cañerías de alimentación de combustible, el mecanismo de aceleración y el mecanismo de activación del choque; y finalmente los pernos mediante los cuales está fijado.



Figura 3.14 Desmontaje del carburador

La tapa de válvulas se desmonta aflojando y retirando los pernos de sujeción de la misma, teniendo cuidado de no dejar caer las rodajas.



Figura 3.15 Desmontaje de la tapa de válvulas

Al momento de sacar el distribuidor se necesita desacoplar los cables de alta tensión que van a las bujías y el cable proveniente de la bobina de encendido. Una vez hecho esto, aflojamos el perno de sujeción con su respectivo acople y retiramos el distribuidor.



Figura 3.16 Desmontaje del distribuidor de encendido

Para desmontar el cabezote, debemos desacoplar el mecanismo de distribución, para esto es necesario fijarse de los puntos que nos indican 0° de giro del cigüeñal y del árbol de levas.



Figura 3.17 Desmontaje del cabezote

Retiramos los elementos que van acoplados a él, como el tensor de la cadena, cadena, piñones, árbol de levas, pernos que lo fijan al bloque de cilindros, y los colectores de admisión y escape.



Figura 3.18 Cabezote desmontado

Finalmente, fue necesario desmontar el bloque de cilindros para colocar el sensor de picado (KS) entre los cilindros 2 y 3.



Figura 3.19 Habitáculo vacío del motor

3.4.2 Supresión de partes y piezas convencionales

Algunos elementos del motor LADA deben ser removidos de forma permanente, ya que su uso esté limitado únicamente para el sistema de alimentación y encendido convencional.

3.4.2.1 Supresión en el sistema de encendido

Debido al cambio del sistema de encendido que requiere de elementos que soportan mayor tensión y generan una eficiencia superior, no se requiere más de elementos convencionales, por lo tanto se suprimirán los siguientes elementos:

- Bobina de encendido
- Distribuidor
- Platino
- Condensador
- Cables de alta tensión
- Bujías



Figura 3.20 Elementos del sistema de encendido convencional suprimidos

3.4.2.2 Supresión en el sistema de alimentación de combustible

Puesto que el sistema de inyección electrónica requiere de elevadas presiones, los elementos que suprimiremos serán:

- Bomba mecánica de combustible
- Filtro de combustible
- Carburador

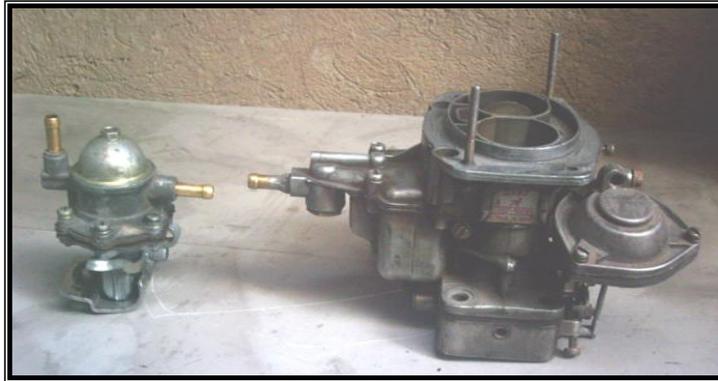


Figura 3.21 Elementos del sistema de alimentación convencional suprimidos

3.4.2.3 Supresión en el sistema de refrigeración

En el sistema de refrigeración realizamos pequeñas modificaciones. Se suprimió la toma de agua convencional y se reemplazó por otra que constaba de una entrada de agua adicional y una base para el sensor de temperatura.



Figura 3.22 Elemento del sistema de refrigeración suprimido

3.4.2.4 Supresión en el sistema de admisión de aire

Para mejorar la eficiencia de llenado de los cilindros, se suprimió el múltiple de admisión convencional, y se instaló en su lugar un múltiple más adecuado para el sistema de inyección.



Figura 3.23 Elemento del sistema de admisión de aire suprimido

3.4.3 Adaptación de dispositivos mecánicos

Una vez realizados los desmontajes descritos anteriormente, podemos proceder con las adaptaciones necesarias para la implementación del sistema.

3.4.3.1 Adaptación de la base del sensor de picado (KS) al bloque de cilindros.

El sistema de inyección electrónica requiere que el sensor de picado se encuentre adherido al bloque de cilindros próximo a las cámaras de combustión, y de acuerdo a nuestro caso, lo colocaremos entre los cilindros 2 y 3.

Por lo tanto es necesaria una base en la que pueda ir acoplado el sensor KS, Teniendo en cuenta que el excesivo calor de la soldadura podría provocar la deformación de la superficie del bloque de cilindros, utilizaremos la soldadura oxiacetilénica; con material de aporte de bronce; que es compatible con los materiales de las superficies a acoplarse.

El procedimiento empleado es el siguiente:

- Preparar las herramientas y materiales a utilizarse en el proceso.
- Colocar la superficie a soldarse del bloque de cilindros en posición horizontal.
- Limpiar las superficies para obtener una eficaz adherencia.
- Calentar la superficie del bloque de cilindros.
- Colocar la base del sensor KS en el lugar requerido y calentarla. Cabe recalcar que el roscado de la base se deformaría al calentarse el material, por lo que utilizaremos un perno con el mismo paso de rosca, evitando así este problema.
- Una vez adquirida la temperatura adecuada para la soldadura, añadir el material de aporte en la cantidad necesaria.



Figura 3.24 Proceso de soldadura de la base para el sensor KS

- Concluida la soldadura, dejar que se enfríe lentamente, para evitar deformaciones de las superficies y alteración de las propiedades de los materiales inmersos en el proceso.



Figura 3.25 Proceso de enfriamiento de soldadura

- Finalmente comprobamos la planicidad de la superficie superior del bloque de cilindros, y con esto queda listo para colocar el sensor KS.



Figura 3.26 Instalación del sensor KS

3.4.3.2 Adaptación del cabezote

El cabezote debe recibir modificaciones significativas, ya que es directamente hacia él donde va acoplado el nuevo múltiple de admisión, el cual difiere del anterior incluso en la sección de los orificios de admisión.

Modificación de los conductos de admisión.

Para adaptar el nuevo múltiple de admisión, debemos tener en cuenta la sección transversal de paso, la cual debe ser similar en el lugar de acople, para evitar la formación de turbulencias y restricciones en la dinámica del aire en el colector. Con este fin, realizamos lo siguiente:

- Determinamos la sección transversal de paso en el múltiple de admisión, en la superficie a acoplarse.



Figura 3.27 Verificación de la sección transversal de paso

- Determinamos también la sección transversal de paso de admisión en la superficie a acoplarse del cabezote.

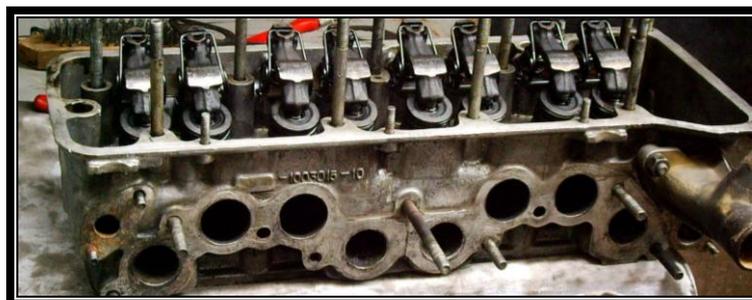


Figura 3.28 Determinación de la sección de paso en el cabezote

- Realizamos la comparación de ambas superficies. Se determinó que la sección transversal de paso en la superficie a acoplarse del cabezote variaba con respecto a la del nuevo múltiple de admisión; ya que en la parte superior de los conductos del múltiple presentaba una sección mayor, que, al no estar presente en el cabezote, impedía parcialmente el paso de combustible presurizado por los inyectores; con lo que se debía ampliar la sección transversal de paso del cabezote, dando una forma similar a la del múltiple de admisión.
- Al realizar la medición, comprobamos que la distancia a incrementarse en la parte superior de los orificios del cabezote debía ser de 10 mm.

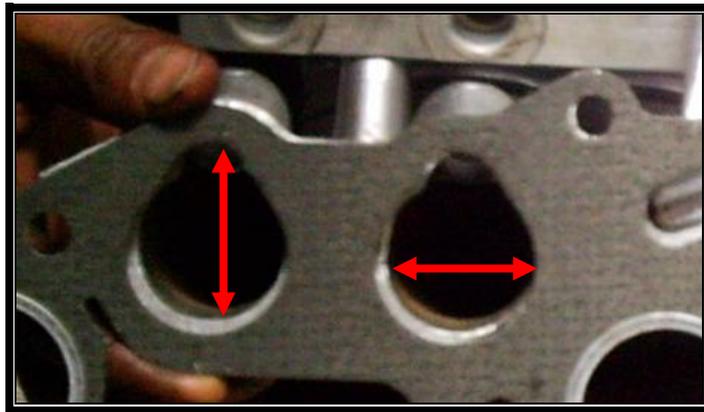


Figura 3.29 Sección transversal del múltiple de admisión

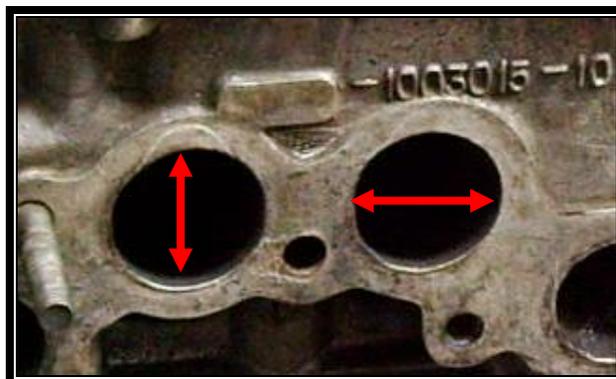


Figura 3.30 Sección transversal del cabezote

- Con la ayuda del empaque para el múltiple de admisión, procedimos a dibujar la sección transversal requerida.

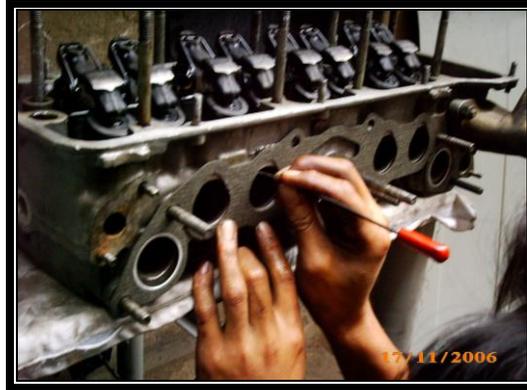


Figura 3.31 Referencia de la sección transversal requerida

- Para llevar a cabo la ampliación de la sección transversal de paso, se consideraron los principales parámetros del cabezote, tales como: el material, el espesor de las paredes y la superficie disponible; y por supuesto el ángulo de inyección. A continuación se muestra un esquema que permite observar la sección que se va a modificar.

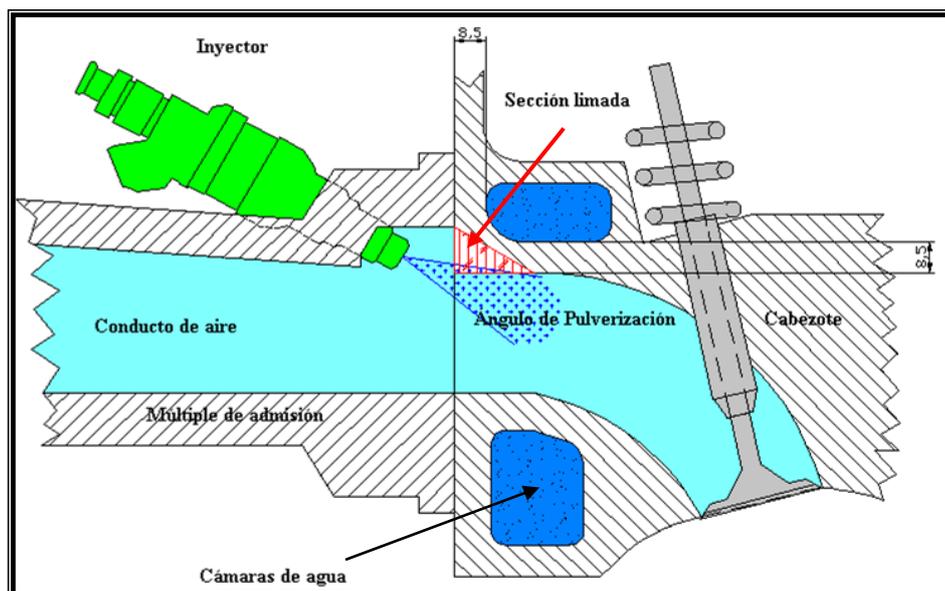


Figura 3.32 Sección de limado (sección roja)

- De acuerdo a las características del material, a la forma de los orificios que vamos a realizar, y al espacio disponible, el proceso que se decidió emplear fue el de limado.
- Iniciamos dando la forma con una lima circular de textura gruesa, la cual nos permite desbastar rápidamente en el aluminio.



