

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Mecánica

CONTROL DE EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES EN LOS  
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL TRANSPORTE  
AUTOMOTRIZ DE GUATEMALA

CÉSAR ESTUARDO RÍOS GARCÍA

Guatemala

1999

**CONTROL DE EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES EN LOS  
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL TRANSPORTE  
AUTOMOTRIZ DE GUATEMALA**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

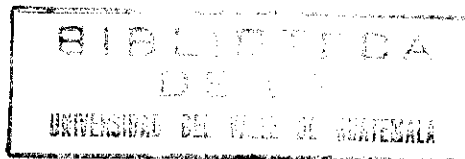
Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Mecánica

CONTROL DE EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES EN LOS  
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL TRANSPORTE  
AUTOMOTRIZ DE GUATEMALA

CÉSAR ESTUARDO RÍOS GARCÍA

Trabajo de graduación presentado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico en el grado de Licenciado.



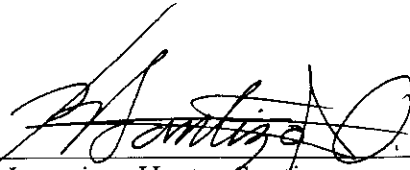
Guatemala

1999

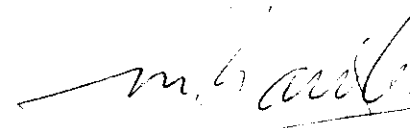
A Dios y a mis padres.


Agradezco a todas las personas que me alentaron y ayudaron en la elaboración de este trabajo de graduación, pero en especial al Ingeniero Hector Santizo por abrirme las puertas del Departamento de Control de Emisiones Vehiculares de CONAMA, y por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias.

Vo.Bo.:

(f)   
Ingeniero Hector Santizo

Tribunal:

(f)   
Ingeniero José Joaquín Garoz

(f)   
Ingeniero Jorge Mario Rodas

(f)   
Ingeniero Hector Santizo

## CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
A. Objetivo General	2
B. Objetivos Específicos	2
II. TECNOLOGÍA DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	3
A. Generalidades y orígenes del motor de combustión interna	3
B. Diseño y estructura del motor de combustión interna	4
C. Funcionamiento del motor de combustión interna	8
D. Medición y clasificación de la potencia para determinar el rendimiento del motor de combustión interna	11
E. El Proceso de Combustión	12
1. Motores de encendido por chispa	13
2. Motores de encendido por compresión	16
F. La mezcla Aire/Combustible y sus efectos en la composición de los gases de escape	18
III. LOS COMBUSTIBLES MÁS UTILIZADOS: LA GASOLINA Y EL DIESEL	22
A. Composición química	22
B. Características generales de la gasolina	24
1. Combustibilidad	24
2. Volatilidad	26
3. Estabilidad de oxidación y rendimiento de detergencia	26
C. Características generales del Diesel	27
1. Calidad de encendido y retardo de ignición	27
2. Volatilidad, viscosidad y limpieza	29
D. Normas de la calidad de la gasolina	29
1. La eliminación del plomo	29
2. Contenido de benceno y otros aromáticos	30

3.	Gasolinas reformuladas	31
E.	Normas de la calidad del Diesel	33
1.	Contenido de azufre	33
2.	Número o índice de cetano	33
3.	Contenido de aromáticos	34
4.	Densidad	34
F.	Combustibles alternos	35
5.	Gas natural	35
6.	Gas licuado de petróleo (GLP)	36
7.	Etanol	37
8.	Metanol	38
IV.	CONTAMINANTES Y SUS EFECTOS	39
A.	Origen de las emisiones vehiculares	39
B.	Comportamiento de los gases contaminantes	39
1.	Monóxido de carbono (CO)	40
2.	Hidrocarburos (HC)	41
3.	Óxidos nitrosos (NO <sub>x</sub> )	42
C.	Comparación entre la contaminación producida por motores de gasolina y la producida por motores Diesel	43
D.	Contaminantes producidos por los vehículos automotores y sus efectos en la salud	44
E.	Contaminantes producidos por los vehículos automotores y sus efectos en el ambiente	47
F.	Efectos de las emisiones vehiculares sobre la economía	49
G.	Monitoreo de la calidad del aire	50
V.	DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DE EMISIONES	52
A.	Orígenes y generalidades del control de emisiones	52
B.	Sistema PCV (Ventilación Positiva del Cáster)	53
C.	Sistema EGR (Recirculación de los Gases de Escape)	55
D.	Sistema EFE (Control de Emisión de combustible Evaporado)	60

E.	Sistema AIS y Pulse Air (Inyección de Aire)	61
F.	Sensor de oxígeno (Sonda Lambda)	63
G.	Convertidor catalítico	64
H.	Sistema HAC (Compensador de altura)	66
VI.	MANTENIMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	67
A.	Objetivo del mantenimiento	67
B.	Inspección visual	67
C.	Verificación del sistema de lubricación	68
	1. Componentes del sistema	68
	2. Funcionamiento del sistema	73
	3. Mantenimiento del sistema	74
D.	Verificación del sistema de enfriamiento	75
	1. Componentes del sistema	76
	2. Funcionamiento del sistema	77
	3. Mantenimiento del sistema	78
E.	Verificación del sistema de encendido	79
	1. Sistema convencional: Componentes y funcionamiento	80
	2. Sistema transistorizado: Componentes y funcionamiento	83
	3. Sistema de encendido por inducción: Diferencias y funcionamiento	84
	4. Sistema de encendido por efecto Hall: Diferencias y funcionamiento	85
	5. Mantenimiento del sistema	87
F.	Verificación del sistema de alimentación	88
	1. Sistema de inyección en motores de gasolina: Componentes y funcionamiento	89
	2. Mantenimiento del sistema de alimentación: Motores de gasolina	92
	3. Sistema de inyección en motores Diesel: Componentes y funcionamiento	92

4.	Mantenimiento del sistema de alimentación: Motores Diesel	
G.	Ajuste de válvulas	94
H.	Verificación del sistema de control de emisiones	96
I.	Factores externos	98
VII.	PROGRAMA DE CONTROL DE EMISIÓN DE GASES Y LA LEY	99
		100
A.	Objetivos del programa	100
B.	La gasolina sin plomo	100
C.	Tipos de vehículos que se deben controlar	101
D.	Conciencia ambiental	102
E.	Lineamientos para legislar	103
F.	Propuesta del reglamento de control de emisión de gases	104
G.	Inspecciones periódicas y selectivas	105
H.	Equipos utilizados en el control de emisión de gases contaminantes	106
1.	Motores de gasolina	106
2.	Motores Diesel	108
I.	Especificaciones de los niveles permisibles	108
1.	Motores de gasolina	108
2.	Motores Diesel	109
VIII.	ESTUDIOS DEL CONTROL DE EMISIÓN DE GASES EN GUATEMALA Y LAS ESPECTATIVAS PARA EL FUTURO	111
A.	Centros de control de emisiones	111
B.	Vehículos automotores sometidos al control de emisiones durante 1998	112
1.	Motores de gasolina	112
2.	Motores Diesel	112
3.	Total de motores certificados	112
C.	Diseño del certificado y la calcomanía	112
D.	Proyección futura del control de emisiones en Guatemala	112

E.	Avances tecnológicos en materia de control de emisiones: Pruebas dinámicas	117
	1. Prueba FTP 75 para vehículos nuevos con motor a gasolina	118
	2. Prueba ASM	119
	3. Prueba IM240	119
	4. Prueba RG240	120
F.	Vehículos limpios	121
	1. Vehículos LEV con motor de combustión interna	121
	2. Vehículos eléctricos	122
	3. Vehículos con celdas de combustible	123
IX.	CONCLUSIONES	124
X.	BIBLIOGRAFÍA	129
	APÉNDICE	131
	A. Tablas de propiedades de los combustibles gasolina y Diesel	131
	B. Tablas de fallos y averías de los motores de combustión interna	135
	C. Análisis de gases	139
	D. Tablas de los listados generales del control de emisiones en Guatemala proporcionados por la Comisión Nacional del Medio Ambiente	142

## LISTA DE TABLAS, CUADROS Y GRÁFICAS

	Página
<b>Tabla</b>	
3.1 Límites del contenido de plomo, contenido actual, consumo de gasolina con plomo, y año proyectado para la eliminación total del plomo en la gasolina para varios países de América Latina	30
3.2 Estándares de calidad para el contenido de benceno e hidrocarburos aromáticos en la gasolina en diferentes países	31
3.3 Normas para gasolina reformulada en California y Finlandia, y norma federal de USA para gasolina convencional	32
3.4 Propiedades generales del diesel según las regulaciones de algunos países	35
4.1 Contaminantes muestreados en la ciudad capital	51
<b>Cuadro</b>	
4.1 Monóxido de Carbono y sus efectos en la salud	45
4.2 Hidrocarburos no quemados y sus efectos en la salud	45
4.3 Óxidos Nitrosos y sus efectos en la salud	45
4.4 Dióxido de Azufre y sus efectos en la salud	46
4.5 Material Particulado en Suspensión y sus efectos en la salud	46
4.6 Ácido Sulfuroso y Ácido Sulfúrico y sus efectos en el ambiente	47
4.7 Ozono y sus efectos en el ambiente	47
4.8 Dióxido de Carbono y sus efectos en el ambiente	48
<b>Gráfica</b>	
8.1 Vehículos a Gasolina sometidos al Control de Emisiones durante 1998	113
8.2 Vehículos Diesel sometidos al Control de Emisiones durante 1998	114
8.3 Fracción de vehículos certificados durante 1998 en relación con la totalidad del parque vehicular de Guatemala	115

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el motor de combustión interna es probablemente la máquina de transformación de energía más utilizada por el hombre, que tiene un uso casi universal en la rama de transporte. Además, el motor de combustión interna necesita forzosamente la quema de algún tipo de combustible para su funcionamiento. Estas dos razones son la causa de que esta tecnología se convierta en el mayor contaminante del aire que respiramos.

A pesar de ser un problema ecológico y de salud pública, éste tiene su origen en las limitantes tecnológicas del motor de combustión interna. El motor de combustión interna, como cualquiera otra máquina construida por el hombre, es imperfecta y de alta susceptibilidad a fallos durante su funcionamiento. Esta tecnología es inherente de contaminación. Nosotros, a lo máximo que podemos aspirar, es a mantener las condiciones óptimas de operación que necesita el motor, ya que con esta medida, puede reducirse la contaminación producida a un mínimo.

En el mundo moderno, las condiciones de operación deficientes del motor de combustión interna son intolerables debido a que es la sociedad entera la que debe pagar un alto precio, principalmente en lo que se refiere a salud pública. Debemos considerar que la mayor porción de automóviles alrededor del mundo, se ubica en el mismo espacio que las altas concentraciones de población humanas. Es por ésto, que a partir de la conscientización mundial de este problema, se han desarrollado tecnologías que ayudan a mejorar las condiciones de funcionamiento del motor, o reducen las emisiones vehiculares directamente.

En la ciudad de Guatemala circula una gran cantidad de automóviles cuyo número sigue incrementándose día a día. La mayoría de estos automóviles operan mal afinados y carecen de mantenimiento adecuado. Los efectos nocivos derivados de esta circunstancia, son la excesiva emisión de gases contaminantes, y un mayor consumo del combustible necesario.

El problema se agrava cuando agregamos el hecho de que lamentablemente existe un desconocimiento general entre los dueños de los automotores acerca de los requisitos de un automóvil, del proceso de combustión que se lleva a cabo dentro de los mismos, y de los efectos que dicho proceso tiene en el ambiente y en las personas. No sorprende así que el bloque mayoritario de la sociedad ignore la necesidad e importancia de tener un control de emisión de gases contaminantes.

Actualmente, Guatemala ya cuenta con un Programa de Control de Emisión de Gases Contaminantes, el cual es un proyecto que busca reducir la contaminación del aire ambiental, la cual es provocada por los automóviles. El programa, aunque ya esté legislado, se encuentra aún en sus etapas iniciales en nuestro país. Este programa podría llegar a ser más efectivo si a la par de la creación de las medidas reglamentarias para el control de emisiones, lograra crearse también una conciencia ecológica colectiva sobre la magnitud global

del problema al informar a los ciudadanos sobre las enormes ventajas para el bien común y particular, a mediano y largo plazo, de tener automóviles bien afinados, bien mantenidos, y con su control de emisiones al día.

Por tanto, es necesario enfocar el problema desde un punto de vista técnico, que permita explicar y aclarar las incertidumbres que existan acerca de la problemática de la contaminación del aire debidas a las emisiones vehiculares y dan a conocer las soluciones técnicas de vigencia actual que nos ayudarán a establecer las condiciones óptimas de funcionamiento del motor de combustión interna. Con ésto se pretende informar al ciudadano común para que esté consciente de qué es lo que está haciendo, por qué lo hace, y que pasará si no lo hace.

Con lo anterior en mente, el presente trabajo de graduación pretende cumplir con los siguientes objetivos:

#### A. Objetivo General

La forma más eficaz de combatir este problema que nos concierne a todos, es educar a la población, al crear una consciencia ecológica. Es por ésto, que el objetivo principal de este trabajo es informar qué son las emisiones vehiculares que contaminan el aire, por qué el automóvil es el mayor agente contaminante del aire de nuestra ciudad, y qué es lo que hay que hacer para reducir este problema.

Para cumplir con este objetivo, se ilustra la forma en que opera un motor de combustión interna, se describe en qué consiste el proceso de combustión dentro de los vehículos, las limitantes del proceso, y cómo éstas van relacionadas con la contaminación del aire.

#### B. Objetivos Específicos

A lo largo del trabajo se tocan otros puntos que pretenden ilustrar con mayor detalle en qué consiste la problemática global de las emisiones vehiculares, entre estos están:

- Demostrar los efectos perjudiciales que tienen las emisiones vehiculares a todo nivel, las enormes ventajas ambientales y económicas derivadas de un mantenimiento periódico eficiente del motor del automóvil, y qué aspectos deben tener presentes para lograr un mantenimiento efectivo que optimice la operación del motor y reduzca las emisiones.
- Dar a conocer la tecnología de control de emisión de gases de uso actual y su funcionamiento.
- Exponer puntos importantes del Programa de Control de Emisiones Vehiculares de Guatemala, al explicar su importancia, relevancia, y la forma en que se conduce en nuestro país.

## II. TECNOLOGÍA DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

### A. Generalidades y Orígenes del Motor de Combustión Interna

La evolución del motor de combustión interna comenzó hace más de cien años cuando J. Lenoir desarrolló el primer motor de esta clase de uso práctico. En el motor de Lenoir se quemaba una mezcla gaseosa de carbón y aire, la cual era introducida en el cilindro durante la primera mitad de la carrera del pistón, para luego ser encendida por medio de una chispa. La combustión se llevaba a cabo a presión atmosférica, por lo que este motor no tenía una compresión inicial. Durante la combustión se incrementaba la presión, y los gases quemados daban la potencia al pistón durante la segunda mitad de la carrera. El ciclo de operación era complementado con una carrera de escape. La potencia máxima que se llegó a alcanzar con este motor fue de seis caballos de fuerza, con una eficiencia inferior al cinco por ciento.

Durante la década de 1860 Nicolaus Otto propuso un ciclo de operación en el que se dieran cuatro carreras en el pistón: una carrera de admisión, seguida de una carrera de compresión antes de la ignición, una carrera de expansión en donde la potencia sería entregada hacia el cigüeñal, y finalmente una carrera de escape. El prototipo de este motor estuvo listo en 1876. Este nuevo diseño de Otto logró obtener 14 % de eficiencia global, comparado con el motor de tipo atmosférico anterior, pero se logró una enorme reducción en el peso y volumen del motor, reduciéndolo de 4000 lb a 1250 lb. Este fue el avance tecnológico que fundó la industria del motor de combustión interna.

En 1884, se encontró una patente francesa sin publicar adjudicada a Alphonse de Rochas en el que describía los principios de operación del ciclo de cuatro carreras. De Rochas delineó las condiciones bajo las cuales puede lograrse la máxima eficiencia en un motor de combustión interna. Estas son:

1. El máximo volumen posible del cilindro con un mínimo de superficies fronterizas.
2. La mayor rapidez de trabajo posible.
3. La mayor relación posible de expansión.
4. La mayor presión posible en el comienzo de la expansión.

Las dos primeras condiciones mantienen las pérdidas de calor de la mezcla en combustión a un mínimo. La tercera condición reconoce el hecho de que mientras mayor sea la expansión de los gases producto de la combustión dentro del motor, mayor será el trabajo extraído. La cuarta condición reconoce que las altas presiones iniciales hacen posible tener mayores expansiones, y por consiguiente dan mayores presiones a lo largo del proceso. A pesar de que los escritos hechos por De Rochas anteceden los desarrollos implementados por Otto, el nunca redujo sus ideas a la práctica. Así que en el sentido amplio de la palabra, es a Otto a quien se le considera el inventor del motor de combustión interna como se le conoce hoy.

En 1892, el ingeniero alemán Rudolf Diesel delineó en su patente una nueva forma de motor de combustión interna. Su concepto de iniciar la combustión mediante la inyección de un combustible líquido hacia una cierta cantidad de aire que ha sido calentado únicamente por compresión, permitió obtener el doble de la eficiencia que se conseguía en otros motores de combustión interna. El motor de Diesel poseía varias ventajas respecto del motor de encendido por chispa de Otto: consumía menos combustible, funcionaba con un carburante más barato y por último estaba diseñado para potencias mucho mayores. Por esto, se convirtió en el motor de elección para usos navales y estacionarios.

Los combustibles también han tenido un impacto importante en el desarrollo del motor. Los primeros motores usaban gas quemado para generar potencia mecánica. La gasolina, y las fracciones ligeras del petróleo crudo fueron disponibles a finales del siglo XIX. Gracias a su alta volatilidad, permitían un fácil arranque y buen funcionamiento en climas fríos, aunque se obligaba a los fabricantes a mantener las relaciones de compresión muy bajas para evitar problemas de golpeteo. Hasta antes de mediados de la primera década del siglo XX había pocos problemas con la gasolina; sin embargo, tanto el continuo aumento en la demanda como la creciente necesidad de aumentar la potencia y eficiencia del motor, han obligado desde entonces a incrementar la fracción de petróleo crudo que es aprovechable para combustible de motor, combustibles que a su vez tuviesen buenas propiedades antidetonantes.

Durante las últimas décadas han surgido nuevos factores que ahora afectan significativamente el diseño y operación de los motores. Estos factores son primero, la necesidad de controlar la contribución automovilística a la contaminación del aire urbano, y segundo, la necesidad de lograr mejoras significativas en el consumo de combustible.

Tanto el uso de catalizadores en los sistemas de escape para el control de las emisiones en los motores de encendido por chispa, como del interés en la toxicidad de los aditivos antidetonantes con plomo, han hecho que resurja la gasolina sin plomo como uno de los mayores constituyentes del mercado de combustibles. También, el contenido de plomo en los combustibles que aún lo llevan ha sido sustancialmente reducido. Los requerimientos en el control de emisiones y los desarrollos de estos combustibles han producido cambios significativos en la forma en que los motores de combustión interna son diseñados y operados.

#### **B. Diseño y Estructura del Motor de Combustión Interna**

El motor de combustión interna tiene la función de transformar la energía química contenida en el combustible a potencia mecánica; esto último es lo que se conoce como la fuerza desarrollada por el motor.

Para cumplir con este objetivo, la generalidad de los motores de uso actual en los vehículos de carretera hacen uso de una estructura que alberga y hace un eficiente uso del mecanismo recíprocante de

manivela, biela y corredera. Cuando el motor de combustión interna hace uso de este mecanismo, las partes que lo componen reciben un nombre distinto que identifican la aplicación particular que se le ha dado a este mecanismo en la industria automotriz.

El motor se divide esencialmente en tres partes, y en cada una de estas partes hay mecanismos independientes que se asocian con ellas por considerárseles un conjunto operacional. Los componentes pueden observarse en el esquema del motor Chrysler de 2.2 litros de la figura 2.1. Estas partes son:

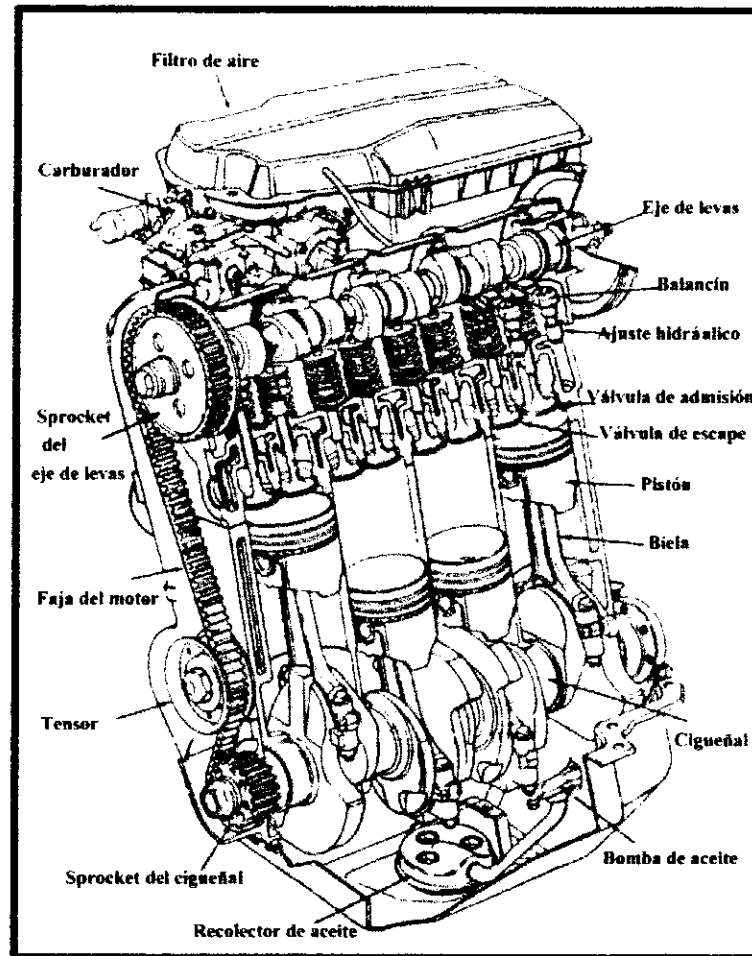


Figura 2.1. Componentes principales del motor.