Figura 3.33 Limado con lima circular

- Posteriormente, con una lima media caña de textura fina, procedemos a dar la forma definitiva y el acabado superficial deseado.
- Debemos tener cuidado de retirar la limalla producida al momento del limado, ya que si esta queda en los conductos del cabezote, producirá problemas tanto en los asientos de válvulas como en el interior del cilindro.



Figura 3.34 Limado con lima media caña

- Finalmente observamos un orificio terminado y lo comparamos con otro estándar. Claramente podemos distinguir la diferencia.

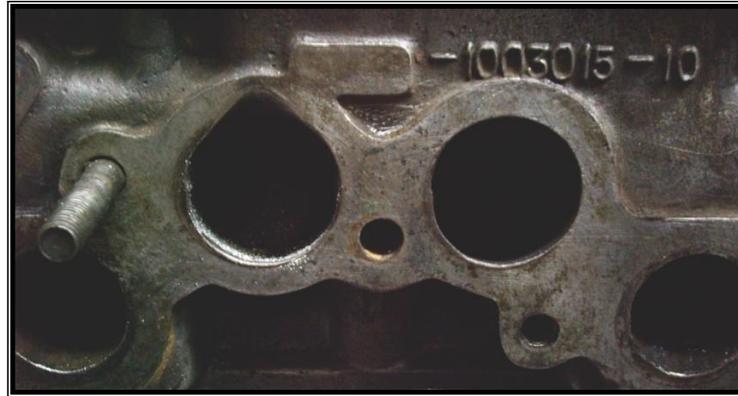


Figura 3.35 Conducto de admisión limado en el cabezote

- A continuación se muestra el resultado que se obtuvo luego del proceso de limado de los conductos de admisión en el cabezote.



Figura 3.36 Conductos de admisión modificados

Sujeción del nuevo múltiple de admisión

El nuevo múltiple de admisión requiere de otros puntos de sujeción debido a su tamaño y peso. Para ello se buscó los puntos de sujeción más

convenientes, tomando en cuenta que las cámaras de refrigeración pasan por el interior del cabezote; por lo tanto debemos ser cuidadosos con la ubicación en la que vayamos a realizar la modificación.

- Tomado en cuenta lo anterior, procedemos a la perforación del cabezote para la colocación de un espárrago de 8 mm de diámetro y de un paso de rosca de 1,25 mm, el cual es de las mismas características de los espárragos de fijación ya existentes.

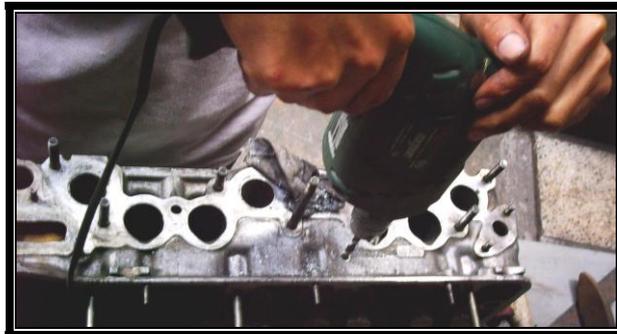


Figura 3.37 Perforación para puntos de fijación del múltiple de admisión.

- Una vez concluidas las perforaciones, procedimos a la apertura de rosca, utilizando machuelos con el mismo diámetro y paso de rosca del espárrago.



Figura 3.38 Apertura de rosca en el cabezote

- Finalizada la adaptación, comprobamos la correcta sujeción del múltiple de admisión; y el cabezote queda listo.



Figura 3.39 Comprobación de sujeción del múltiple de admisión

3.4.3.3 Instalación del sensor de oxígeno (HEGO)

El sensor de oxígeno debe ser instalado en el tubo de escape, para lo cual el procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente:

- Preparar las herramientas y seleccionar los materiales a utilizarse en el proceso.
- El sensor HEGO para su fijación necesita ser roscado, para lo cual utilizaremos una tuerca con el mismo paso de rosca como base.



Figura 3.40 Tuerca base y Sensor HEGO

- Debido a que el espesor de la tuerca era excesivo, fue necesario reducirlo al adecuado para una correcta ubicación del sensor HEGO.



Figura 3.41 Reducción del espesor de la tuerca base

- Para obtener una óptima adherencia de la superficie de la tuerca, con el lugar donde va a ser soldada, se procedió a la eliminación de irregularidades, por medio de limado.

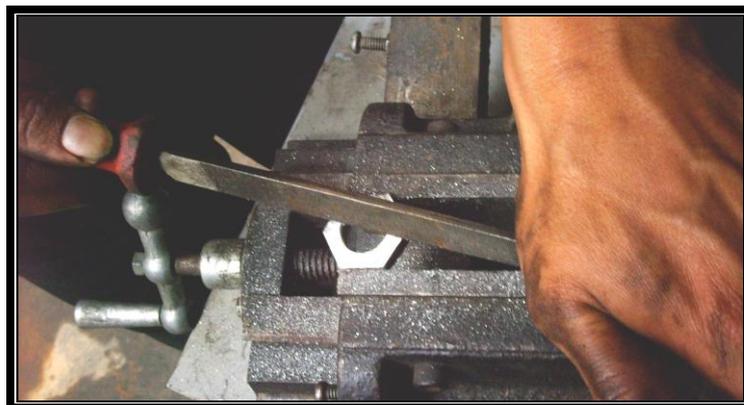


Figura 3.42 Eliminación de irregularidades

- Una vez modificada la base, comprobamos que el espesor sea el adecuado para el sensor.



Figura 3.43 Comprobación de la base

- Seleccionamos el lugar adecuado para el correcto funcionamiento del sensor, además de tomar en consideración el espacio disponible en el vehículo.



Figura 3.44 Selección del lugar para la instalación del sensor HEGO

- Una vez seleccionado el lugar, procedimos a la perforación del tubo de escape, con una broca de diámetro $\frac{3}{4}$ ”; utilizando un taladro industrial.



Figura 3.45 Perforación del tubo de escape

- Concluida la perforación, soldamos la tuerca base en el lugar seleccionado.



Figura 3.46 Soldadura de la tuerca base

- Finalmente esperamos el enfriamiento de la suelda y se tiene lista la base del sensor para su posterior instalación.



Figura 3.47 Base del sensor HEGO adaptada

3.4.3.4 Adaptación de la bomba eléctrica de combustible

El sistema de inyección electrónica de combustible requiere de una bomba eléctrica de mayor presión instalada en el interior del depósito de combustible para conseguir su refrigeración; por lo tanto fue necesario instalarla de la siguiente manera.

- Desmontamos y lavamos cuidadosamente el depósito de combustible, dejándolo lleno de líquido detergente por varios días; y posteriormente lo secamos.
- Determinamos la ubicación ideal para la instalación de la bomba de combustible, tomando en cuenta el espacio interior disponible, forma y tamaño del depósito; así como de la bomba y del habitáculo dentro del vehículo.
- Una vez determinada la ubicación definitiva en la que se va a instalar la bomba eléctrica de combustible, procedemos a graficar el diámetro del orificio a ser cortado en el depósito.

- Con la ayuda de una suelda eléctrica, procedemos a generar un orificio de tamaño suficiente que nos permita manipular la caladora eléctrica.



Figura 3.48 Calado del orificio para alojamiento de la bomba de combustible

- Con la ayuda de un martillo de bola doblamos el contorno del orificio, con la finalidad de establecer firmeza en esta área.



Figura 3.49 Doblado del contorno del orificio

- Con un taladro eléctrico perforamos los puntos para la sujeción de la bomba de combustible.



Figura 3.50 Perforación de puntos de sujeción de la bomba

- Instalamos el empaque e insertamos la bomba eléctrica en el interior del depósito de combustible.



Figura 3.51 Instalación de la bomba de combustible

- Con unos tornillos, sujetamos la bomba eléctrica al depósito.

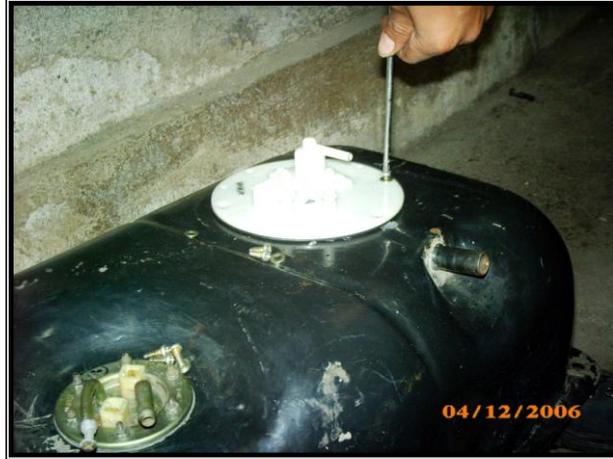


Figura 3.52 Sujeción de la bomba de combustible

- Finalmente comprobamos que el sellado sea hermético, para que no exista fuga de combustible.

3.4.4 Montaje de partes mecánicas e implementación de componentes electrónicos

Habiéndose concluido la fase de adaptación, procederemos al montaje de las partes mecánicas requeridas; y posteriormente la implementación de componentes electrónicos.

- Empezamos por el bloque de cilindros, donde implementamos en la parte delantera, una polea dentada con su respectiva tapa que contiene la base para la sujeción del sensor CAS.



Figura 3.53 Tapa de la distribución

- Instalamos el sensor KS en la base previamente adaptada.



Figura 3.54 Instalación del sensor KS

- Una vez instalados todos los elementos que van montados en el bloque de cilindros, procedemos al montaje del cabezote. Para este efecto, es imprescindible instalar un nuevo empaque, se coloca el cabezote correctamente en la guía respectiva, se insertan los pernos y se procede a torqupear de acuerdo a las especificaciones recomendadas por el fabricante y en el orden de apriete secuencial adecuado.



Figura 3.55 Torque del cabezote

- De la misma manera montamos todos los elementos que forman parte del cabezote, como es el árbol de levas, poleas, cadena de distribución y su respectivo tensor.
- Para la sincronización de la distribución debemos hacer coincidir los puntos de referencia marcados en las poleas, tomando muy en cuenta que los puntos de la nueva polea vienen marcados en otro lugar. También debemos comprimir al máximo el tensor de la cadena para insertar con facilidad la cadena en los respectivos piñones.
- Una vez sincronizados los puntos con la cadena, liberamos el tensor y verificamos que los puntos de sincronización no se hayan desplazado. Una vez hecho esto, ajustamos la tuerca que ajusta al piñón del árbol de levas y a la tuerca que acopla a la polea del cigüeñal.
- Calibramos válvulas y colocamos la tapaválvulas.
- Concluido esto, montamos el motor en su respectivo habitáculo.



Figura 3.56 Montaje del motor en su habitáculo

- Consecuentemente podemos colocar los diferentes sistemas adicionales del motor.
- Continuaremos montando el nuevo múltiple de admisión, sujetándolo al cabezote.
- Posteriormente colocaremos los inyectores, ya que el espacio es reducido y por lo tanto sería difícil montarlos posteriormente.



Figura 3.57 Montaje del múltiple de admisión e inyectores

- Colocamos el riel de inyectores y lo sujetamos al múltiple de admisión empleando una llave hexagonal.



Figura 3.58 Montaje del riel de distribución

- Montamos la carcasa del múltiple de admisión y lo fijamos.



Figura 3.59 Fijación de la carcasa del múltiple de admisión

- Montamos los otros elementos que forman parte del sistema de admisión de aire, compuesto por: cuerpo de aceleración, con su respectivo sensor TPS, válvula IAC, tubo de admisión con el sensor MAF y el filtro de aire.



Figura 3.60 Sistema de admisión de aire instalado

- Continuamos con el sistema de alimentación de combustible, para el cual montaremos la válvula reguladora de presión del sistema.

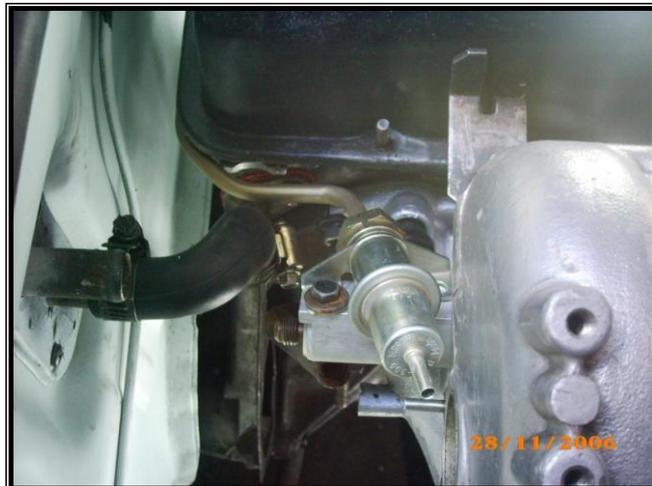


Figura 3.61 Montaje de la válvula reguladora de presión de combustible

- Montamos el filtro de combustible, la válvula electromagnética de purga con su depósito (cánister) y el depósito; a los cuales les conectaremos las mangueras de alta presión.



Figura 3.62 Sistema de alimentación de combustible instalado

- Para el sistema de encendido, colocaremos las bujías para encendido electrónico, la bobina con sus respectivos cables de alta tensión y el sensor CAS.



Figura 3.63 Sistema de encendido instalado

- El sensor de velocidad lo instalaremos en la caja de transmisión del vehículo, justamente en el lugar que va acoplada la cadena del velocímetro.