1. **Monobloque:** Es la pieza central del motor. Posee orificios donde van los cilindros; también llevan moldeados pasadizos para el agua de enfriamiento y para pasos de aceite. El monobloque del motor se construye con fundición de hierro gris por su buena resistencia al desgaste y bajo costo. Los componentes asociados con el monobloque del motor son:

- **Pistón:** Es el encargado de sellar el cilindro y transmitir la presión generada por la combustión de la mezcla hacia el cigüeñal por medio de la biela. Debe ser fuerte y rígido para distribuir las fuerzas del gas que actúan en él tan uniformemente como sea posible por todo el monobloque del motor. Los pistones están fabricados en aluminio para ser usados en motores pequeños y de alta velocidad, aunque es preferible usar aluminio en combinación con acero para soportar mejor el desgaste debido a las cargas mayores que se dan en motores grandes, especialmente motores Diesel. Asimismo, el acero sirve para controlar la expansión térmica del pistón.
- **Anillos:** En la cabeza del pistón se cortan unas ranuras donde va montado un juego de anillos. La función de los anillos es la de sellar para evitar fugas de gas desde la cámara de combustión, y controlar el flujo de aceite. Los anillos superiores son anillos de compresión, los cuales evitan la fuga del gas contenido dentro del cilindro; van forzados hacia afuera contra la pared interior del cilindro y hacia abajo contra la ranura en el pistón. Los anillos inferiores raspan el exceso de aceite de las paredes del cilindro y lo regresan al cárter del cigüeñal. Los anillos son fabricados de hierro fundido al molibdeno y a veces tienen un poco de cromo.
- **Biela:** Es la pieza que une físicamente al pistón con el cigüeñal. Está sujeta al pistón por medio de un pequeño vástago de acero en su parte superior. En su parte inferior, la biela está acondicionada para acoplarse a uno de los muñones de biela en el cigüeñal, la biela se sujeta al muñón usando la tapa de la biela y sus tornillos. Debido a los grandes esfuerzos a los que se somete el material, la biela es usualmente hecha de acero o alguna aleación forjada.
- **Tejas:** Con este nombre se conoce comúnmente a los cojinetes que van colocados en los muñones centrales y en los muñones de biela, ambos en el cigüeñal. Como tienen la función doble de absorber esfuerzos y evitar el desgaste, las tejas están hechas de una capa de acero, una capa de aluminio y por último un recubrimiento de estaño o plomo.
- **Camisas:** Son piezas fabricadas de acero que hacen la función de cilindros en los motores que así lo necesitan. Vienen exactamente dimensionadas según sea el tipo de motor.
- **Cigüeñal:** Transmite el par producido por el motor hacia la transmisión del vehículo. El cigüeñal posee escalonamientos llamados muñones de biela, y hay tantos muñones de biela en el cigüeñal como cilindros haya en el motor. El cigüeñal está soportado por muñones centrales que se encuentran apoyados en el monobloque, el número máximo de muñones centrales es una unidad mayor que el número de cilindros. Cuenta con contrapesos que le dan balance y lo hacen operar más suavemente. Debido a los esfuerzos a los que se le somete, el cigüeñal es fabricado de acero forjado.
- **Volante:** Es un disco montado en la parte trasera del cigüeñal que proporciona una inercia rotacional

que dan el impulso y con ésto se evita que el pistón quede detenido en uno de los dos puntos muertos de su recorrido. La inercia del volante es de suma importancia en el momento de arranque cuando es accionado el motor eléctrico que inicia el movimiento de los pistones en el motor. Se fabrica de acero o hierro fundido.

- **Cárter:** El cárter del cigüeñal es la carcasa que recubre al monobloque por su parte inferior y es del mismo material de éste. Su función es la de recolectar y almacenar el aceite lubricante del motor.
2. **Culata:** La culata es la parte superior del motor, y comprende todos los mecanismos para el control del suministro de la mezcla combustible dentro del motor. Generalmente es fabricada de hierro fundido o aluminio, o de ambos.
- **Válvulas:** Son las piezas que permiten o restringen el ingreso o egreso del gas dentro del cilindro. Por cada cilindro en el motor debe existir un mínimo de dos válvulas: una válvula de admisión y una de escape, aunque podría haber más según el diseño del fabricante. Las válvulas se encuentran en posición normalmente cerrada por la acción de resortes justo afuera del cilindro. Desde el resurgimiento de la gasolina sin plomo como un factor principal en el cuidado del medio ambiente, se ha tenido especial cuidado en la fabricación de las válvulas, se usa acero al cromo o níquel junto con tratamientos térmicos para endurecerlas y evitar su desgaste excesivo en condiciones extremas de operación.
  - **Eje de Levas:** Su misión es abrir y cerrar las válvulas de admisión y escape en la cabeza de la cámara de combustión dentro de los cilindros. Hay una leva por cada válvula en el cilindro. Cada leva empuja la válvula que vence la resistencia del resorte, permite la apertura durante un intervalo en un instante predeterminado. El eje de levas está hecho generalmente de hierro fundido o acero forjado, las superficies de las levas son endurecidas para permitir un tiempo de vida adecuado. Dependiendo de la localización de las válvulas respecto del eje de levas podrían requerirse varillas de empuje adicionales para transmitir el movimiento que deben tener las válvulas.
3. **Frente:** Con este nombre se conocen los componentes que están en la parte delantera del monobloque y de la culata, y mediante ellos puede sincronizarse el tiempo del motor.
- **Tren Alternativo:** Se denomina así a la mayoría de partes que se mueven en conjunto dentro del motor cuando éste está funcionando. El frente comprende la polea del eje de levas, la polea del cigüeñal, otras poleas según el diseño del fabricante, y finalmente la faja de tiempo que es la que hace girar a todas según la velocidad del motor. El frente del motor es el que sincroniza todas las partes móviles del motor.

Estos son los componentes esenciales de todo motor de combustión interna, y aunque puede haber variaciones según el diseño y criterio del fabricante, el propósito detrás de los mismos permanece inalterado.

### C. Funcionamiento del Motor de Combustión Interna

El motor de combustión interna transforma la energía calorífica de los gases en expansión dentro del cilindro en un movimiento recíproco del pistón. De allí, el pistón la transfiere, por medio de la biela, hacia el cigüeñal dándole un movimiento rotatorio continuo. Las principales definiciones sobre las diferentes posiciones del pistón en el cilindro se encuentran esquematizadas en la figura 2.2.

La posición del pistón determina el volumen disponible dentro del cilindro, y es debido a esta variación del volumen que se logra la transformación de energía. El volumen disponible dentro del cilindro llega a ser el máximo cuando el pistón se ubica en el punto más bajo de su recorrido, llamado Punto Muerto Inferior (PMI); y es mínimo cuando el pistón alcanza el punto más alto o Punto Muerto Superior (PMS). Al volumen mínimo se le llama volumen del espacio muerto  $V_m$ ; al volumen máximo se le llama volumen total  $V_t$ ; y a la diferencia entre el volumen total  $V_t$  y el volumen del espacio muerto  $V_m$  se le llama volumen barrido por el pistón  $V_b$ .

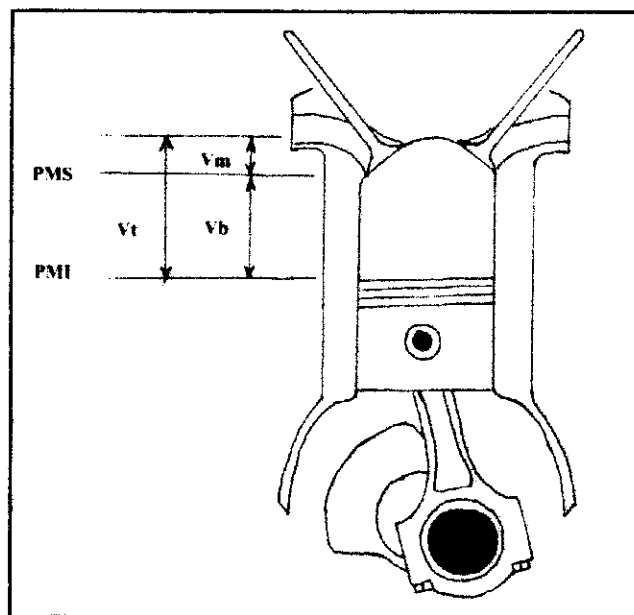


Figura 2.2. Volumen disponible durante el recorrido del pistón.

De la relación de los volúmenes disponibles en el cilindro durante el recorrido del pistón, se ha desarrollado un parámetro de suma importancia para catalogar a los motores de combustión interna llamado la Relación de Compresión  $R_c$ , que no es más que la relación entre el volumen máximo al mínimo. Es decir:

$R_c = \text{máximo volumen disponible en el cilindro} / \text{mínimo volumen disponible en el cilindro}$

Ecc. 2.1:  $R_c = (V_b + V_m) = V_t / V_m$

Finalmente, el desplazamiento del pistón desde un punto muerto hacia el otro, es lo que se conoce como Ciclo del Motor o Carrera.

Ahora bien, la transformación, y transmisión de la totalidad de la energía almacenada en el combustible exige un número determinado de ciclos o carreras del pistón, siendo el ciclo de operación de cuatro carreras el más usado para el tránsito vehicular de carretera. En este ciclo de operación cada cilindro necesita de cuatro desplazamientos completos de su pistón para completar un ciclo de potencia del motor. Estos son:

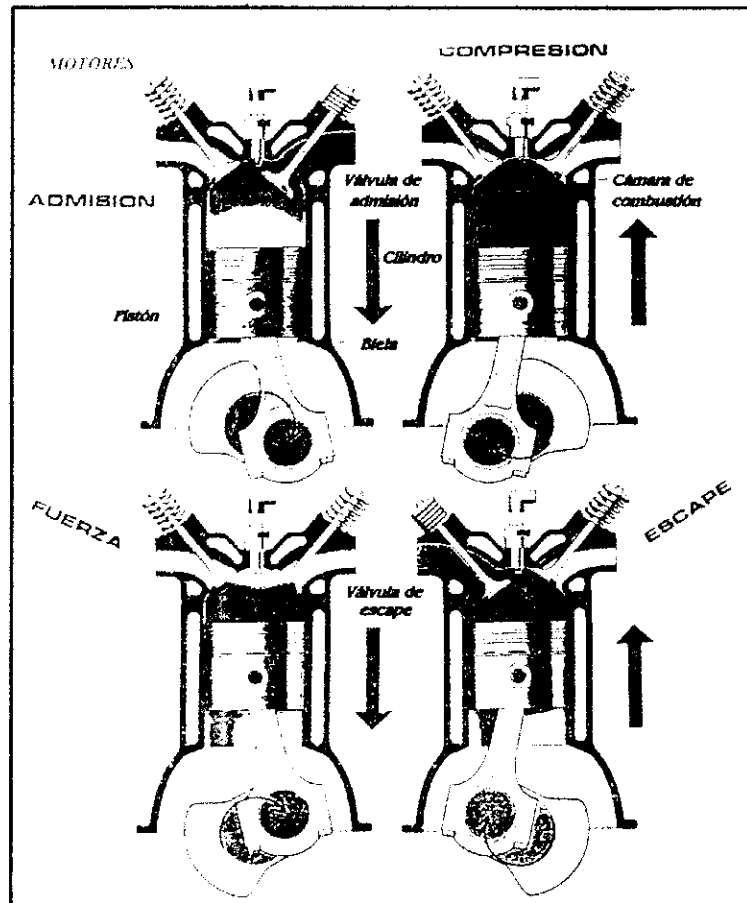


Figura 2.3. Ciclos de operación del motor de cuatro carreras.

(1) Carrera de Admisión: el pistón parte del punto muerto superior y termina en el punto muerto inferior. Ambas válvulas están previamente cerradas, pero un poco antes de que el pistón inicie su desplazamiento, la válvula de admisión se abre. El desplazamiento del pistón dentro del cilindro produce un vacío que permite el ingreso de la mezcla combustible (en el caso de motores de encendido por chispa), o de aire (en el caso de motores encendidos por compresión), a la cámara de combustión. La válvula de admisión se cierra después de que la carrera termina.

(2) Carrera de Compresión: mantiene ambas válvulas cerradas, el pistón se desplaza desde el punto muerto inferior hasta el punto muerto superior que comprime el gas dentro del cilindro. La mezcla combustible se ha comprimido desde su volumen inicial  $V_t$  hasta el volumen final  $V_m$ . Tanto en motores de encendido por chispa como en motores de encendido por compresión, la combustión se inicia por lo general un poco antes de que el pistón termine la carrera de compresión.

(3) Carrera de Potencia: comienza con el pistón en el punto muerto superior y termina con el pistón en el punto muerto inferior, ambas válvulas continúan cerradas. Los gases combustibles dentro de la cámara de combustión continúan quemándose y expandiéndose, por lo que la presión interior del cilindro llega a ser muy alta, empujando y acelerando al pistón. Esta es la carrera en donde se genera la potencia del motor. A medida que el pistón se aproxima al punto muerto inferior, la válvula de escape se abre para permitir que los gases residuales de la combustión comiencen a salir del cilindro, con esto la presión también disminuye.

(4) Carrera de Escape: el pistón se desplaza desde el punto muerto inferior al punto muerto superior. Con la válvula de escape abierta los gases continúan saliendo por sí solos hasta ir igualando la presión en el exterior, los gases restantes son empujados hacia afuera por el pistón conforme éste se mueve hacia el punto muerto superior. Un poco antes de que el pistón llegue al punto muerto superior la válvula de admisión comienza a abrirse nuevamente. Al final de la carrera de escape la válvula de escape se cierra y puede iniciarse un nuevo ciclo.

El ciclo de potencia del motor se ejecuta en  $720^\circ$  de ángulo de giro del cigüeñal, es decir 2 vueltas completas, por lo que se requiere de media vuelta o  $90^\circ$  de ángulo de giro del cigüeñal para ejecutar cada carrera del pistón.

El otro tipo de motor usado para vehículos de carretera, exclusivamente en motocicletas, es el motor de dos carreras. Este tipo de motor utiliza un diseño más simple, y no se tratará en este trabajo.

#### D. Medición y Clasificación de la Potencia para determinar el rendimiento del Motor de Combustión Interna

La evaluación del rendimiento de un motor de combustión interna es de gran importancia, ya sea para la correcta elección del tipo de motor necesario para una aplicación en particular, ó para determinar su comportamiento general a diferentes márgenes de operación.

La presentación de la información relativa al motor viene dada en gráficas, en las que se plotean las curvas representativas de la potencia al freno del motor, del torque ejercido, y del consumo de combustible, versus las revoluciones del cigüeñal. La información de las curvas se obtiene siguiendo procedimientos estipulados en normas internacionales.

La información se obtiene con el uso de un dinamómetro. El dinamómetro es un aparato que se encarga de medir el torque ejercido por el motor. Para realizar las mediciones se sujeta el motor a una superficie sólida, y se acopla el eje del cigüeñal al rotor del dinamómetro. El rotor a su vez, se conecta a un estator, balanceándose ambos. El estator es sustentado por cojinetes de baja fricción.

El motor se pone en marcha al girar el rotor que ejerce un torque (T) sobre el estator. El torque que ejerce el motor sobre el estator se mide balanceando el estator con pesos, o con alguna resistencia neumática.

Una vez se ha obtenido el torque, puede calcularse la potencia que utilizan la ecuación 2.2, e incorpora el valor de la velocidad del cigüeñal (N):

$$\text{Ecc 2.2: } P = 2\pi N T$$

El torque es una medida de la habilidad del motor de hacer trabajo, mientras que la potencia define qué tan rápido se efectúa ese trabajo. Es conveniente definir distintos tipos de potencia según sea el enfoque que quiera dársele, en este caso esta potencia se conoce como potencia al freno o potencia neta, y representa la potencia aprovechable que el motor entrega a la carga impuesta. Existe también la potencia bruta máxima indicada, que es la potencia máxima que desarrolla el motor durante las carreras de compresión y expansión únicamente, y sin accionar sus accesorios (como bomba de agua, ventilador, y otros). Esta potencia no se alcanza en la práctica, sólo en pruebas de laboratorio. Un tercer tipo es la potencia al volante que es la necesaria para mover los accesorios del motor.

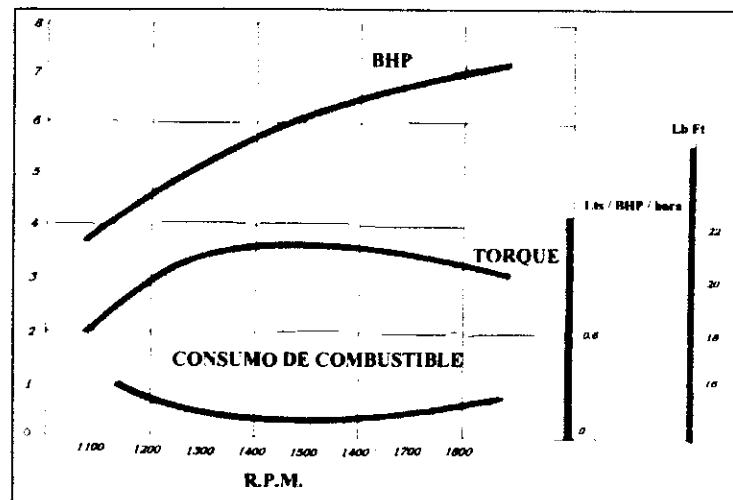


Figura 2.4. Curvas Características del Rendimiento de un Motor de Combustión Interna

Una curva característica del rendimiento del motor se ilustra en la figura 2.4. Las cantidades exactas pueden variar de motor en motor, dependiendo de muchos aspectos de fabricación. Sin embargo, la forma genérica siempre será la misma:

- La potencia aumenta conforme aumentan las revoluciones del motor, para llegar a un máximo.
- El torque desarrollado por el motor aumenta hasta llegar a un máximo, pasado este punto comienza a descender. Esto se debe a que el tiempo de apertura y cierre de las válvulas, no es el suficiente para un buen llenado del cilindro, ni para permitir el escape completo de los gases quemados, reduciendo la presión de combustión.
- El consumo de combustible es mayor a velocidades mínimas, que se reducen conforme el motor alcanza la velocidad óptima de operación. A mayores velocidades el consumo de combustible vuelve a aumentar.

Al utilizar las curvas de rendimiento puede determinarse la velocidad óptima de operación del motor, en la que se tendrá el mayor torque ejercido y el menor consumo de combustible.

#### E. El Proceso de Combustión

La combustión es un proceso químico en el que se involucran forzosamente cuatro entes independientes. En el caso de motores que trabajan con gasolina tenemos: la sustancia a quemar o combustible, la chispa o llama que iniciará el proceso, la temperatura del proceso, y suficiencia de oxígeno. Para los motores que trabajan con diesel estos factores son: el combustible, la temperatura del proceso, suficiente oxígeno y una buena compresión.

El oxígeno como sabemos, es un gas incoloro, inodoro e insípido. Si se combina una sustancia con

oxígeno, el proceso recibe el nombre de oxidación, y al producto se le llama óxido. En toda oxidación se libera también calor. Cuanto más rápidamente se desarrolla la oxidación tanto más elevadas son las temperaturas que alcanzan. Una oxidación muy rápida, con fuerte desarrollo de luz y calor, recibe el nombre de combustión.

Podemos así definir la combustión como la rápida combinación de oxígeno con otras sustancias, principalmente carbón, y la consecuente liberación de energía.

Este cambio rápido es el que permite convertir la mezcla de aire/combustible en una mezcla nueva de gases oxidados a mayor presión y temperatura, el que se utiliza para acelerar el pistón dentro de la cámara de combustión en el motor.

1. Motores de Encendido por Chispa. En los motores de encendido por chispa (o motores de gasolina) el proceso de combustión está determinado principalmente por la composición de la mezcla combustible, del diseño de las cámaras de combustión y de admisión de aire, del tiempo de encendido, de la duración de la chispa, del voltaje del embobinado secundario en el sistema de encendido, y de la temperatura de funcionamiento del motor. Muchos de estos factores dependen directamente del criterio de diseño según sea el fabricante, los otros dependen del ajuste que se le ha dado al motor.

El proceso de combustión es la razón de ser del ciclo completo del motor. Al inicio del ciclo, el combustible y el aire se mezclan en el sistema de admisión antes de entrar al cilindro del motor por medio de un carburador o de un inyector de combustible. La temperatura del aire que entra al sistema de admisión se controla mezclando aire ambiental con aire calentado por contacto con el múltiple de escape. La relación del flujo de masa de aire al flujo de masa del combustible debe ser mantenido alrededor de 15 para asegurar una confiable combustión.

Los modernos sistemas de inyección electrónicos han desplazado al antiguo sistema de carburación, por lo que no se tratará el antiguo sistema en este trabajo. En el sistema de inyección, el flujo de aire es medido directamente, las válvulas de inyección son actuadas dos veces por cada revolución del eje de levas mediante pulsos de inyectado cuya duración es determinada por la Unidad Electrónica de Control para proveer la cantidad deseada de combustible a cada cilindro por ciclo de operación.

La secuencia de eventos que toman lugar dentro del cilindro del motor se ilustra en la figura 2.5, en la que se muestra el tiempo de apertura de las válvulas de admisión y escape, y la variación en la presión del cilindro. La presión dentro del cilindro es ploteada contra el ángulo de rotación (del manubrio) del cigüeñal a través de todo el ciclo de cuatro tiempos. El ángulo (de manubrio) del cigüeñal es una variable independiente muy útil porque los procesos que se llevan a cabo en el motor ocupan intervalos de ángulo de rotación casi constantes sobre un amplio rango de velocidades del motor.

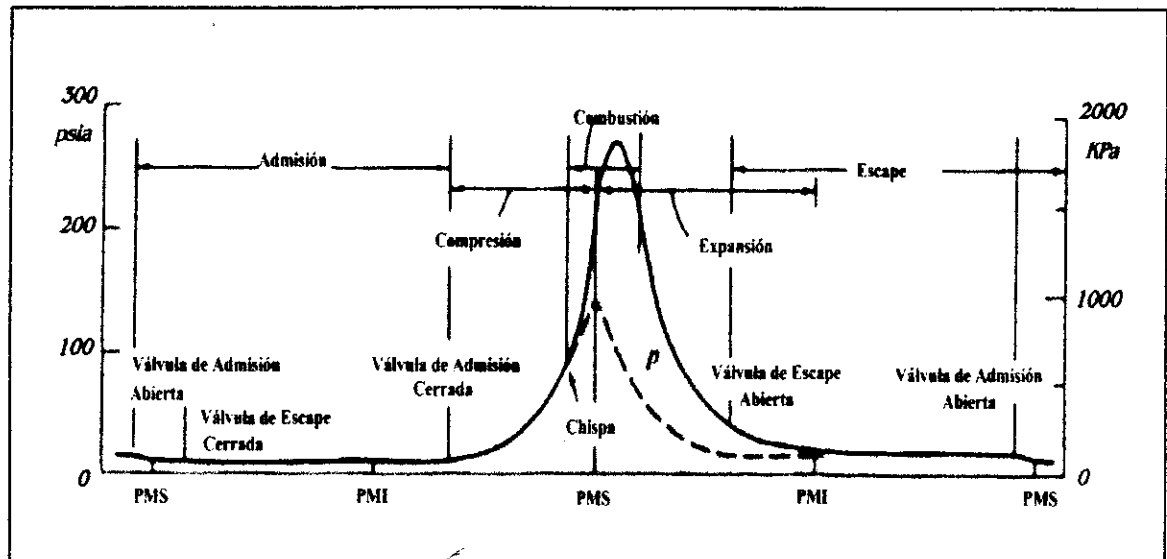


Figura 2.5. Secuencia de Eventos en el Ciclo de Operación de un Motor de Encendido por Chispa de Cuatro Tiempos.

Para mantener altos flujos de mezcla aire/combustible a altas velocidades ( y por lo tanto una mayor entrega de potencia del motor), la válvula de admisión se abre antes de llegar al punto muerto superior, y se cierra sustancialmente después de llegar al punto muerto inferior. Durante la admisión, el combustible y el aire inducidos se mezclan en el cilindro junto con cierta fracción de los gases quemados remanentes del ciclo anterior.