- En el sistema de refrigeración, necesitaremos montar: el ventilador, el termostato, el sensor de temperatura del líquido refrigerante y el radiador. Acto seguido, acoplaremos las respectivas mangueras.
- Luego instalaremos el cableado del sistema de inyección electrónico, acoplándolo a todos los sensores y actuadores ya instalados y lo conectamos a la UCE, que estará situada en el compartimiento delantero derecho de los pasajeros.

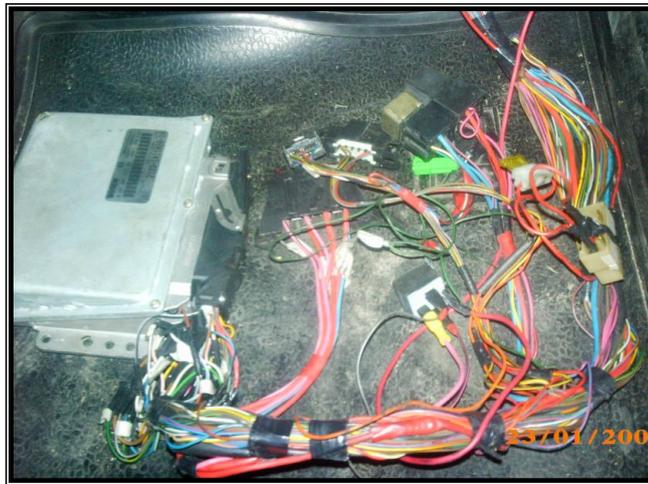


Figura 3.64 Instalación del cableado del Sistema de Inyección Electrónica

Finalmente conectaremos los sistemas originales de arranque y carga del motor.

IV. ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR LADA 2104

En el análisis del funcionamiento del motor con ambos sistemas, emplearemos máquinas que nos permitirán apreciar en forma gráfica y numérica los parámetros que necesitamos, determinando las curvas características y las emisiones de gases que se generan durante el funcionamiento del motor.

Para la obtención de las curvas características del motor, emplearemos el dinamómetro que se encuentra en el laboratorio de Motores de Combustión Interna del Campus Politécnico de la Escuela Politécnica del Ejército sede Sangolquí.



Figura 4.1 Dinamómetro con freno hidráulico

Este banco de pruebas nos proporciona datos que son imprescindibles para la determinación de las curvas características de los motores de combustión interna, como son:

- Torque del motor
- Depresión generada por la aspiración de los cilindros (h_o)
- Temperatura de los gases de escape
- Temperatura de ingreso y salida del líquido refrigerante.
- Consumo específico de combustible
- Amperímetro
- Voltímetro
- Manómetro de presión del aceite



Figura 4.2 Panel de control del dinamómetro

Debido a la edad del banco de pruebas, éste no cuenta con medidor de consumo de combustible para sistemas de inyección electrónica; por lo tanto,

para determinar el consumo específico de combustible, empleamos una balanza “romana” y un cronómetro.

Conjuntamente optamos por realizar la prueba en carretera, para verificar el incremento en las prestaciones, así como la disminución en el consumo de combustible.

En cuanto al análisis de gases, utilizaremos el Analizador de Gases Infrarrojo Computarizado *RAG Gascheck*, facilitado por la Carrera de Ingeniería Automotriz de la ESPE Sede Latacunga, ubicado en el Laboratorio de Mecánica de Patio.



Figura 4.3 Analizador de Gases Computarizado *Gascheck*

Los parámetros que este analizador determina son:

- Porcentaje de Monóxido de Carbono (CO)
- Porcentaje de Dióxido de Carbono (CO₂)
- Partes por millón de Hidrocarburos (HC)
- Porcentaje de Oxígeno (O₂)

- Partes por millón de Óxidos Nitrosos (NOx)
- Revoluciones por minuto
- Temperatura de los gases de escape
- Relación estequiométrica aire / combustible (AFR)

A continuación se muestra la pantalla principal del Analizador de Gases Computarizado *Gascheck*:



Figura 4.4 Pantalla principal del Analizador de Gases *Gascheck*

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS PREVIO LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA SECUENCIAL MPFI

La toma de datos se realizó bajo las siguientes condiciones de funcionamiento:

- **Aceleración:** 100%.
- **Temperatura ambiente:** 25 °C.
- **Temperatura del motor:** 60 °C.

4.1.1 Potencia

El dinamómetro nos proporciona el torque del motor, con lo cual podemos calcular la potencia al freno del motor con la siguiente fórmula:

$$Pf = Tq * \frac{2 * \pi * N}{60} \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

- Pf = potencia al freno, en W
- Tq = torque, en Nm
- N = velocidad de giro del motor, en r.p.m..

Con los datos obtenidos del dinamómetro, calculamos los valores de potencia en el rango de 1200 a 4000 RPM en intervalos de 200 RPM. A continuación mostramos el ejemplo de cálculo para la velocidad de 1200 r.p.m.

$$Pf = Tq * \frac{2 * \pi * N}{60}$$

$$Pf = 60(Nm) * \frac{2 * 3,1416 * 1200(rpm)}{60}$$

$$Pf = 7540W$$

Cabe recalcar que no fue posible realizar las pruebas a mayores revoluciones debido a las limitaciones del banco. A continuación se muestra la tabla de valores calculados para la potencia al freno.

Tabla IV.1 Potencia al freno con el sistema convencional

RPM	Tq (Nm)	Pf (kW)
1200	60,0	7,540
1400	61,0	8,943
1600	60,0	10,053
1800	59,5	11,215
2000	58,0	12,147
2200	61,5	14,169
2400	63,0	15,834
2600	62,5	17,017
2800	61,5	18,033
3000	60,0	18,850
3200	45,0	15,080
3400	41,0	14,598
3600	25,0	9,425
3800	20,0	7,959
4000	18,0	7,540

En la **Figura 4.5** se aprecia la curva de potencia al freno que se genera en el motor LADA 2104 con el sistema convencional.

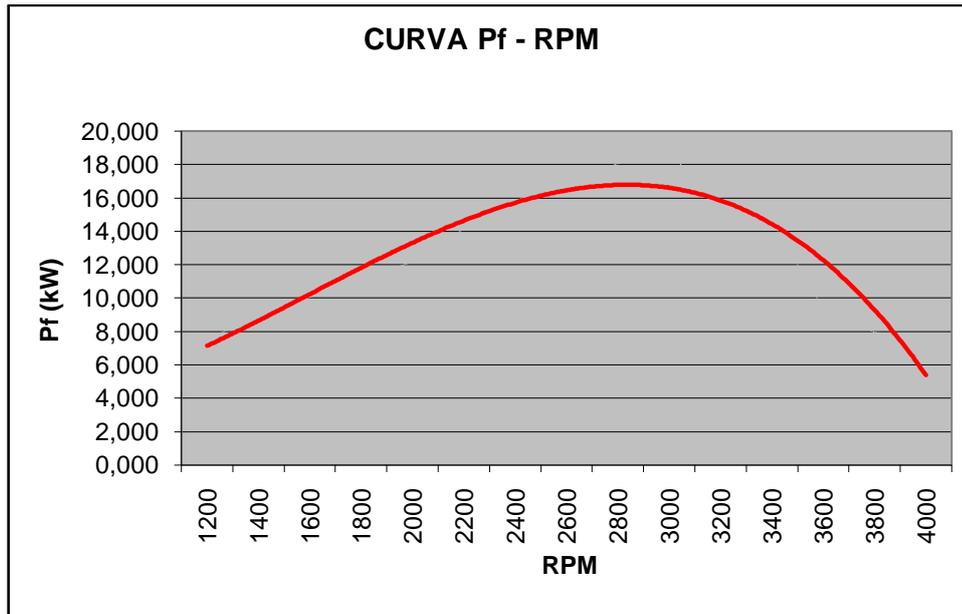


Figura 4.5 Curva de Potencia con el sistema convencional

Al analizar la curva de potencia, determinamos que ésta se va incrementando uniformemente con las r.p.m.; alcanzando la potencia máxima de 18,850 kW y se genera a las 3000 r.p.m; y como es característico en este tipo de sistema, posteriormente decae.

4.1.2 Torque

El banco de pruebas nos brinda una lectura directa del torque en Nm según las revoluciones generadas. Estos valores se encuentran en la **Tabla IV.2**.

Tabla IV.2 Torque con el sistema convencional

RPM	Tq (Nm)
1200	60,0
1400	61,0
1600	60,0
1800	59,5
2000	58,0
2200	61,5
2400	63,0
2600	62,5
2800	61,5
3000	60,0
3200	45,0
3400	41,0
3600	25,0
3800	20,0
4000	18,0

Trasladamos los datos del torque a una hoja de cálculo y obtenemos, como se muestra en la **Figura 4.6** la curva de torque del motor LADA 2104 con el sistema convencional.

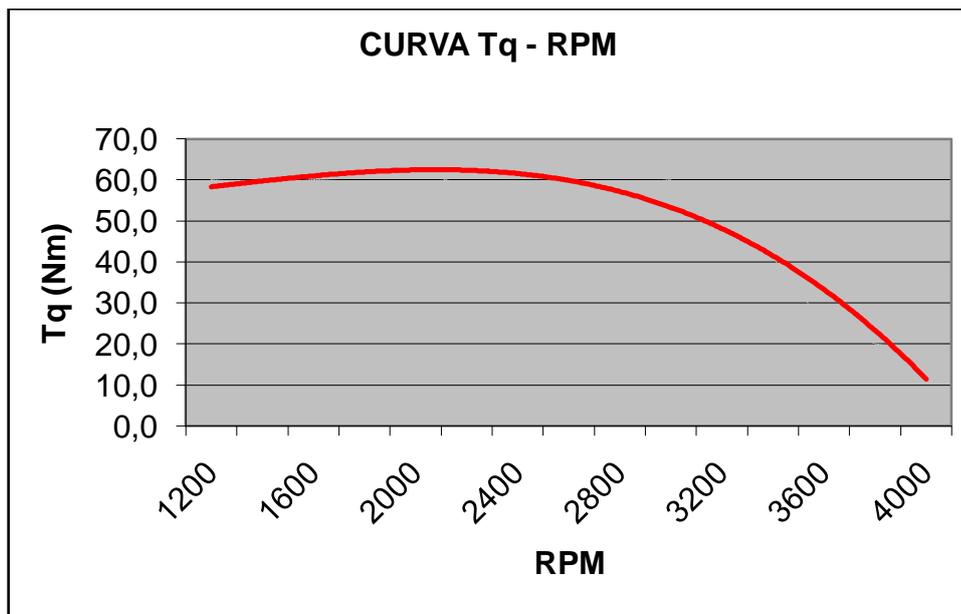


Figura 4.6 Curva de Torque con el sistema convencional

En la curva se aprecia que el motor alcanza un par considerable desde las 2000 y se mantiene casi constante hasta las 2600 r.p.m. donde alcanza el máximo de 63 Nm.



Figura 4.7 Lectura del torque máximo obtenido con el sistema convencional

4.1.3 Consumo específico de combustible

Para realizar esta prueba concurremos a un método práctico, con la ayuda del cronómetro y la balanza romana, la cual mantenía suspendido al tanque de combustible en el aire; y así nos permitió determinar el tiempo que se demora el motor en consumir $\frac{1}{2}$ kilogramo de combustible para cada número de revoluciones; es decir, determinamos el consumo másico de combustible (m_c), el cual transformamos a kg/hr. Una vez tomados los datos, procedimos a realizar el cálculo del consumo específico de combustible en kg/(kW*hr), con la siguiente fórmula:

$$CEC = \frac{mc}{Pf}$$

(Ec. 13)

Donde:

- CEC = consumo específico de combustible, en kg/(kW/hr).
- mc = Consumo másico de combustible, en kg/hr.
- Pf = Potencia al freno, en kW.

Ahora realizaremos el ejemplo de cálculo de Consumo Específico de Combustible para 4000 r.p.m.

$$CEC = \frac{mc}{Pf}$$
$$CEC = \frac{12,212(kg/hr)}{7,540(kW)}$$
$$CEC = 1,620 \frac{kg}{kW * hr}$$

A continuación se encuentran los datos tabulados de consumo másico de combustible y consumo específico de combustible, de acuerdo a las r.p.m. del motor.

Tabla IV.3 Consumo Específico de Combustible con el sistema convencional

RPM	mc (kg/hr)	CEC (kg/kW.hr)
1200	4,545	0,603
1400	4,597	0,514
1600	4,649	0,462
1800	4,597	0,410
2000	4,306	0,355
2200	5,082	0,359
2400	5,348	0,338
2600	5,528	0,325
2800	5,643	0,313
3000	6,294	0,334
3200	7,576	0,502
3400	6,706	0,459
3600	8,523	0,904
3800	11,688	1,469
4000	12,212	1,620

Una vez trasladados los datos a una hoja de cálculo, se obtuvo la curva del consumo específico de combustible, que se muestra en la **Figura 4.8**.