Después de esto, el contenido del cilindro se comprime por arriba de la presión y temperatura atmosférica conforme el volumen del cilindro se reduce. Relaciones de compresión del orden de 1.8 a 1:12 son típicas para un motor de encendido por chispa. Se da cierta transferencia de calor hacia el pistón y la cabeza y paredes del cilindro, pero el efecto en las propiedades de los gases no quemados es modesto.

El proceso de combustión normal se inicia entre los 5 y 10 grados de giro del cigüeñal antes de llegar al punto muerto superior, donde se produce una descarga eléctrica proveniente de la bujía. El intervalo de tiempo que hay entre el inicio de la chispa y el instante en que el pistón llega al punto muerto superior se conoce como adelanto de la chispa. Este proceso se observa en la figura 2.6.

El distribuidor de encendido es un interruptor rotativo puesto en marcha por el eje de levas, que interrumpe la corriente de la batería al circuito primario de la bobina de ignición. El embobinado secundario de la bobina de ignición, conectado a la bujía, produce un alto voltaje por medio de electrodos dispuestos en la bujía conforme el campo magnético colapsa. Con esto logra desarrollarse una flama turbulenta desde el lugar de la descarga de la chispa, propagándose a través de la mezcla de aire, combustible y gases quemados residuales en el cilindro, y se extingue en las paredes de la cámara de combustión. La duración de este

proceso varía conforme el diseño del motor y su operación, pero se da en un intervalo que dura entre los 40 y 60 grados de giro del cigüeñal.

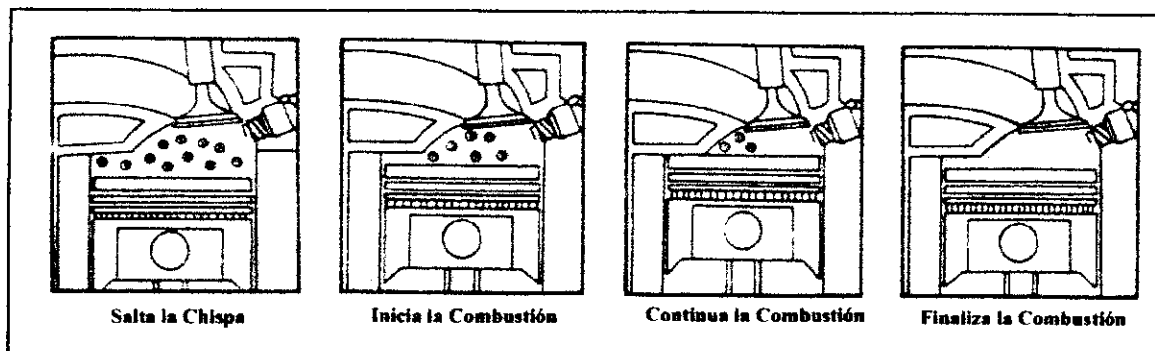


Figura 2.6. Proceso de Combustión Normal en un Motor de Encendido por Chispa

Conforme la mezcla de aire/combustible se quema por la flama, la presión dentro del cilindro (línea continua de la figura 2.5) se eleva por encima del nivel de la presión debida únicamente a la compresión (línea discontinua de la figura 2.5). Nótese que debido a las diferencias en el patrón de flujo y la composición de la mezcla que varía de cilindro en cilindro, y para cada cilindro entre ciclo y ciclo, el desarrollo de cada proceso de combustión difiere un poco. Como resultado, la forma de la curva de presión versus la curva de ángulo de manubrio del cigüeñal en cada cilindro, y de ciclo en ciclo, no es exactamente la misma.

Existe un tiempo óptimo en el encendido, con el que para una masa de aire y combustible dentro del cilindro, se obtiene el torque máximo del motor. Un tiempo de encendido más temprano o más retardado que el óptimo origina una entrega de potencia menor.

Alrededor de unos dos tercios sobre el camino de la carrera de potencia, la válvula de escape comienza a abrirse. La presión en el cilindro es mayor que la presión existente en el múltiple de escape, lo que origina un proceso de expansión, y muchos de los gases quemados fluyen a través de la apertura de la válvula hacia el múltiple de escape hasta que la presión dentro y fuera del cilindro (la presión fuera del cilindro usualmente está cercana a la atmosférica) se equilibran. La duración de este proceso depende del nivel de presión en el cilindro. Después de esto, el pistón en su movimiento de barrido desplaza los gases quemados fuera del cilindro hacia el múltiple durante su carrera de escape.

La válvula de escape se abre poco antes del final de la carrera de potencia para asegurar que el proceso de expansión no se prolongue demasiado dentro de la carrera de escape. El tiempo real del proceso es un compromiso, que pone en la balanza la reducción en la transferencia de trabajo hacia el pistón antes del punto muerto inferior, y la reducción en la transferencia de trabajo hacia el contenido del cilindro después de llegar al punto muerto inferior.

Para asegurarse de que las válvulas están completamente abiertas cuando las velocidades del pistón están en su máximo, los periodos de abertura de las válvulas usualmente se traslapan. La válvula de escape permanece abierta hasta un instante después de llegar al punto muerto superior. La válvula de admisión se abre justo antes de llegar a éste. Las válvulas se abren y se cierran lentamente para evitar ruido y desgaste de leva excesivo.

2. Motores de Encendido por Compresión. En los motores de ignición por compresión o motores Diesel, únicamente el aire es introducido en el cilindro durante la carrera de admisión. El combustible es inyectado directamente dentro de la cámara de combustión del cilindro, y debido al calor generado por la alta compresión se enciende, iniciándose el proceso de combustión. Este tipo de motor no requiere de la chispa proporcionada por una bujía eléctrica.

Existe una gran variedad de diseños de motores de encendido por compresión en uso para un amplio rango de aplicaciones, y varían enormemente según su tamaño, potencia y velocidad de operación. Estaremos interesados únicamente en los motores Diesel utilizados en la industria automotriz, donde se superan las 1000 r.p.m. y hay variaciones frecuentes de carga y velocidad.

Para este tipo de motores Diesel se dan diferencias en la forma en que el aire es introducido. Pueden tenerse motores con aspiración natural no forzada donde se usa aire a presión atmosférica; motores turbocargados, donde el aire de admisión es comprimido por un compresor, que se combina con una turbina que a su vez es accionada por los gases de escape del ciclo anterior; y están los motores supercargados donde el aire es comprimido por una bomba accionada mecánicamente. Los procesos de turbocargado y supercargado incrementan la entrega de potencia del motor al incrementar el flujo de masa de aire por unidad de volumen desplazado, y con esto permiten un incremento en el flujo de combustible. Estos métodos se usan en motores grandes para poder reducirles su tamaño y peso para una determinada cantidad deseada de potencia entregada.

En cualquier proceso de combustión, existen tres requerimientos básicos: formación de la mezcla aire/combustible, ignición de la mezcla, y combustión completa de la mezcla. Estos requerimientos están diagramados en la operación típica de un motor de encendido por compresión de cuatro carreras que se ilustra en la figura 2.7.

La relación de compresión de los motores Diesel es mucho mayor que los valores usuales para los motores de encendido por chispa, y están en el rango de 1:12 a 1:24, dependiendo del tipo de motor Diesel, y de si el motor tiene aspiración natural o es turbocargado. Los tiempos de válvula empleados son similares a los usados para los motores de gasolina. El ciclo Diesel se inicia al cargar la cámara de combustión con aire durante la carrera de admisión, para luego ser comprimido a una presión cercana a los 42 BAR (600 psi) y a una temperatura aproximada de 527°C (1000°F) durante la carrera de compresión. El

flujo de aire para cualquier velocidad del motor es esencialmente el mismo.

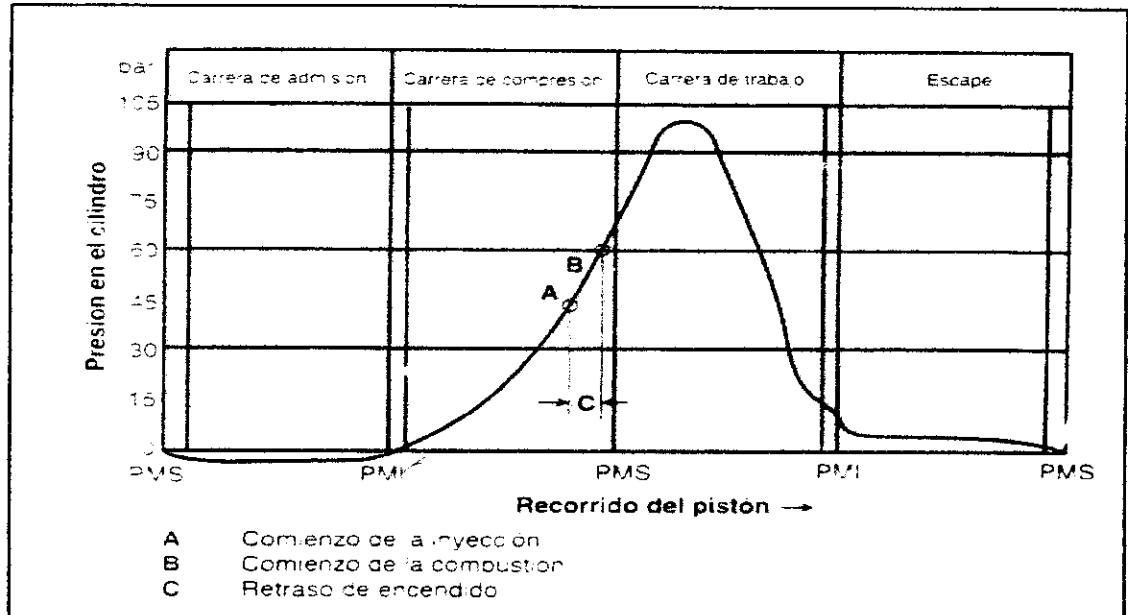


Figura 2.7. Secuencia de Eventos en el Ciclo de Operación de un Motor de Encendido por Compresión

Aproximadamente a los 20 grados de giro del cigüeñal antes de llegar al punto muerto superior, comienza la inyección de combustible dentro del cilindro del motor. El inyector atomiza en pequeñas gotas al líquido combustible, el cual poco después se evapora y se mezcla con el aire hasta lograr proporciones combustibles. La ignición de la mezcla combustible no ocurre inmediatamente. Se da un intervalo de poca duración entre la inyección y la ignición que es controlado por el tipo de diseño del motor, las temperaturas del aire y del combustible durante la admisión, y del grado de atomización y composición del combustible. Este periodo de retraso se conoce como retardo de ignición.

La mezcla aire/combustible finalmente alcanza una temperatura y presión que llegan a estar por encima del punto de ignición del combustible, produciéndose la combustión espontánea o autoignición de algunas partes de la mezcla no uniforme, y la llama comienza su propagación. Este proceso se observa en la figura 2.8.

Esto hace que la presión dentro del cilindro se eleve por encima del nivel de la presión debida únicamente a la compresión del motor. La inyección de combustible continúa durante este tiempo. Las flamas se esparcen rápidamente a través de esa porción del combustible inyectado que ya se ha mezclado con suficiente aire para ser quemado. Conforme el proceso de expansión procede, el mezclado entre el combustible, aire, y los gases en combustión continúa, acompañado por más combustión.

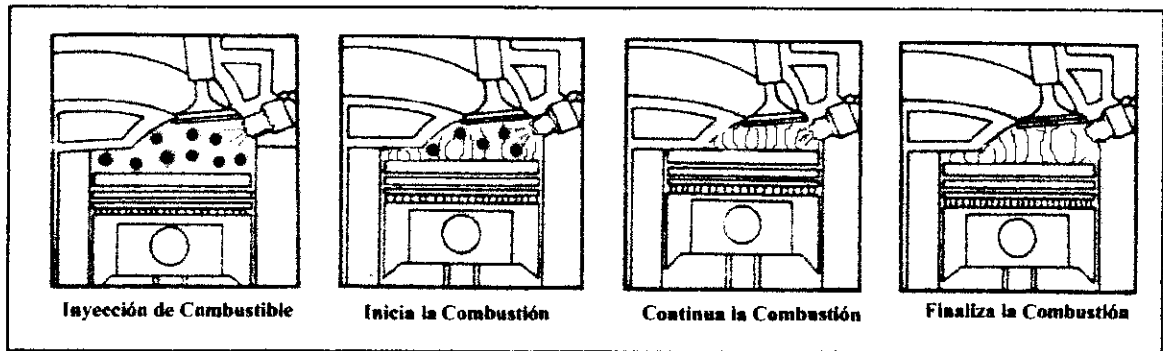


Figura 2.8. Proceso de Combustión Normal en un Motor de Encendido por Compresión

El comienzo de la inyección debe ser al momento preciso para obtener la mayor fuerza. El retardo de ignición debe ser corto para evitar la detonación o “golpeteo” que se produce en un motor Diesel, el cual es causado por una quema demasiado rápida del combustible, o la detonación de grandes cantidades de combustible acumuladas en el cilindro antes que comience la combustión. Una vez que la llama se ha iniciado totalmente, el único combustible en el cilindro es el que se inyecta dentro de la mezcla que se está quemando. Este combustible arde casi instantáneamente. Si ésto se logra, el resultado es una combustión óptima en la carrera de potencia.

Un motor Diesel con pocas emisiones de humo requiere de: exceso de aire, dosificación exacta del combustible, inyección del combustible al tiempo preciso, y una buena compresión para lograr la temperatura de encendido; además, las bombas de inyección de combustible deben calibrarse utilizando un líquido patrón estándar, con la densidad aproximada que tiene el combustible diesel a utilizar (ésta es generalmente 800 a 860 Kg/m<sup>3</sup>). Si no se cumplen una o varias de estas condiciones se aumenta el consumo de combustible y emisiones.

El nivel de la carga se regula según la cantidad de combustible inyectado en cada ciclo. A plena carga, la masa de combustible inyectado está cercana al 5 por ciento de masa de aire presente en el cilindro. El incremento en los niveles de humo negro en el escape es lo que limita la cantidad de combustible que puede ser quemado eficientemente. El proceso de escape es similar al del motor de encendido por chispa de cuatro tiempos. Al final de la carrera de escape el ciclo comienza nuevamente.

#### F. La Mezcla de Aire/Combustible y sus Efectos en la Composición de los Gases de Escape

Para iniciar el proceso de combustión es necesario que el combustible y el aire se encuentren en una mezcla íntima, y en la proporción en que cada uno de estos reactivos se encuentre presente así será la proporción y composición de los productos.

A esta mezcla reactiva de combustible y aire se le denomina relación de aire/combustible, y depende

únicamente de la cantidad de masa, tanto de aire como de combustible presentes en la mezcla. De este modo tenemos:

$$\text{Relación Aire/Combustible} = m_a/m_c = A/C$$

donde  $m_a$  y  $m_f$  representan la masa de aire y de combustible respectivamente. La relación de combustible/aire es simplemente el inverso de  $A/C$ , es decir:

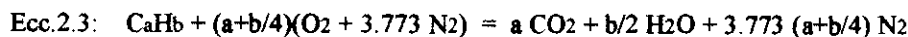
$$\text{Relación Combustible/Aire} = m_c/m_a = C/A$$

Debido a que estas relaciones dependen únicamente de la conservación de la masa de cada elemento químico en los reactivos, únicamente se necesita tener la composición relativa de cada elemento del combustible y las proporciones relativas de aire y combustible.

Sabemos que el combustible se quema con aire atmosférico seco; el aire atmosférico está compuesto de 20.95 % de oxígeno  $O_2$ , 78.09 % de nitrógeno  $N_2$ , y 0.93 % de trazas de otros gases como argón, dióxido de carbono, metano, neón, helio y otros; estos porcentajes son dados en volumen. Por lo general se le incluye al nitrógeno la pequeña contribución de los otros gases.

Una cantidad determinada de combustible necesita una cantidad mínima de aire para ser quemado completamente. Cuando éstas circunstancias se dan y se encuentran presentes en la mezcla la cantidad exacta de aire para quemar en su totalidad cierta cantidad preestablecida de combustible, se dice que ocurre una Combustión Completa o Estequiométrica.

Por ejemplo, considérese que se realizará la combustión completa de un mol de algún tipo de hidrocarburo no definido de composición molecular promedio  $CaHb$  con aire. La ecuación química ya balanceada se presenta a continuación:



En donde según los porcentajes dados en volumen se tienen 3.773 moles de nitrógeno "atmosférico" por mol de oxígeno.

Este es el caso general de combustión completa para cualquier tipo de combustible usado en la actualidad, donde todo el carbono en el combustible se ha convertido en dióxido de carbono  $CO_2$ , y todo el hidrógeno a agua  $H_2O$ . El aire también contiene nitrógeno, pero si la combustión se realiza bajo circunstancias estrictamente controladas, puede considerarse que el nitrógeno no es significativamente afectado en la reacción.

Como la relación Aire/Combustible sólo depende de las proporciones relativas de masa de aire y de

combustible presentes en la mezcla, en la ecuación 2.4 se tiene:

$$\text{Ecc.2.4: } A/C = m_a/m_c = [(a + b/4)(32 + 3.773 \times 28.16)] / (12.011a + 1.008b)$$

en donde ya se han sustituido la masa molecular del oxígeno, nitrógeno "atmosférico", carbono e hidrógeno siendo éstas 32, 28.16, 12.011, y 1.008 respectivamente. Por tanto, si se tiene cualquier gasolina de composición  $C_nH_{1.87n}$ , la cantidad de masa de aire por unidad masa de combustible es de 14.6. Desde el punto de vista teórico, la combustión sería perfecta con una relación en peso de combustible/aire del 1:14.7; o representado en volumen, 1 litro de combustible con 10,000 litros de aire. Es por ésto que se considera suficiente hacer la aproximación de 15 a 1 cuando se habla de la relación A/C en motores de gasolina. Para motores Diesel se tienen relaciones estequiométricas del orden de 14.4/14.5, sin embargo, estos valores no se usan debido al exceso de aire con que trabajan los motores Diesel.

Las mezclas de Aire/Combustible con mayor o menor cantidad de aire que la estequiométrica, también pueden ser quemadas. Cuando se tiene una menor cantidad de aire que la estequiométrica presente en la mezcla, no hay suficiente oxígeno para oxidar completamente el carbono y el hidrógeno del combustible, y se tendrá en los productos de combustión una mezcla de dióxido de carbono  $CO_2$ , vapor de agua  $H_2O$ , monóxido de carbono  $CO$ , hidrocarburos  $HC$ , hidrógeno  $H_2$ , así como también nitrógeno  $N_2$ . A este tipo de combustión se le denomina Combustión Incompleta.

El sistema de admisión tiene la función de preparar y de poner a disposición del motor una mezcla de aire/combustible inflamable en todos los estados de servicio: arranque en frío, arranques siguientes, marcha en la fase de calentamiento, ralenti, aceleración, carga parcial, y plena carga.

Con esta mezcla se debe efectuar la mejor combustión posible, para que con el mínimo consumo de combustible se pueda conseguir la máxima potencia del motor, así como un buen comportamiento de marcha, manteniendo al mismo tiempo la emisión de elementos contaminantes lo más reducida posible.

Una combustión completa es imposible de lograr en el motor, incluso con la mezcla de aire/combustible ideal, pues el tiempo que se tiene a disposición es muy corto, aún en el caso de un diseño constructivo óptimo y un ajuste inmejorable de todos los componentes relevantes para la combustión. Inclusive, en motores de gasolina con mezclas de Aire/Combustible con mayor cantidad de aire que la estequiométrica, las condiciones de flujo se tornan demasiado turbulentas, y no puede darse una combustión total.

Es por ésto que se ha desarrollado un parámetro que cuantifica el estado de la mezcla aire/combustible para la combustión dentro de un motor. A este parámetro se le llama lambda ( $\lambda$ ). Lambda es la relación que se obtiene entre la relación aire/combustible real, que se tiene en el cilindro al momento de la combustión, a la relación de aire/combustible teórica o estequiométrica. De esto tenemos:

Ecc.2.5:  $\lambda = (A/C)_{\text{real}} / (A/C)_{\text{estequiométrica}}$

- Lambda ( $\lambda$ ) = > 1 significa que hay un exceso de aire, también se le llama “mezcla pobre” porque no hay suficiente combustible.
- Lambda ( $\lambda$ ) = < 1 significa que hace falta aire, también se le llama “mezcla rica” porque hay un exceso de combustible.

Con el nivel actual de la técnica de motores, los límites de inflamabilidad se encuentran entre aproximadamente  $\lambda = 0.7$  hasta  $\lambda = 1.3$ . Por ejemplo: Una mezcla de aire combustible de  $\lambda = 1.1$  significa 10% de exceso de aire; y una mezcla de aire combustible de  $\lambda = 0.9$  significa 11% de exceso de combustible.

Una mezcla rica es una clara indicación de que una porción del combustible utilizado por el motor no está siendo quemado adecuadamente; mientras más rica sea la mezcla, la composición de los gases de escape incluirá mayores porcentajes de los productos de la combustión incompleta como monóxido de carbono CO e hidrocarburos HC, mayor será la cantidad de gases contaminantes que arrojará el motor.

Para reducir la emisión de gases contaminantes, en especial para motores de gasolina, el parámetro  $\lambda$  deberá ser mantenido lo más cercano posible al 1.0. En los motores Diesel se necesita de una mezcla más pobre para funcionar adecuadamente, así que es de esperar que el parámetro  $\lambda$  sea mayor que 1.0.

### III. LOS COMBUSTIBLES MÁS UTILIZADOS: LA GASOLINA Y EL DIESEL.

#### A. Composición Química

Los combustibles que actualmente son utilizados en los motores de combustión interna se hacen a partir del petróleo. El petróleo crudo tiene muchas y diferentes clases y tamaños de moléculas de hidrocarburos. Las más pequeñas están en forma gaseosa, como las del gas natural y gas licuado de petróleo (LPG). Las moléculas de tamaño grande son de gasolina. Las moléculas aún más grandes forman el combustible diesel, aceite para calefacción, y la kerosina. Las moléculas de mayor tamaño son la base para el aceite lubricante.

El petróleo en su estado natural es un líquido espeso y negro formado en cavidades subterráneas a lo largo de millones de años por los restos de plantas y animales sujetos a grandes presiones por las capas de la tierra. Es de esta forma que el petróleo crudo consta de una mezcla de agua, fango, arena, hidrocarburos, gas, azufre, nitrógeno, compuestos oxidados y trazas de compuestos metálicos. Las cantidades pueden variar según la localización de los pozos de petróleo, pero la distribución es generalmente la siguiente: carbono entre un 83 y un 87 %; hidrógeno entre un 11 y un 14%; azufre, menos del 5%; nitrógeno y oxígeno, menos del 1%; y compuestos metálicos de 0.001 a 0.050 %.

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos cuya estructura química está formada de átomos de carbono (C) e hidrógeno (H), unidos en varias combinaciones llamadas Moléculas. Los hidrocarburos son la parte que se aprovecha del petróleo como combustibles. Entre los diferentes hidrocarburos presentes en el petróleo tenemos los componentes ligeros (gasolinas), los pesados (lubrificantes), y los asfálticos (bituminosos).