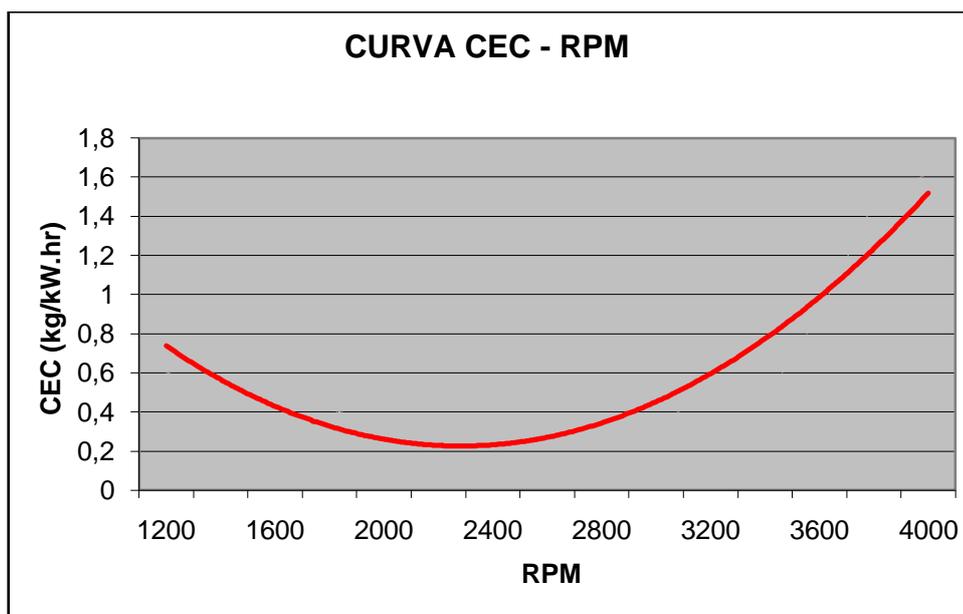


Figura 4.8 Curva del Consumo Específico de Combustible con el sistema convencional

Además realizamos la prueba de carretera, utilizando la vía que conecta las ciudades de Quito y Latacunga, empezando la prueba con el llenado del tanque en la gasolinera TEXACO ubicada en la Ciudadela “El Recreo” (Quito), finalizando en la gasolinera TRIPETROL “La Estación” (Latacunga), donde lo reabastecimos para así poder determinar la cantidad de combustible consumido al cabo de los 90 km de distancia que dura el recorrido.



Figura 4.9 Prueba de Carretera para Consumo de Combustible

La prueba de carretera Quito – Latacunga, con el sistema convencional, arrojó el siguiente resultado:

Tabla IV.4 Consumo de Combustible con el sistema convencional

Distancia (Km)	Consumo (gl)	Consumo Promedio (Km/Gl)
90	2,5	36

Este consumo promedio está dentro de los valores normales para un vehículo a carburador, cabe recalcar que además existen otros factores

externos que influyen en la disminución de este valor promedio, como son: la pendiente de la carretera, la altitud, la congestión vehicular, etc.

4.1.4 Emisiones de gases

Para realizar esta prueba, debemos poner en marcha el motor y esperar que éste alcance la temperatura óptima de funcionamiento. Posteriormente, introducir el elemento sensor de gases en el tubo de escape del vehículo y conectar el medidor de r.p.m. en la bujía del primer cilindro. Finalmente tomar los datos que aparecen en el programa.



Figura 4.10 Instalación del Analizador de gases

Los datos que obtuvimos por medio del analizador de gases *Gascheck* se muestran en la siguiente figura:

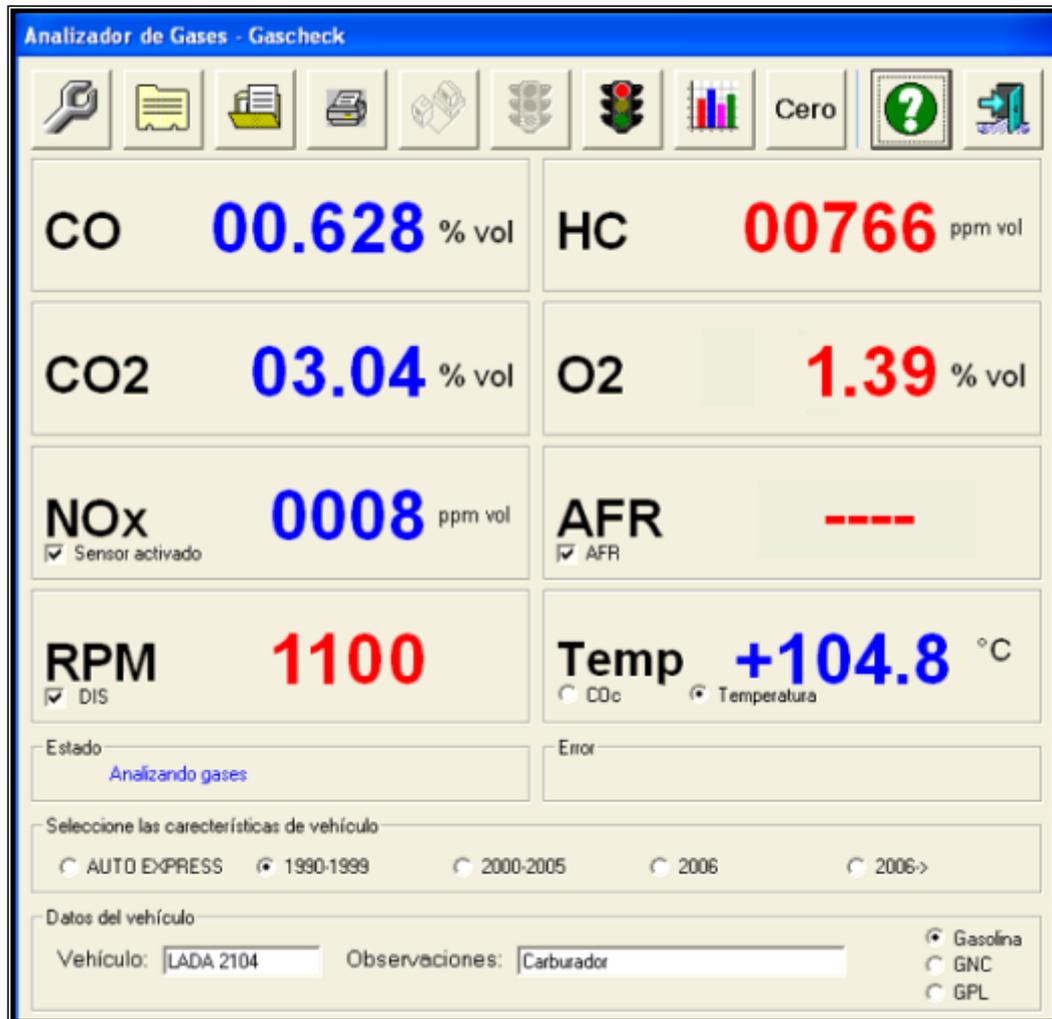


Figura 4.11 Resultados del análisis de gases con carburador

Como se aprecia, los valores obtenidos son un poco elevados, que nos indica que con este sistema se genera mayor contaminación.

4.1.5 Rendimiento volumétrico

El cálculo del rendimiento volumétrico (n_v) viene dado por la siguiente fórmula:

$$n_v = \frac{ma}{m_D} * 100\%$$

(Ec. 14)

Donde:

- n_v = rendimiento volumétrico, en porcentaje.
- ma = consumo másico de aire real, en kg/hr.
- m_D = consumo de aire teórico, en kg/hr.

Gracias a que el banco de pruebas cuenta con un manómetro de aire expresado en mmH₂O, pudimos apreciar la depresión que generan los cilindros en sus diversas revoluciones. Este dato nos servirá para determinar el consumo másico de aire real (ma).



Figura 4.12 Manómetro de Aire

La fórmula para el cálculo del consumo másico de aire real, es la siguiente:

$$ma = \frac{\pi * D^2}{4} * C * \sqrt{\frac{2 * C_1 * ho * Pa}{Ra * Ta}} * 3600 \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

- ma = Consumo másico de aire real, en kg/hr
- D = Diámetro del orificio de admisión: 0,055 [m]
- C = Coeficiente de descarga: 0,62
- C_1 = Constante referida al fluido del manómetro: 9,81 [(N/m²)/mmH₂O]
- ho = Altura del manómetro, en mmH₂O
- Pa = Presión atmosférica: 72927,336 Pa
- Ra = Constante del aire: 287 [Nm/(kg.°K)]
- Ta = Temperatura ambiente: 298 [°K]

A continuación, realizaremos un ejemplo de cálculo del consumo másico de aire real, a la velocidad de 3000 r.p.m.

$$ma = \frac{\pi * D^2}{4} * C * \sqrt{\frac{2 * C_1 * ho * Pa}{Ra * Ta}} * 3600$$

$$ma = \frac{3,1416 * (0,055m)^2}{4} * 0,62 * \sqrt{\frac{2(9,81 \frac{N}{mmH_2O}) (16,0mmH_2O) (72927,336Pa)}{(287 \frac{Nm}{kg \cdot ^\circ K}) * (298^\circ K)}} * 3600$$

$$ma = 88,956 \frac{kg}{hr}$$

Ahora debemos calcular el consumo teórico de masa de aire. No tenemos una fórmula directa para este efecto; sin embargo poseemos la ecuación que nos permite conocer el volumen de aire teórico contenido en el motor a un determinado régimen de giro. Esta ecuación es:

$$V_D = n * \frac{\pi * D^2}{4} * L * \frac{N}{60 * k2} * 3600 \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde:

- V_D = volumen de aire teórico consumido por en el motor, en m^3/hr
- n = número de cilindros del vehículo
- D = diámetro del cilindro, en m
- L = carrera del pistón, en m
- N = revoluciones a las que gira el motor, en r.p.m.
- $k2 = 2$, por ser el motor de 4 tiempos

Para la velocidad de 3000 r.p.m., el volumen de aire teórico contenido en el motor será:

$$V_D = n * \frac{\pi * D^2}{4} * L * \frac{N}{60 * k2} * 3600$$

$$V_D = 4 * \frac{\pi * (0,078m)^2}{4} * (0,080m) * \frac{3000}{60 * 2} * 3600$$

$$V_D = 137,61 \frac{m^3}{hr}$$

Una vez conocido esto podemos calcular la masa de aire teórica (m_a) contenida en el cilindro por medio de la densidad del aire, despejando de la siguiente fórmula:

$$\boxed{\rho_{aire} = \frac{m_D}{V_D}} \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde:

- ρ_{aire} = densidad del aire: 0,88 [kg/m³]
- m_D = consumo másico de aire teórico, en kg/hr
- V_D = volumen de aire teórico consumido, en m³/hr

Entonces el consumo másico de aire teórico será:

$$\begin{aligned}\rho_{aire} &= \frac{m_D}{V_D} \\ m_D &= \rho_{aire} * V_D \\ m_D &= \left(0,88 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(137,61 \frac{m^3}{hr}\right) \\ m_D &= 121,10 \frac{kg}{hr}\end{aligned}$$

Ahora ya podemos calcular el rendimiento volumétrico para el motor LADA a 3000 r.p.m., reemplazando los valores obtenidos en la **Ec. 14**.

$$n_v = \frac{ma}{m_D} * 100\%$$

$$n_v = \frac{88,956 \frac{kg}{hr}}{121,10 \frac{kg}{hr}} * 100\%$$

$$n_v = 73,46\%$$

En la **Tabla IV.5** podemos observar los valores de rendimiento volumétrico del motor LADA 2104.

Tabla IV.5 Rendimiento Volumétrico con el sistema convencional

RPM	ma (kg/hr)	m_D (m³/hr)	n_v (%)
1200	35,163	48,44	72,59
1400	44,478	56,51	78,71
1600	52,155	64,59	80,75
1800	56,698	72,66	78,03
2000	62,901	80,74	77,91
2200	68,545	88,81	77,18
2400	73,758	96,88	76,13
2600	77,038	104,96	73,40
2800	84,683	113,03	74,92
3000	88,956	121,10	73,46
3200	91,693	129,18	70,98
3400	93,032	137,29	67,76
3600	95,653	145,32	65,82
3800	96,937	153,40	63,19
4000	99,456	161,47	61,59

Los datos fueron trasladados a una hoja de cálculo y se muestran gráficamente en la **Figura 4.13**.

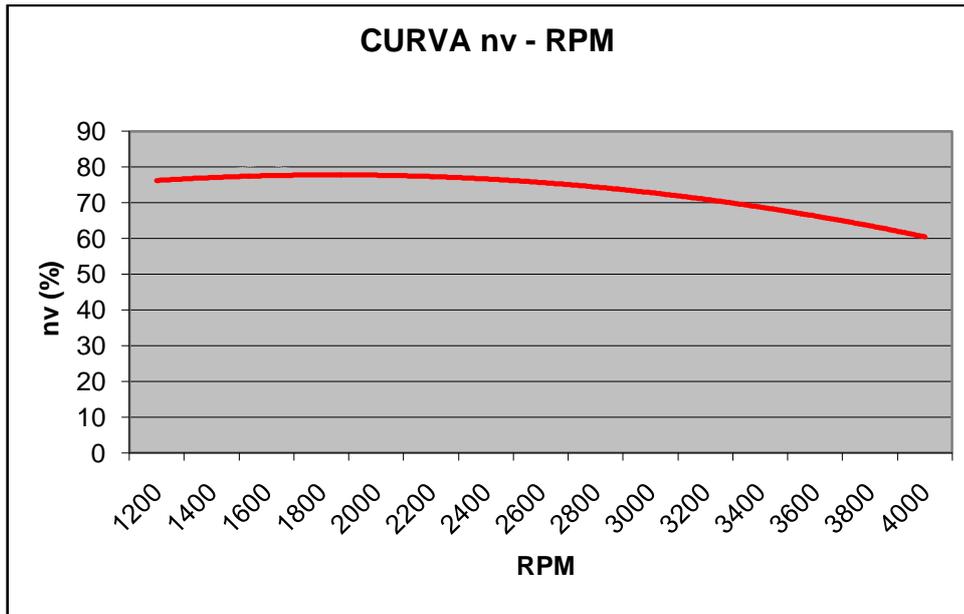


Figura 4.13 Curva del Rendimiento Volumétrico con el sistema convencional

Observamos que la mayor eficiencia se obtiene en bajas revoluciones, donde se aproxima al 80%; mientras que a medida que las revoluciones del motor aumentan, la eficiencia se reduce casi al 60%.