Los combustibles más comúnmente usados en los motores de combustión interna son una mezcla de muchos compuestos diferentes de hidrocarburos que se obtienen al refinar el petróleo crudo, éstos se diferencian entre sí por la estructura de sus moléculas. La estructura y la magnitud de las moléculas, así como la relación numérica de sus átomos de hidrógeno y de carbono determinan el comportamiento de los combustibles en el momento de quemarse en el motor. Cada átomo de carbono puede combinarse con cuatro de hidrógeno. El petróleo crudo contiene cuatro familias de hidrocarburos:

- Los alcanos o parafinas : son moléculas saturadas de hidrógeno de unión simple y cadena abierta, lo que significa que no puede agregarse más hidrógeno. Esta estructura lineal en forma de cadena es lo que las caracteriza, y son el principal componente del petróleo. Su representación química es  $(C_nH_{2n+2})$ . Estas largas moléculas son relativamente inertes y no son muy apropiadas para un motor de combustión. Los alcanos con cadenas largas de moléculas no tienen características adecuadas para usarse como gasolina. Las moléculas de cadenas pequeñas sí son apropiadas y pueden obtenerse separando las grandes por destilación.

- Los cicloalcanos o naftenos: los naftenos son hidrocarburos con estructura de anillo, son insaturados ya que el anillo puede romperse y agregarse más hidrógeno. Su representación química es  $(C_nH_{2n})$ .
- Las olefinas: son hidrocarburos de cadena abierta que contienen una doble unión y por lo tanto son insaturados. Las olefinas son un componente valioso de la gasolina por su resistencia a la detonación en el motor. Se presentan en poca cantidad en el petróleo pero se pueden transformar convirtiendo las moléculas grandes en moléculas pequeñas mediante desdoblamiento o "cracking". Su representación química es  $(C_nH_{2n})$ .
- Los aromáticos: el bloque de construcción para los hidrocarburos aromáticos es la estructura de anillo de benceno. Esta estructura anular es muy estable y acomoda grupos adicionales de  $-CH_2$  en cadenas laterales y no por expansión en el anillo. Su representación química es  $(C_nH_{n-6})$ .

El petróleo tiene pocos aromáticos, y dado que proporciona a la gasolina cualidades muy valiosas tales como alta potencia y resistencia a la detonación en el motor, las gasolinas destiladas son parcialmente convertidas en hidrocarburos aromáticos en el proceso de reformado. El combustible que resulta tiene un olor aromático y de allí proviene su nombre. Sin embargo, a partir del creciente interés en el deterioro del aire ambiental, los aromáticos en el combustible vienen regulados por normas estrictas.

La gasolina y el diesel son combustibles que están formados por una gran variedad de hidrocarburos (aproximadamente de 200 a 300 diferentes), producto de las combinaciones de los grupos básicos anteriores. Sin embargo, debido al proceso de destilación del proceso crudo, ambos llegan a tener propiedades completamente diferentes, tanto en su funcionamiento dentro del motor, como en la calidad y cantidad de las emisiones que produce.

Los hidrocarburos que forman el petróleo crudo tienen puntos de ebullición muy amplios. Para separar estos hidrocarburos se emplea la destilación fraccionada, es decir, que se separa el petróleo en diferentes fracciones que corresponden cada una a un rango de temperaturas de ebullición. Así, al destilar a una temperatura no mayor de  $200^{\circ}C$ , se separa el primer grupo de hidrocarburos, que después de agregarle aditivos y darle otros tratamientos químicos, forman la gasolina. Si la fracción residual se destila a una temperatura no mayor a los  $400^{\circ}C$ , se separan otros hidrocarburos que forman el diesel, quedando sólo los residuos que se usan para fabricar asfalto. La anterior fue solamente una descripción simplificada del complejo proceso de destilación, una buena parte del diesel se produce mezclando hidrocarburos obtenidos de fuentes distintas de la destilación directa del petróleo. Lo importante es comprender que cada una de las fracciones y subfracciones del petróleo posee características que la diferencian de las otras.

Como resultado, tenemos que la gasolina es un producto del petróleo con un mayor grado de refinamiento que el combustible diesel, que le proporciona mayor fluidez y volatilidad. Los porcentajes de azufre en la gasolina son mucho menores que para el diesel (punto de ebullición más elevado), de allí que el

diesel genere mayores emisiones de ácido sulfúrico ( $\text{SO}_2$ ). De esto también se deriva que los combustibles diesel tengan mayor cantidad de carbón y cenizas disueltos en él, y consecuentemente emitan mayor contaminación en forma de material particulado en suspensión.

Gasolina						
Com bustible para a viones						
Diesel y combustibles industriales						
gases	nafta ligero	nafta pesado	keroseno	aceite liviano	aceite pesado	residuos
0°C	100°C		200°C	300°C		400°C
Temperaturas de destilación y sus correspondientes fracciones de des tilado						

Figura 3.1. Productos obtenidos de la destilación del petróleo y sus rangos de temperaturas de ebullición.

En general, podemos decir que la composición química de la gasolina y del diesel es un arreglo de hidrocarburos que hace un compromiso entre las diferentes cualidades de sus componentes. Por esto, las composiciones químicas de la gasolina y el diesel se representan genéricamente de la siguiente forma: Gasolina ( $\text{C}_n\text{H}_{1.87n}$ ), y Diesel ( $\text{C}_n\text{H}_{1.8n}$ ).

#### B. Características Generales de la Gasolina.

Las gasolinas para vehículos automotores son esencialmente mezclas de hidrocarburos derivados del petróleo, a las cuales se les añaden ciertos aditivos que les dan características específicas. Éstas deben satisfacer las necesidades del motor, deben ser limpias y anticorrosivas en las partes del sistema de combustible. Por lo tanto, los aspectos cualitativos más importantes de las gasolinas son: la combustibilidad, la volatilidad, y el rendimiento estable de oxidación y detergencia.

1. Combustibilidad. En el mercado las gasolinas se clasifican en base al número de octanos. El octanaje es una forma de medir la capacidad de la gasolina a resistir la detonación o golpeteo. La detonación ocurre cuando se enciende espontáneamente la gasolina (autoencendido) en algún lugar distinto de la cámara de combustión antes de que la bujía suelte la chispa. Esto hace que la mezcla aire-combustible se quemé demasiado rápido, causando un aumento repentino de presión dentro de la cámara de combustión. Esto a su vez genera una onda de choque que se transmite hacia afuera, haciéndola audible. Esta molestia se manifiesta como un ruido de rápida intermitencia, va acompañado de una preignición de la mezcla combustible sin control, y altas temperaturas de combustión. Todo en conjunto puede dañar seriamente la cabeza de los pistones; además causa disminución en la potencia del motor y un aumento en el consumo de combustible.

Por esto es necesaria una gasolina cuya combustión dure más tiempo para evitar la detonación. La diferencia primaria entre los grados de gasolina es su calidad de antigolpeteo. Los grados de calidad superior

de gasolina se hacen a partir de existencias selectas que tienen resistencia al golpeteo en la refinería. Esto les da un octanaje más alto que los grados de gasolina regular. La gasolina regular tiene una combustión más espontánea que la superior.

El octanaje de un combustible se determina en un motor estándar para investigación de combustibles, el motor es de un cilindro y tiene compresión variable. El resultado de la prueba se compara con la cantidad de detonación producida con una gasolina de referencia cuyas características antidetonantes son ya conocidas.

Las gasolinas de referencia están hechas mezclando en varias proporciones al iso-octano, un hidrocarburo al que se le ha asignado un número de 100 octanos y al heptano-n (heptano normal), que tiene un número de 0 octanos. Por ejemplo, si cierta gasolina tiene características antidetonantes iguales a una gasolina de referencia que está hecha con un 90% de iso-octano y 10% de heptano-n, se le asigna un número de 90 octanos.

Para medir el número de octanos de una gasolina se usan dos diferentes métodos de investigación y procedimientos de prueba. El primer procedimiento, que ya se describió en el párrafo anterior, se llama el Método de Investigación; el segundo método es el Método del Motor. La gasolina tiene un octanaje diferente para cada método de prueba. Del Método de Investigación se obtiene el número de octano por investigación, o por sus iniciales en inglés RON (research octane number), que generalmente es mayor que el número de octano del motor o MON (motor octane number), que se obtiene del Método de Motor. La diferencia entre estos dos octanajes se llama sensibilidad del combustible, y es causada por el tipo de existencia de petróleo del que se hizo la gasolina.

Finalmente puede calcularse un tercer número, el número de octano en carretera (road octane number), que se determina usando un procedimiento estandarizado en un vehículo propiamente, con un número de octanos generalmente situado en el promedio de los dos métodos anteriores. Es decir: Número de Octano en Carretera =  $(RON + MON)/2$ .

La gasolina tiene un número de octanaje y cada motor tiene un requisito mínimo, abajo del cual no trabajará libre de golpeteo. El requisito de número de octanaje del motor es el resultado del diseño de la cámara de combustión, la presión de operación media efectiva, la humedad de la carga, la temperatura de la carga comprimida, las revoluciones por minuto del motor y los depósitos en la cámara de combustión.

Si el motor de gasolina golpetea, el motor necesita gasolina con un octanaje más alto. Uno o dos tanques llenos de gasolina de bajo octano no dañarán el motor si el conductor reduce la abertura de aceleración cuando se oye el golpeteo. No hay necesidad de usar una gasolina de octano más alto cuando el motor trabaja libre de golpeteo. Con el uso de diferentes grados de gasolina, el operador puede determinar en forma segura la gasolina del más bajo precio que podrá satisfacer los requisitos del motor.

En base al número de octanos, las gasolinas en Guatemala han sido clasificadas en dos grados: "regular" y "superior". La gasolina regular tiene 87 octanos y la superior 95, medidos con el método RON. En los Estados Unidos se distribuye gasolina contres valores de octano diferentes: 87, 89, y 92, medidos con el método  $(RON + MON)/2$ . La gasolina superior distribuida en Guatemala con un valor de 95 RON equivale a la de 89 octanos  $(RON + MON)/2$  distribuida en los Estados Unidos. O sea que nuestra gasolina superior tiene un octanaje equivalente al de la gasolina intermedia de los Estados Unidos.

Al aumentar el octanaje de un motor, éste puede tener relaciones de compresión mayores, mejorando su eficiencia térmica. Los motores de alta compresión tienen mejor rendimiento, tanto en potencia como en economía de combustible. Mientras mayor es la compresión del motor, mayores son los requerimientos de octanaje. Sin un octanaje adecuado solamente podríamos usar motores de baja compresión, los cuales son menos eficientes.

2. Volatilidad. Las gasolinas deben ser lo suficientemente volátiles de manera que permitan su evaporación a temperaturas bajas, para lograr la debida mezcla de aire/combustible de modo que se pueda arrancar el motor en frio. Al mismo tiempo, no deben ser tan volátiles que puedan evaporarse en las líneas de combustible y causen bolsas de vapor cuando el motor esté trabajando a altas temperaturas. Una bolsa de vapor en el lado de succión de la bomba de combustible detendrá el flujo de gasolina líquida.

Por otra parte, no deben ser tan pesadas que no se evaporen o se quemen en la cámara de combustión. Si esto sucede, el combustible no quemado lavará el aceite lubricante de la pared del cilindro y diluirá el aceite del motor.

La capacidad de gasificación de un carburante se mide por su presión de vapor a una temperatura dada dentro de un recipiente. La medida se denomina RVP (Reid vapor pressure), presión de vapor Reid o Método Reid.

Para conseguir el balance debido, la volatilidad puede ser cambiada en la formulación de la gasolina, lo cual generalmente se hace agregándole butano. La volatilidad de la gasolina debe ser aumentada o disminuida según la temperatura ambiente del lugar donde se use.

3. Estabilidad de Oxidación y Rendimiento de Detergencia. Al almacenarse la gasolina, el oxígeno disuelto en ella hace que se oxide (esto es, que el oxígeno se combine con la gasolina), formando con ello sedimentos de goma no volatilizable y ácidos corrosivos. Si este sedimento alcanza a depositarse en componentes del sistema de combustible, puede obstruir los conductos afectando la operación del motor. Es por ésto que se añaden aditivos antioxidantes, desactivadores metálicos y dispersadores de detergente a la gasolina, para evitar el deterioro durante el almacenaje.