4.1.6 Rendimiento térmico

El rendimiento térmico de un motor indica, el grado de aprovechamiento del poder calórico del combustible, al desarrollar una unidad de potencia. La fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$n_t = \frac{Pf}{mc * Q_{neto}} * 3600 * 100\% \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

- n_t = rendimiento térmico, en porcentaje
- Pf = potencia al freno, en kW
- mc = consumo másico de combustible, en kg/hr
- Q_{neto} = poder calórico de la gasolina: 44186 [J/g]

En esta ecuación, 3600 es un factor de conversión para dejar todo en un mismo sistema de unidades. A continuación mostraremos un ejemplo de cálculo de rendimiento térmico a 2000 r.p.m.

Los datos que necesitamos para realizar este cálculo se encuentran en las tablas anteriores de este mismo capítulo. Reemplazando sus valores, tenemos:

$$n_t = \frac{Pf}{mc * Q_{neto}} * 3600 * 100\%$$

$$n_t = \frac{12,147kW}{4,306 \frac{kg}{hr} * 44186 \frac{J}{g}} * 3600 * 100\%$$

$$n_t = 22,98\%$$

Una vez realizados los cálculos, los valores tabulados son los siguientes:

Tabla IV.6 Rendimiento térmico con el sistema convencional

RPM	η_t (%)
1200	13,51
1400	15,85
1600	17,62
1800	19,88
2000	22,98
2200	22,72
2400	24,12
2600	25,08
2800	26,04
3000	24,40
3200	16,22
3400	17,73
3600	9,01
3800	5,55
4000	5,03

Ahora, estos valores los trasladaremos a un gráfico, donde podremos comprender y analizar de mejor manera los resultados.

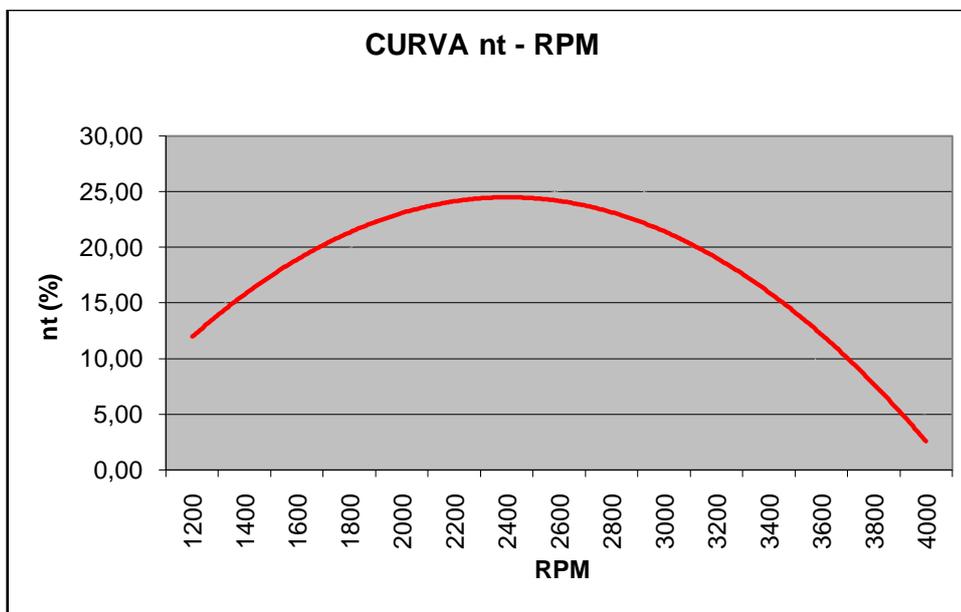


Figura 4.14 Curva del Rendimiento Térmico con el sistema convencional

Observamos que la curva es de tipo parabólico, y alcanza su rendimiento térmico máximo a las 2800 r.p.m., donde alcanza un valor de 26,04%.

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS UNA VEZ IMPLEMENTADO EL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA SECUENCIAL MPFI

4.2.1 Potencia

La potencia al freno la obtenemos con la ayuda de la **Ec. 12**. Reemplazando los datos, para 1200 r.p.m., tenemos:

$$Pf = Tq * \frac{2 * \pi * N}{60}$$

$$Pf = 65,5(Nm) * \frac{2 * 3,1416 * 1200(rpm)}{60}$$

$$Pf = 8231W$$

Los valores de potencia correspondientes a los diferentes rangos de velocidad del motor se muestran en la siguiente tabla:

Tabla IV.7 Potencia al freno con el sistema MPFI

RPM	Tq (Nm)	Pf (kW)
1200	65,5	8,231
1400	68,0	9,969
1600	67,5	11,310
1800	66,5	12,535
2000	64,0	13,404
2200	63,5	14,629
2400	63,0	15,834
2600	65,0	17,698
2800	65,5	19,206
3000	64,0	20,106
3200	63,0	21,112
3400	62,5	22,253
3600	62,0	23,373
3800	61,5	24,473
4000	60,0	25,133

En la **Figura 4.15** se aprecia la curva de potencia al freno del motor LADA 2104 con el sistema de inyección electrónica.

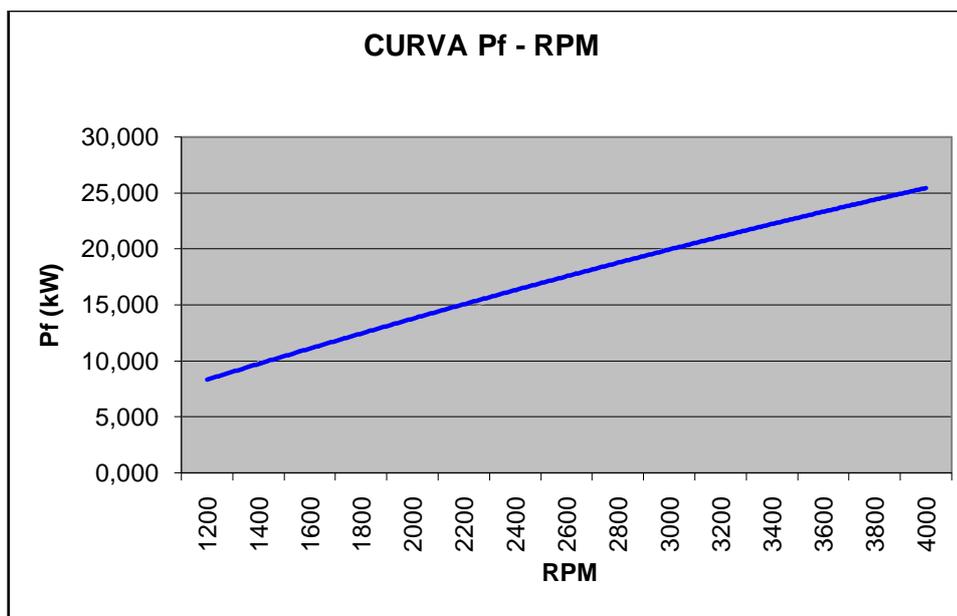


Figura 4.15 Curva de Potencia con el sistema MPFI

Al analizar la curva de potencia, observamos que ésta se va incrementando uniformemente con las r.p.m.; pero debido a las limitaciones del banco no se pudo determinar la potencia máxima del motor.

4.2.2 Torque

Puesto que el banco nos ofrece una lectura directa del torque, sólo necesitamos trasladar los valores correspondientes a una tabla.

Tabla IV.8 Torque con el sistema MPFI

RPM	Tq (Nm)
1200	65,5
1400	68,0
1600	67,5
1800	66,5
2000	64,0
2200	63,5
2400	63,0
2600	65,0
2800	65,5
3000	64,0
3200	63,0
3400	62,5
3600	62,0
3800	61,5
4000	60,0

En la **Figura 4.16** se aprecia la curva de torque que genera el motor LADA 2104 con el sistema de inyección electrónica.

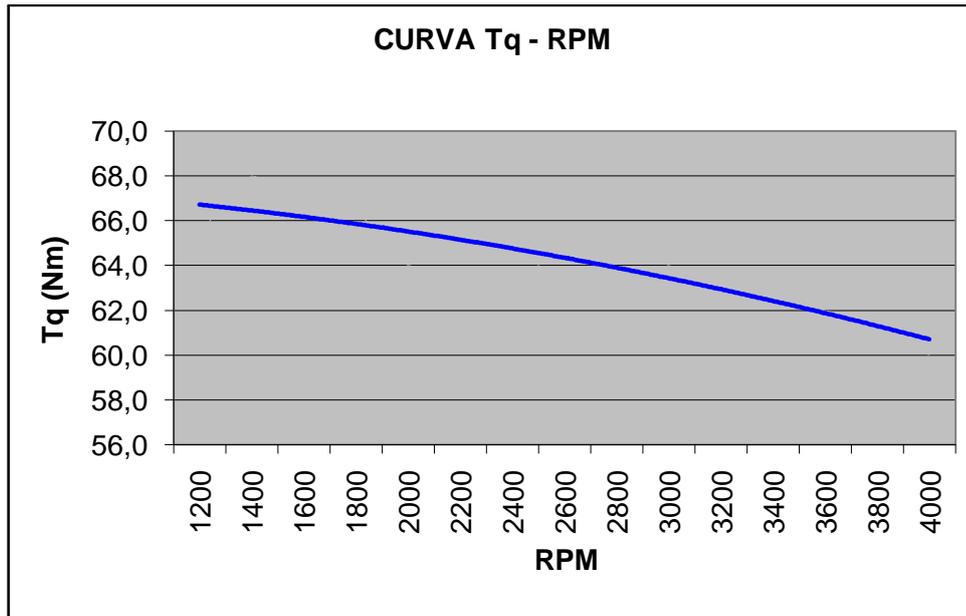


Figura 4.16 Curva de Torque con el sistema MPFI

En la curva se aprecia que el motor alcanza un par considerable a bajas revoluciones, obteniéndose el valor máximo de 68 Nm a las 1400 r.p.m; luego de lo cual se presenta una leve disminución del torque con el incremento de las r.p.m.



Figura 4.17 Lectura del torque máximo obtenido con el sistema MPFI

4.2.3 Consumo específico de combustible

Como se explicó anteriormente, nosotros pudimos obtener el consumo másico de combustible. Por lo tanto, sólo necesitamos reemplazar los valores en la **Ec. 13** para determinar el Consumo Específico de Combustible. A continuación mostraremos el ejemplo de cálculo para 4000 r.p.m.

$$CEC = \frac{mc}{Pf}$$

$$CEC = \frac{10,909(kg/hr)}{25,133(kW)}$$

$$CEC = 0,434 \frac{kg}{kW*hr}$$

Una vez hechos los cálculos correspondientes, los resultados se muestran tabulados a continuación.

Tabla IV.9 Consumo Específico de Combustible con el sistema MPFI

RPM	mc (kg/hr)	CEC (kg/kW.hr)
1200	3,209	0,390
1400	3,286	0,330
1600	3,340	0,295
1800	3,482	0,278
2000	3,753	0,280
2200	4,196	0,287
2400	4,423	0,279
2600	6,061	0,342
2800	6,442	0,335
3000	5,455	0,271
3200	6,818	0,323
3400	7,576	0,340
3600	8,182	0,350
3800	9,740	0,398
4000	10,909	0,434

De la **Tabla IV.9** se obtiene la siguiente gráfica.

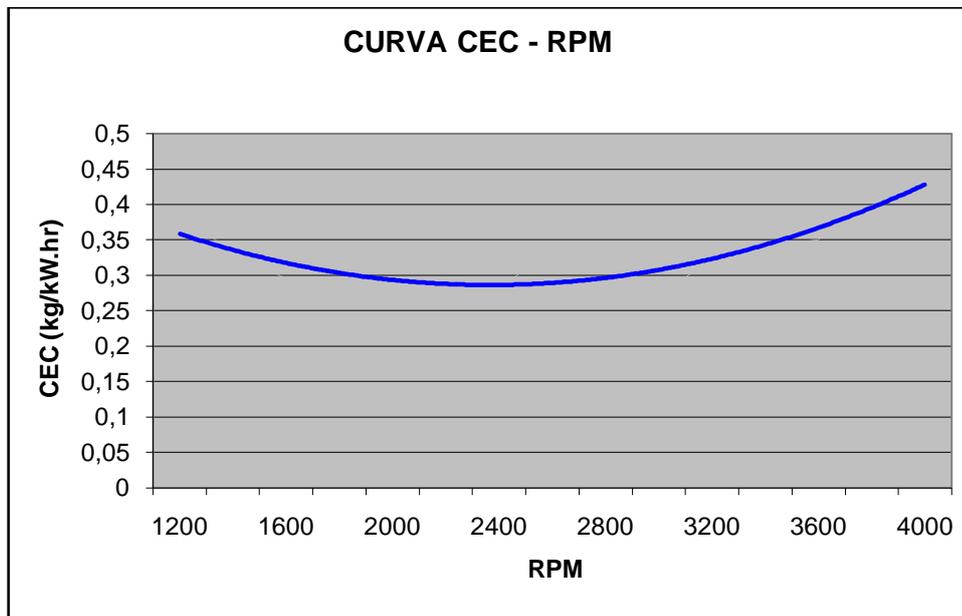


Figura 4.18 Curva del Consumo Específico de Combustible

Se observa que el consumo específico de combustible, en general, es bajo; existiendo el mínimo consumo aproximadamente a las 2400 r.p.m.

La prueba de carretera Quito – Latacunga, con el sistema de inyección electrónica de combustible, arrojó el siguiente resultado:

Tabla IV.10 Consumo de Combustible con el sistema MPFI

Distancia (Km)	Consumo (gl)	Consumo Promedio (Km/gl)
90	2,0	45

Este consumo promedio está dentro de los valores normales para un vehículo con inyección electrónica, ya que según el manual del fabricante el

consumo ideal es de 50 km/gl, para lo cual se debe tomar las consideraciones anteriormente mencionadas.

4.2.4 Emisiones de gases

Los datos que obtuvimos por medio del analizador de gases *Gascheck* se muestran en la siguiente figura:

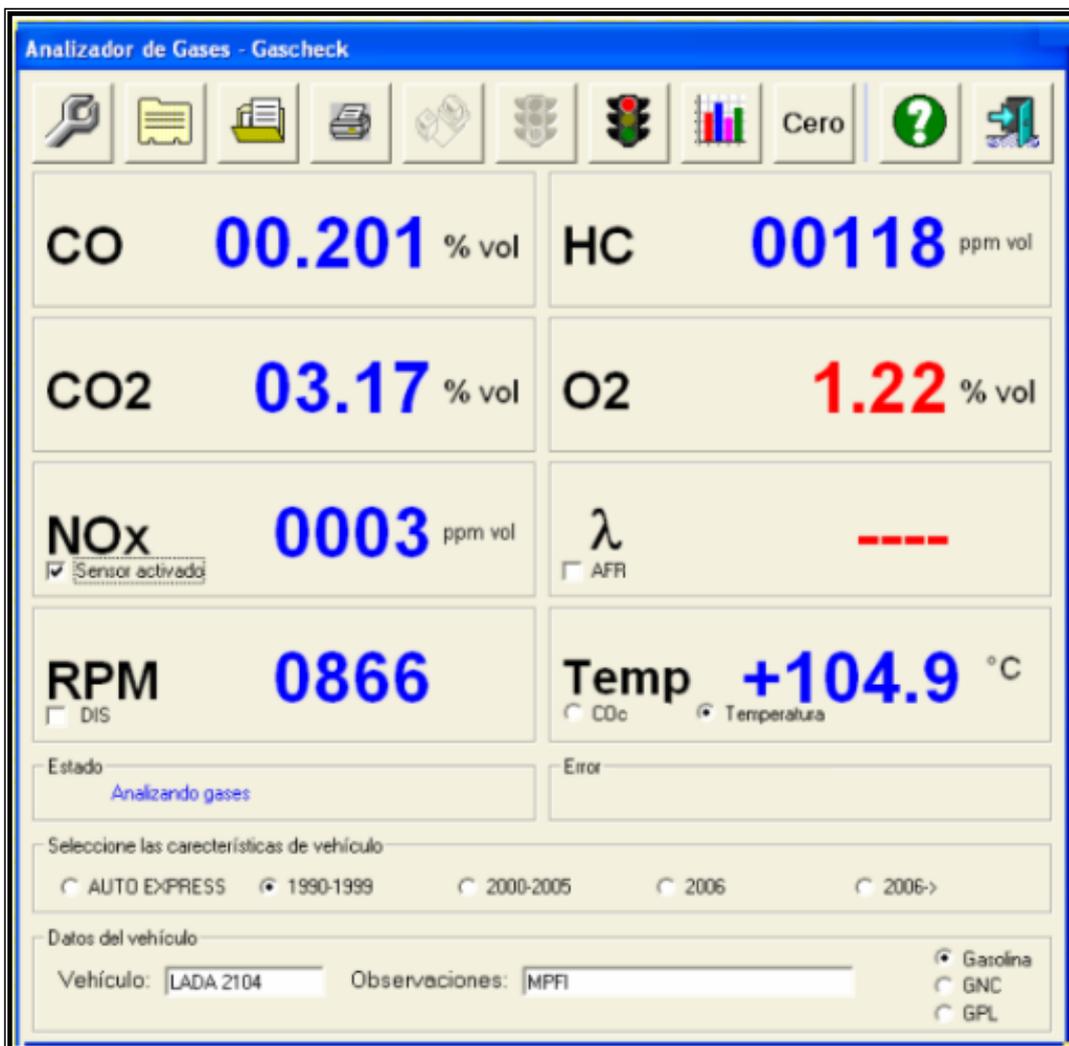


Figura 4.19 Resultados del análisis de gases con inyección electrónica

4.2.5 Rendimiento volumétrico

En el numeral 4.1.5 se mostró paso a paso la manera de calcular el rendimiento volumétrico; por lo tanto a continuación realizaremos el ejemplo de cálculo para 3000 r.p.m. reemplazando directamente los valores obtenidos con el sistema de inyección electrónica en las fórmulas.

$$ma = \frac{\pi * D^2}{4} * C * \sqrt{\frac{2 * C_1 * h_o * Pa}{Ra * Ta}} * 3600$$

$$ma = \frac{3,1416 * (0,055m)^2}{4} * 0,62 * \sqrt{\frac{2(9,81 \frac{m^2}{mmH_2O})(20,5mmH_2O)(72927,336Pa)}{(287 \frac{Nm}{kg \cdot K}) * (298^\circ K)}} * 3600$$

$$ma = 100,691 \frac{kg}{hr}$$

$$V_D = n * \frac{\pi * D^2}{4} * L * \frac{N}{60 * k2} * 3600$$

$$V_D = 4 * \frac{\pi * (0,078m)^2}{4} * (0,080m) * \frac{3000}{60 * 2} * 3600$$

$$V_D = 137,61 \frac{m^3}{hr}$$

$$\rho_{aire} = \frac{m_D}{V_D}$$

$$m_D = \rho_{aire} * V_D$$

$$m_D = (0,88 \frac{kg}{m^3}) * (137,61 \frac{m^3}{hr})$$

$$m_D = 121,10 \frac{kg}{hr}$$

$$n_v = \frac{m_a}{m_D} * 100\%$$

$$n_v = \frac{100,691 \frac{kg}{hr}}{121,10 \frac{kg}{hr}} * 100\%$$

$$n_v = 83,14\%$$

En la **Tabla IV.11** se encuentran los valores de rendimiento volumétrico para cada número de revoluciones.

Tabla IV.11 Rendimiento Volumétrico con el sistema MPFI

RPM	ma (kg/hr)	m_D (kg/hr)	n_v %
1200	35,163	48,44	72,59
1400	44,478	56,51	78,71
1600	52,155	64,59	80,75
1800	56,968	72,66	78,40
2000	62,901	80,74	77,91
2200	70,326	88,81	79,19
2400	77,038	96,88	79,52
2600	86,131	104,96	82,06
2800	94,352	113,03	83,48
3000	100,691	121,1	83,15
3200	105,489	129,18	81,66
3400	112,301	137,29	81,80
3600	122,819	145,32	84,52
3800	129,67	153,4	84,53
4000	137,09	161,47	84,90

Trasladando estos valores a una gráfica, obtenemos la **Figura 4.20**.

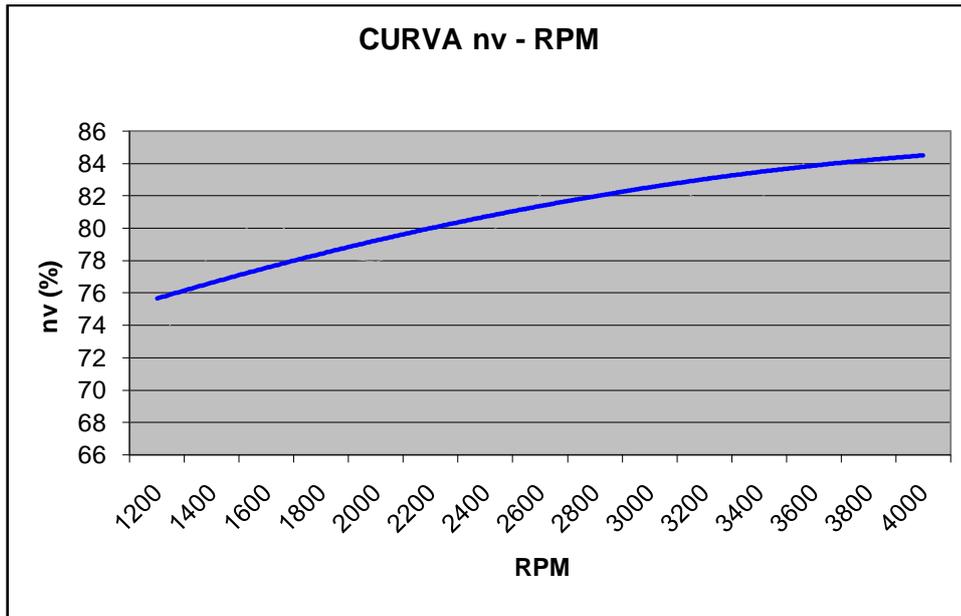


Figura 4.20 Curva del Rendimiento Volumétrico con el sistema MPFI

Observamos que el rendimiento se incrementa casi uniformemente con el aumento de las revoluciones.

4.2.6 Rendimiento térmico

El rendimiento térmico será calculado con la ayuda de la **Ec. 18**. Con valores previamente obtenidos, haremos el correspondiente reemplazo para determinar el rendimiento térmico para el sistema de inyección electrónica a la velocidad de 2000 r.p.m.

$$n_t = \frac{Pf}{mc * Q_{neto}} * 3600 * 100\%$$

$$n_t = \frac{13,404kW}{3,753 \frac{kg}{hr} * 44186 \frac{J}{g}} * 3600 * 100\%$$

$$n_t = 29,10\%$$

En la **Tabla IV.12** podemos observar los valores de rendimiento térmico del motor LADA 2104 con el sistema de inyección electrónica.

Tabla IV.12 Rendimiento Térmico con el sistema MPFI

RPM	η_t (%)
1200	20,90
1400	24,72
1600	27,59
1800	29,33
2000	29,10
2200	28,41
2400	29,17
2600	23,79
2800	24,29
3000	30,03
3200	25,23
3400	23,93
3600	23,27
3800	20,47
4000	18,77

Una vez trasladados los datos a una hoja de cálculo, se obtuvo la curva de rendimiento térmico para el sistema MPFI, que se muestra en la **Figura 4.21**.

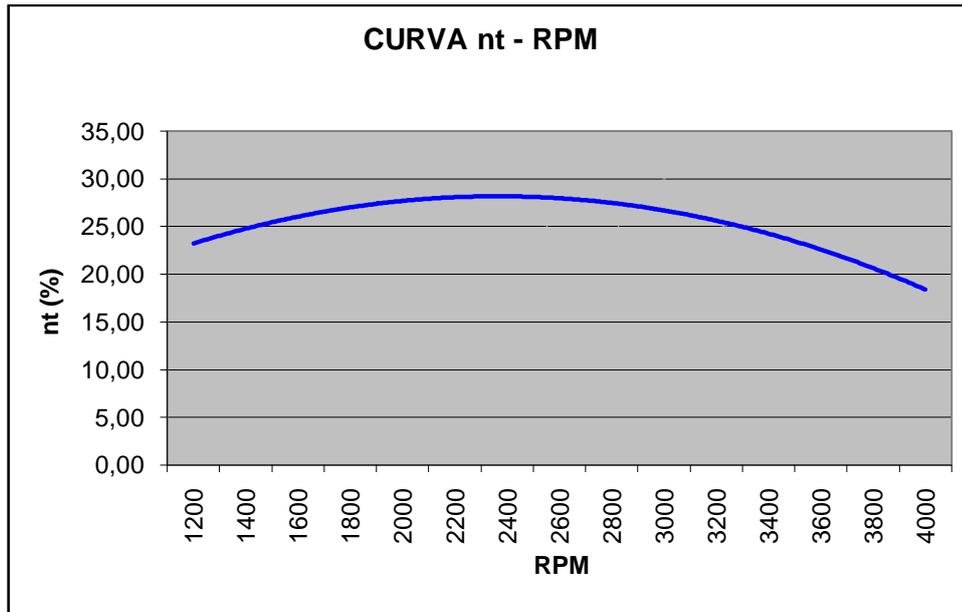


Figura 4.21 Curva del Rendimiento Térmico con el sistema MPFI

Fácilmente se observa que los mayores valores de rendimiento térmico se obtienen en rangos de medias revoluciones.

4.3 COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE DESEMPEÑO RESULTANTES ENTRE AMBOS SISTEMAS

Para una mejor visualización de los resultados obtenidos, incluiremos gráficas comparativas en las que se encuentren las curvas de desempeño, tanto del sistema convencional como del sistema de inyección electrónica. También se colocarán sus correspondientes datos numéricos en tablas.

4.3.1 Potencia

La **Tabla IV.13** muestra los valores de potencia calculados para el sistema convencional (CONV.) y para el sistema de inyección electrónica (MPFI).

Tabla IV.13 Potencia al freno

RPM	CONV. (kW)	MPFI (kW)
1200	7,540	8,231
1400	8,943	9,969
1600	10,053	11,310
1800	11,215	12,535
2000	12,147	13,404
2200	14,169	14,629
2400	15,834	15,834
2600	17,017	17,698
2800	18,033	19,206
3000	18,850	20,106
3200	15,080	21,112
3400	14,598	22,253
3600	9,425	23,373
3800	7,959	24,473
4000	7,540	25,133

Observamos que la mayor potencia del sistema convencional es de 18,850 kW @ 3000 r.p.m. mientras que con la implementación del sistema de inyección MPFI, la potencia alcanzada es de 25,133 kW @ 4000 r.p.m.; que muy probablemente no sea la potencia máxima, ya que por limitaciones del banco no se pudo obtener datos a mayores revoluciones.

En la **Figura 4.22** observamos estos valores trasladados a una gráfica en forma de curvas de tendencia, que nos permiten analizar de mejor forma los resultados.

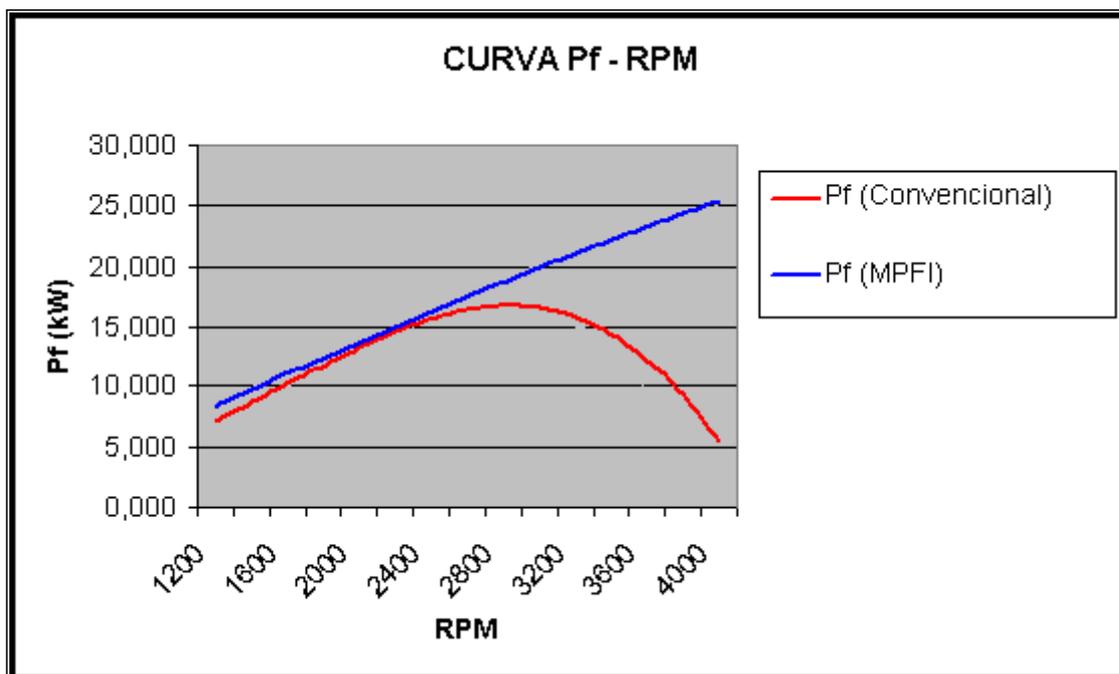


Figura 4.22 Curvas de Potencia al freno

Se puede apreciar claramente la diferencia de potencia que representa la sustitución del sistema convencional por un sistema de inyección electrónica MPFI; especialmente en el intervalo medias a altas revoluciones. Observamos que con el sistema convencional la potencia decae vertiginosamente en altas revoluciones, mientras que con el sistema de inyección electrónica ésta sigue incrementándose.

4.3.2 Torque

La **Tabla IV.14** muestra los valores de torque obtenidos directamente del banco de pruebas; tanto para el sistema convencional (CONV.) como para el sistema de inyección electrónica (MPFI).

Tabla IV.14 Torque

RPM	CONV. (Nm)	MPFI (Nm)
1200	60,0	65,5
1400	61,0	68,0
1600	60,0	67,5
1800	59,5	66,5
2000	58,0	64,0
2200	61,5	63,5
2400	63,0	63,0
2600	62,5	65,0
2800	61,5	65,5
3000	60,0	64,0
3200	45,0	63,0
3400	41,0	62,5
3600	25,0	62,0
3800	20,0	61,5
4000	18,0	60,0

Se observa que el torque máximo del sistema convencional es de 63,0 Nm @ 2400 r.p.m. mientras que con la implementación del sistema de inyección MPFI, el torque máximo asciende a 68,0 Nm @ 1400 r.p.m.

Estos valores, una vez trasladados a una gráfica y en forma de líneas de tendencia, permitirán un mejor análisis de los resultados. Esta gráfica se observa en la **Figura 4.23**.

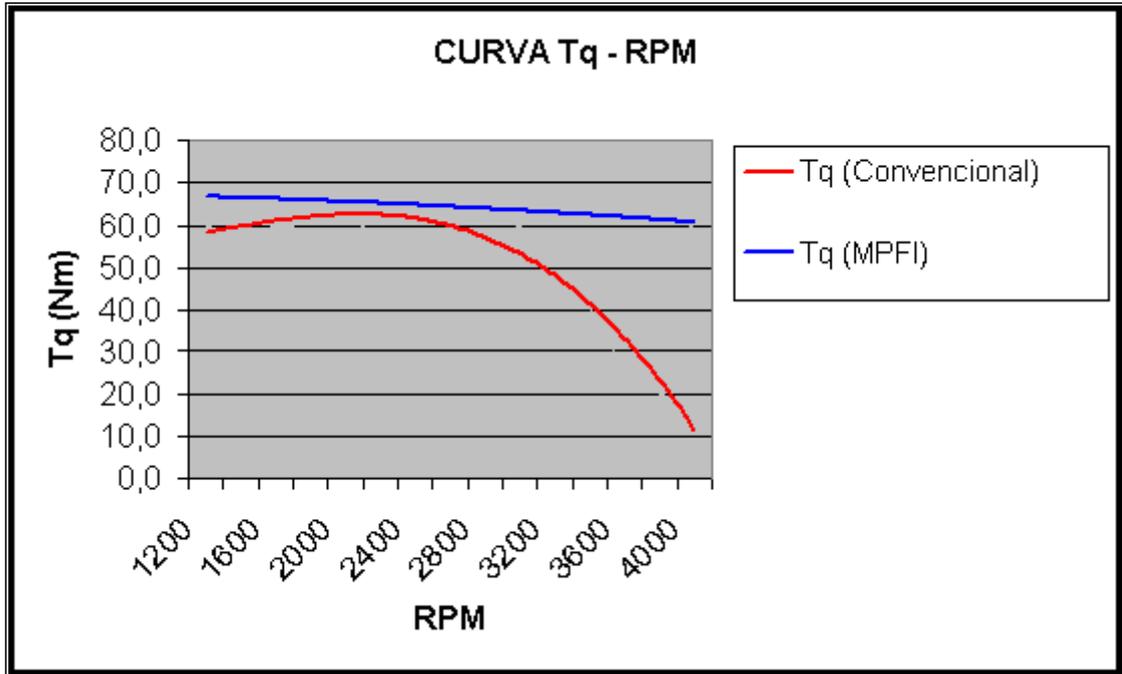


Figura 4.23 Curvas de Torque

De la misma manera, con la implementación del sistema de inyección electrónica, observamos que el torque tiende a mantenerse constante en casi cualquier número de revoluciones; mientras que con el sistema convencional el torque disminuye bruscamente en altas revoluciones.

4.3.3 Consumo específico de combustible

La **Tabla IV.15** muestra los valores de consumo específico de combustible, que fueron calculados para el sistema convencional (CONV.) y para el sistema de inyección electrónica (MPFI).

Tabla IV.15 Consumo Específico de Combustible

RPM	CONV. (kg/kW.hr)	MPFI (kg/kW.hr)
1200	0,603	0,390
1400	0,514	0,330
1600	0,462	0,295
1800	0,410	0,278
2000	0,355	0,280
2200	0,359	0,287
2400	0,338	0,279
2600	0,325	0,342
2800	0,313	0,335
3000	0,334	0,271
3200	0,502	0,323
3400	0,459	0,340
3600	0,904	0,350
3800	1,469	0,398
4000	1,620	0,434

Observamos que el menor valor de consumo específico de combustible, en el sistema convencional es de 0,313 kg/kW.hr @ 2800 r.p.m. mientras que con la implementación del sistema de inyección MPFI, el consumo específico mínimo es de 0,271 kg/kW.hr @ 3000 r.p.m.

A continuación, para tener una mejor idea desde el punto de vista comparativo, se mostrará la gráfica con líneas de tendencia de los valores representados en la **Tabla IV.15**.

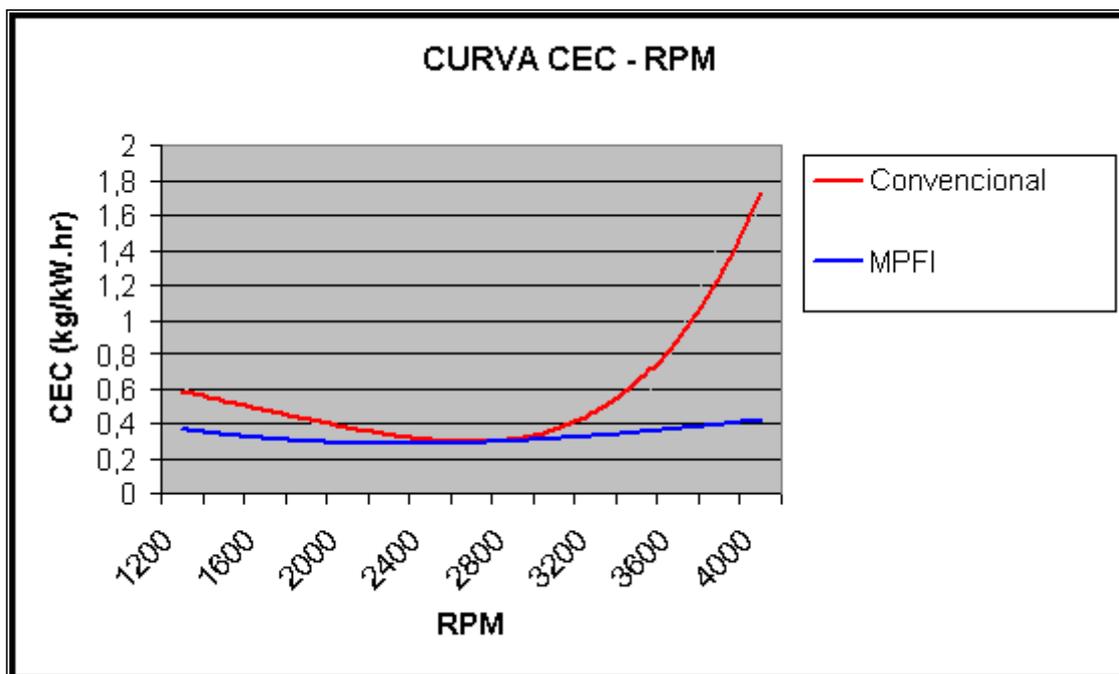


Figura 4.24 Curvas del Consumo Específico de Combustible

Como observamos en la figura, a bajas revoluciones la diferencia de consumo no es demasiado significativo; y en medias revoluciones la diferencia es casi nula; sin embargo luego de este punto, la diferencia empieza a incrementarse; ya que con el sistema MPFI el consumo específico de combustible casi permanece constante en todo el rango de revoluciones; mientras que el sistema convencional requiere de una mayor cantidad de combustible a altas revoluciones pero no mantiene su potencia.

También incluiremos a continuación los resultados de la prueba de carretera, que nos permitirá determinar el consumo efectivo de combustible.

Tabla IV.16 Consumo de Combustible en carretera

CONVENCIONAL (Km/g)	MPFI (Km/g)
36	45

Claramente se observa que con el sistema convencional podemos recorrer 9 kilómetros menos con un galón de combustible, lo que significa que el ahorro al implementar el sistema de inyección electrónica es significativo.

4.3.4 Rendimiento Volumétrico

La **Tabla IV.17** muestra los valores de rendimiento volumétrico para el sistema convencional (CONV.) y para el sistema de inyección electrónica (MPFI).

Tabla IV.17 Rendimiento Volumétrico

RPM	CONV. (%)	MPFI (%)
1200	72,59	72,59
1400	78,71	78,71
1600	80,75	80,75
1800	78,03	78,40
2000	77,91	77,91
2200	77,18	79,19
2400	76,13	79,52
2600	73,40	82,06
2800	74,92	83,48
3000	73,46	83,15
3200	70,98	81,66
3400	67,76	81,80
3600	65,82	84,52
3800	63,19	84,53
4000	61,59	84,90

Se observa que el rendimiento volumétrico con sistema convencional alcanza un máximo de 80,75% @ 1600 r.p.m. mientras que con la implementación del sistema de inyección MPFI, el rendimiento volumétrico mayor que se obtiene es del 84,90% @ 4000 r.p.m. Igual que sucedió con los

valores de la potencia, no sabemos si este valor es el máximo, ya que no pudimos obtener los datos para mayores revoluciones.

A continuación se muestran estos datos, pero gráficamente y en forma de líneas de tendencia.

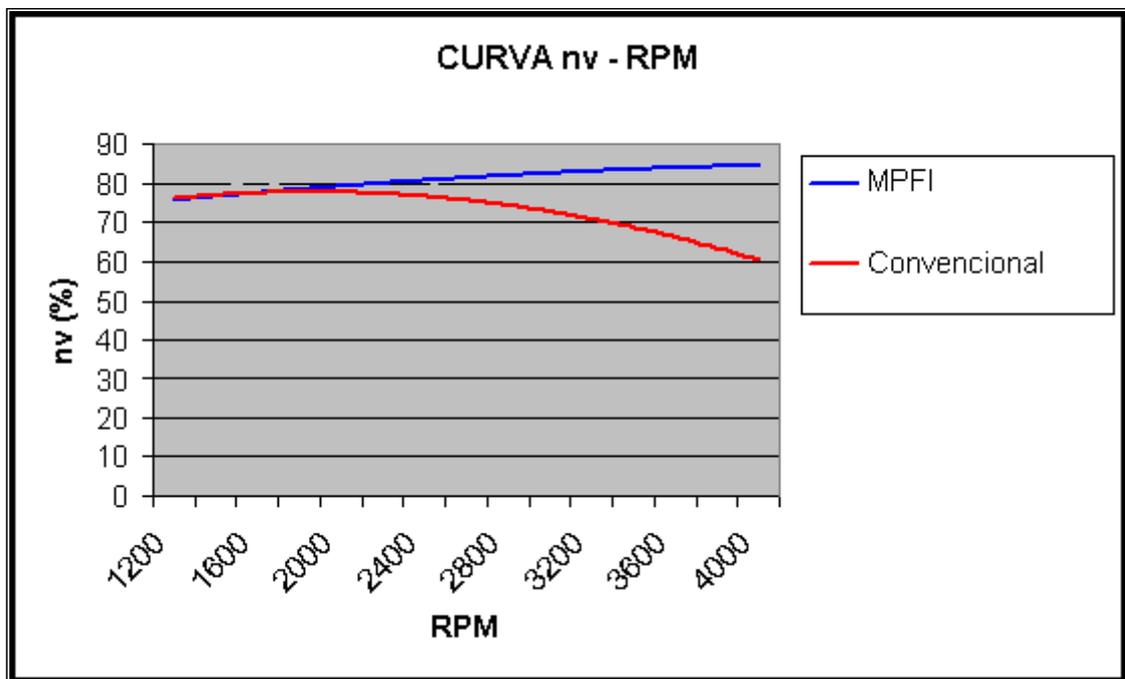


Figura 4.25 Curvas del Rendimiento Volumétrico

En la figura se aprecia que inicialmente ambos sistemas permiten el mismo nivel de llenado a los cilindros; sin embargo con el aumento de las r.p.m. observamos una cada vez más marcada diferencia entre el rendimiento volumétrico que ofrecen estos dos sistemas. Esto nos indica que existe un mejor flujo dinámico del aire en el interior de los conductos al haber sido reemplazado el colector de admisión, ya que esto ha permitido un mejor llenado de los cilindros.

4.3.4 Rendimiento térmico

En la tabla que se mostrará a continuación tendremos los datos calculados de rendimiento térmico para el sistema convencional (CONV.) y para el sistema de inyección electrónica (MPFI).

Tabla IV.18 Rendimiento Térmico

RPM	CONV. (%)	MPFI (%)
1200	13,51	20,90
1400	15,85	24,72
1600	17,62	27,59
1800	19,88	29,33
2000	22,98	29,10
2200	22,72	28,41
2400	24,12	29,17
2600	25,08	23,79
2800	26,04	24,29
3000	24,40	30,03
3200	16,22	25,23
3400	17,73	23,93
3600	9,01	23,27
3800	5,55	20,47
4000	5,03	18,77

Observamos que el mayor valor de rendimiento térmico que alcanza el sistema convencional llega al 26,04% @ 2800 r.p.m. mientras que con la implementación del sistema de inyección MPFI, se alcanza un rendimiento térmico del 30,03% @ 3000 r.p.m.

A continuación, se muestra el gráfico con líneas de tendencia de los valores que se encuentran en la **Tabla IV.18**.

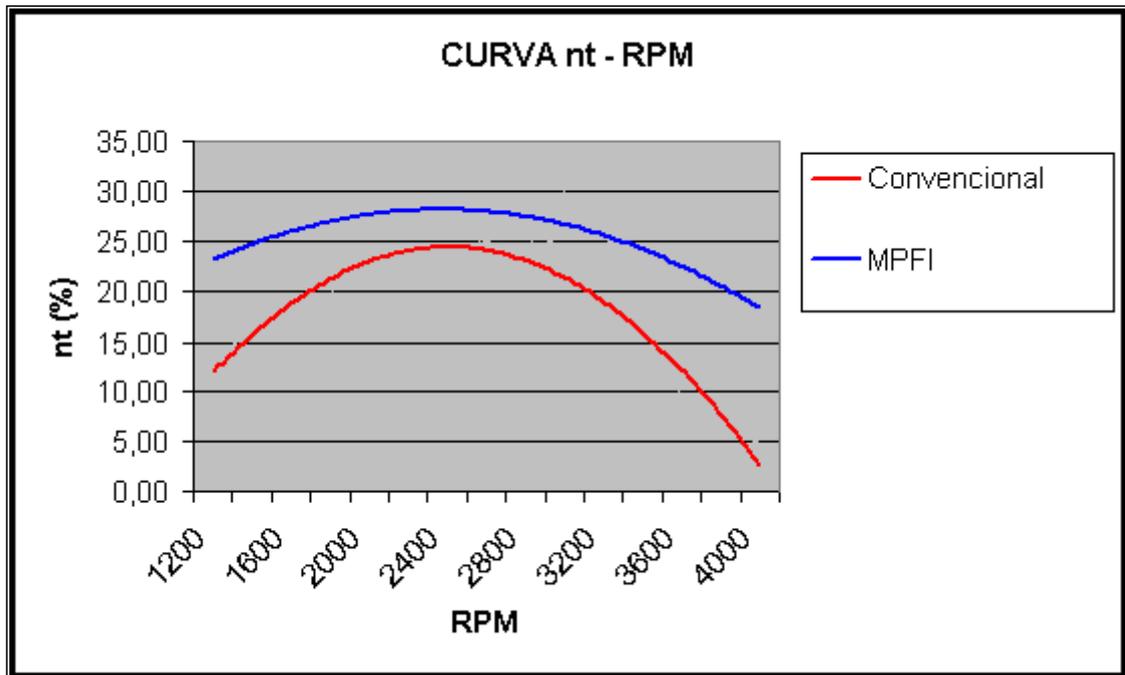


Figura 4.26 Curvas del Rendimiento Térmico

Como se observa en la figura, el rendimiento térmico obtenido con el sistema convencional siempre se mantiene por debajo de lo que ofrece el sistema de inyección MPFI. Esto quiere decir que el nuevo sistema implementado aprovecha de mejor manera el poder calórico de la gasolina.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Al término del presente proyecto, y luego de realizar las pruebas correspondientes, tanto en carretera como en bancos de prueba de laboratorio, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Para este tipo de vehículo, los repuestos pueden ser adquiridos fácilmente en nuestro medio.
- En lo que se refiere al mantenimiento, el sistema implementado puede ser diagnosticado por escáners de tipo universal que cuenten con software para vehículos europeos.
- Con la implementación del sistema de inyección electrónica MPFI, el Monóxido de Carbono (CO) se redujo, según los datos en porcentaje obtenidos de 0,628 a 0,201, lo que resulta el 68%.
- La presencia de Hidrocarburos (HC) en los gases de escape, disminuyó considerablemente, de 776 ppm a 118 ppm; lo que significa una reducción cercana al 85%.

- Los Óxidos de Nitrógeno (NOx) fueron reducidos de 8 ppm a 3 ppm, que representa casi el 63%.
- Con la realización de la prueba de carretera de 90 km, se comprobó que el consumo de combustible se redujo de 2,5 a 2 galones; lo que nos brinda un ahorro del 20%.
- La potencia máxima fue incrementada de 18,850 kW @ 3000 r.p.m. a una superior a los 25,133 kW @ 4000 r.p.m. que fue la lectura máxima que nos permitió el banco; lo que constituye un incremento aproximado al 25%.
- El torque máximo se aumentó de 63 Nm @ 2400 r.p.m. a 68 Nm @ 1400 r.p.m, que se traduce en un 7% más.
- El máximo rendimiento volumétrico fue acrecentado de 80,75% @ 1600 r.p.m. a 84,90% @ 4000 r.p.m. que al comparar estos valores representa el 5%. Esto significa que el ingreso de aire al cilindro fue optimizado con la implementación del nuevo colector de admisión, el cual posee un mejor diseño desde el punto de vista aerodinámico.
- El rendimiento térmico máximo se incrementó de 26,04% @ 2800 r.p.m. hasta 30,03% @ 3000 r.p.m.; que quiere decir que el poder calórico de la gasolina se está aprovechando un 13% mejor.

- Con la implementación del sistema de inyección electrónica MPFI, se logró un eficiente arranque en frío, además de mantener un ralentí estable y conseguir una aceleración uniforme.
- En pruebas de carretera se pudo apreciar un incremento en la aceleración, lo que ofrece mayor seguridad en los adelantamientos.
- No es necesario realizar el cambio de combustible “extra” a “súper”, ya que la relación de compresión de nuestro motor no fue variada; y resultaría innecesario incrementar el octanaje de la gasolina.

5.2 RECOMENDACIONES

Al haber concluido el proyecto práctico de tesis podemos dar a conocer las siguientes recomendaciones las cuales nos ayudaran a optimizar los procesos, que derivarán en ahorro de tiempo y dinero:

- Antes de realizar un trabajo de campo, asegurarse de contar con las herramientas y equipos necesarios para evitar problemas posteriores.
- Mantener en orden y limpieza el área en el cual se realiza el trabajo con la finalidad de evitar pérdida de tiempo en la búsqueda de piezas y herramientas.
- Tomar las debidas precauciones de acuerdo al tipo de trabajo que se vaya a realizar.

- Recomendamos adquirir elementos originales, ya que los genéricos no siempre ofrecen las garantías necesarias.
- En caso de detectarse alguna anomalía en el funcionamiento del vehículo, acudir a talleres especializados que ofrezcan un trabajo garantizado, para evitar mayores inconvenientes.
- Para las pruebas respectivas, emplear equipos actualizados que nos brinden resultados categóricos.
- Al emplear el dinamómetro, verificar que toda la instrumentación se encuentre puesta en cero, a excepción de los termómetros; para evitar lecturas erróneas.

BIBLIOGRAFÍA

- DE CASTRO, Miguel; Inyección de Gasolina; 5ª edición; Ediciones CEAC; Perú; 1991.
- CROUSE, William H; Equipo eléctrico y electrónico del automóvil; Editorial Alfaomega; México; 1992.
- ALONSO, José M.; Tecnología avanzada del automóvil; Editorial Paraninfo; Madrid; 1994.
- MANUAL DE MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN LADA; Rusia; 1995.
- CATÁLOGO DE AUTOPARTES LADA; Rusia; 2000.
- Teoría de los motores de combustión interna
- Tiempos de mantenimiento y reparación de los vehículos VAZ 2104, VAZ 2121, VAZ 21213, VAZ 21214; Rusia; 2001.
- FÁBRICA DE AUTOMÓVILES VOLGA VAZ; Manual del Automóvil 2105.
- CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINAS; 1985.
- BOSCH Manual de Capacitación Técnica; 2006.
- GIECK, Kurt; Manual de Fórmulas Técnicas; 19ª edición; Editorial Alfaomega; México; 1995.
- CEAC Manual del Automóvil; Editorial CEAC; España; 2003.
- <http://www.tdx.cesca.es>
- <http://www.gencat.net>

ANEXOS

ANEXO “A”

ESQUEMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA VAZ MP7.0H

ANEXO “B”

DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL VEHÍCULO LADA 2104

ANEXO “C”

DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DEL VEHÍCULO LADA 2104