Los requisitos físicos y químicos de las gasolinas superior y regular que se utilizan en Guatemala, pueden encontrarse en las tablas A 3.2 y A 3.3 del apéndice A.

### C. Características Generales del Diesel.

Las moléculas de hidrocarburos en el combustible diesel son más grandes que las de la gasolina porque provienen de una fracción de petróleo crudo llamada destilado. Hay varias características que los destilados deben tener: capacidad de fluir (viscosidad controlada), poder evaporarse en un tiempo limitado (volatilidad controlada), y ser limpios.

La definición de combustible diesel es muy amplia, lo que implica que existen varias posibles combinaciones de las características que puedan poseer. Como el combustible que va a ser utilizado es para motores Diesel de uso en el transporte de carretera, con cambios frecuentes en la carga y velocidad, se necesitan ciertos requerimientos mínimos para asegurar un funcionamiento confiable bajo las condiciones descritas. En la tabla A 3.1 del apéndice A se muestran los requisitos físicos y químicos del combustible diesel utilizado en Guatemala. Las características deseadas en el combustible para el motor Diesel son:

1. Calidad de Encendido y Retardo de Ignición. Como se explicó con anterioridad, el retardo de ignición en un motor Diesel es el intervalo de tiempo entre el inicio de la inyección del combustible y el inicio de su encendido. El retardo de ignición es una propiedad de importancia fundamental en los combustibles diesel porque influye directamente sobre el intervalo de combustión no controlada durante la inyección.

Para explicar esto más detalladamente recordemos que el período de retardo de ignición es más corto que la duración de la inyección misma; lo que quiere decir que la ignición se da únicamente en la fracción del combustible que ya ha sido inyectado a la cámara de combustión en el cilindro, mientras que la fracción restante es inyectada a la flama quemándose instantáneamente.

Bajo estas circunstancias, el período total de combustión puede ser dividido en las cuatro etapas siguientes: Retardo de ignición, Rápido incremento de la presión dentro del cilindro, Aumento controlado de presión, y Quemado durante la expansión en la carrera de potencia.

De estas cuatro etapas concentraremos nuestra atención en el rápido incremento de la presión, que se da inmediatamente después del retardo de ignición. El rápido incremento de la presión es debido a la gran cantidad de puntos de ignición y a la acumulación de combustible durante el período de retardo de la ignición. Después de este paso sigue el aumento controlado de la presión, ya que el ritmo de la combustión puede controlarse mejor al controlar la velocidad de inyección, dado que el combustible es inyectado dentro de la flama.

El rápido aumento de presión representa una combustión incontrolada e ineficiente, que es resultado de haber quemado el combustible acumulado durante el período de retardo de la ignición. De esto se desprende que es deseable limitar ese retraso al mínimo. Esta limitación puede ser realizada mecánicamente, por ejemplo por la rápida vaporización de combustible usando un rociado muy fino del inyector de combustible, por el aumento de la temperatura de la carga de aire, por el aumento de la presión de

compresión, o por el aumento de la turbulencia de la cámara de compresión, pero la naturaleza del combustible es el factor más importante en reducir este intervalo.

En la operación del motor Diesel, la principal propiedad requerida del combustible es la calidad de encendido, que afecta el arranque en frío del motor, la rapidez en el calentamiento, la aspereza de la combustión, la formación de depósitos blandos, y la reducción en el humo de escape. La calidad de encendido requerida para operar apropiadamente un motor Diesel está relacionada con el diseño de la cámara de combustión, tamaño del motor, condición mecánica, condición de operación, temperatura de operación y altitud.

La calidad de encendido del combustible diesel afecta la longitud del periodo de retardo de ignición (que dura de 1.2 a 1.8 milisegundos), y está indicada por su Número de Cetano. El Número de Cetano de un combustible Diesel es la base numérica para la evaluación de su retardo de ignición.

El grado de cetano se determina en un motor de investigación de combustible similar al usado para medir el octanaje de la gasolina. Para establecer la escala del número de cetano se seleccionan dos combustibles de referencia. El primero es el normal cetano, que tiene excelentes cualidades de ignición y consecuentemente un periodo de retardo muy corto; es por ésto que arbitrariamente se le ha asignado un número de cetano de 100 a este combustible. El segundo combustible es el alfametilnaftaleno, que tiene pobre calidad de ignición y le fue asignado el número de cetano de 0. En 1962 el alfametilnaftaleno fue reemplazado como referencia primaria por el heptametilnonano, el cual tiene un número de cetano de 15, determinado usando los dos combustibles de referencia originales. Para determinar el número de cetano de cualquier combustible, su retardo a la ignición es comparado en un motor de prueba, con una mezcla de los combustibles de referencia.

Cuanto más alto es el número de cetano, más corto es el periodo de retardo de ignición, y menor la cantidad de combustible en la cámara de combustión cuando el mismo se enciende. Los combustibles con alto número de cetano tienen buena calidad de encendido, bajas temperaturas de autoencendido y cortos periodos de retardo de ignición, que provocan bajos incrementos de presión y bajas presiones puntuales, permitiendo un mejor control de la combustión y un incremento de la eficiencia y potencia obtenidas del motor.

Los combustibles con número de cetano bajo tienen periodos de retardo largos que producen presiones altas en el cilindro y causan aspereza del motor. La mayor parte de los combustibles diesel para motores de alta velocidad tienen números de cetano de entre 45 a 55. Igual que los grados de octano de las gasolinas, no existe ventaja en usar un combustible con un grado de cetano arriba del requisito mínimo del motor Diesel.

2. Volatilidad, Viscosidad y Limpieza. El resto de las características deseables en el combustible para motores Diesel son similares a las requeridas para la gasolina en un motor de encendido por chispa. El combustible diesel es menos volátil que la gasolina, sin embargo éste debe evaporarse en un rango de temperaturas aceptables (según el ciclo del motor Diesel) para que pueda realizarse la mezcla de aire/combustible en el cilindro. Deberá fluir con facilidad, de manera que permita ser manejado por el equipo de inyección, adaptándose con un manipuleo conveniente en todas las etapas de la refinería hasta los tanques de combustible del motor. Además, no deberá experimentar degradación que perjudique las superficies con las que tenga contacto.

#### D. Normas de la Calidad de la Gasolina.

Por lo que hemos podido observar hasta ahora, la calidad del combustible es un factor principal en el desenvolvimiento del motor. La emisión de compuestos secundarios al quemar la gasolina es inherente a la naturaleza misma del combustible, por lo que este fenómeno es inevitable mientras se sigan utilizando estos tipos de combustible.

Durante los últimos años, el esfuerzo en el mejoramiento de la calidad del combustible ha sido orientado hacia la reducción de las emisiones. Algunos de los hidrocarburos y de los aditivos presentes en la gasolina son particularmente dañinos, ya sea porque se descarguen sin quemarse, o porque al hacerlo se generen subproductos indeseables. A continuación se mencionaron las reformas principales hechas a la gasolina.

1. La Eliminación del plomo. Para que un motor de combustión interna funcione adecuadamente, alargándose su vida útil, es necesario que pueda controlarse el efecto de detonación. Este efecto se ve incrementado en los motores con mayores niveles de compresión, por lo que se obliga a tener motores de baja eficiencia para evitarlo.

Para resolver este problema, desde 1920 comenzó a añadirse a la gasolina un compuesto llamado Tetraetilplomo. Este compuesto es un antidetonante, que ayuda a aumentar el octanaje de la gasolina, evitando daños en el motor y permitiendo subir las compresiones. El Tetraetilplomo, también forma depósitos en el motor que lubrican algunas de sus partes protegiéndolas del desgaste, y acorta la vida útil a otras partes del vehículo donde los depósitos son perjudiciales. Por ejemplo, los asientos de las válvulas se veían grandemente beneficiadas con este aditivo, específicamente cuando se conduce a velocidades superiores a los 150 Kms/hr durante dos o tres horas. En Europa es común encontrar autopistas que permitan este tipo de manejo. En Guatemala no se tienen éstas condiciones.

El gran problema del Tetraetilplomo es que, al igual que otros compuestos con plomo, es extremadamente dañino para la salud de las personas, una vez dentro del cuerpo humano, éste no lo elimina nunca, provocando enfermedades severas a largo plazo cuando sobrepasa los niveles de tolerancia del cuerpo.

Por esta razón este es un aditivo que está siendo eliminado a nivel mundial. Países como Austria, Brasil, y Guatemala han eliminado por completo el uso de este compuesto; la Unión Europea ha fijado recientemente el límite de 0.15 gr/lt de contenido de plomo en la gasolina tras demostrar que éste es el contenido mínimo necesario para proteger el motor de los vehículos.

Tabla 3.1

Límites del contenido de plomo, contenido actual, consumo de gasolina con plomo, y año proyectado para la eliminación total del plomo en la gasolina para varios países de América Latina. 1996.

Pais	Límite máximo permitido por la ley (gr/lt)	Contenido de la gasolina actualmente en el mercado (gr/lt)	Consumo de gasolina con plomo. (Porcentaje del total de gasolina consumida)	Año proyectado para la eliminación total
Barbados	ne	0.79	60	2001
Chile	0.60	0.31	72	np
Jamaica	ne	0.77	70	2002
México	0.06 - 0.08	0.11	44	2000
Antillas Holandesas	ne	0.23	50	np
Panamá	0.76 <sup>a</sup>	7	45 - 63	2000
Paraguay	0.15	0.20	99	2004
Perú	0.74	0.41 - 0.62	75	np
Trinidad y Tobago	0.40	0.15 - 0.45	99	np
Uruguay	Ne	0.58	96	np
Venezuela	0.85	0.30-0.40	100	np

ne : No existen límites

np : No proyectado antes del 2002

a : Este límite entra en vigor hasta el año 2000

Fuente : Onursal, B. & Gautam, S.P. (Banco Mundial) 1996

Se han encontrado varios sustitutos que han demostrado ser tan eficientes como el Tetraetilplomo pero mucho menos contaminantes. Entre éstos se encuentran el etanol, el metanol, el éter metil butílico terciario, y el alcohol butílico terciario. Estas sustancias son contaminantes, sin embargo, no son tan malignas como el plomo.

2. Contenido de Benceno y otros Aromáticos. Los hidrocarburos aromáticos son aquellos que contienen uno o más anillos de benceno en su estructura molecular. Son hidrocarburos de alto octanaje que se han logrado concentrar en la gasolina utilizando nuevas técnicas de refinación.

Estos hidrocarburos, a pesar de que llegan a reemplazar a los compuestos de plomo inclusive, son aún bastante tóxicos. Además, debido a un contenido mayor de carbono, y a las mayores temperaturas que alcanzan al quemarse, producen mayores emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos nitrosos. Muchos países regulan el contenido de benceno y aromáticos en la gasolina para mantenerlos a un nivel mínimo, de manera que la población se vea expuesta a la menor cantidad posible de estas sustancias, reduciendo a su vez las emisiones de los otros contaminantes.

Tabla 3.2

Estándares de calidad para el contenido de benceno e hidrocarburos aromáticos en la gasolina en diferentes países.

País	Límites Permitidos (% en volumen)		Contenido de benceno en la gasolina actualmente en el mercado ( % volumen)	
	Benceno	Aromáticos	Benceno	Aromáticos
Argentina	4.0	Nd	0.8 - 2.5	16.8 - 44.4
Australia	5.0	Nd	nd	nd
Chile	5.0	nd	1.4 - 1.8	19.2 - 49
Colombia				
Regular sin plomo	0.8	nd	0.64 - 0.8	22.1 - 24.4
Extra sin plomo	0.9	nd	0.91 - 0.93	23.2 - 28.3
Estados Unidos	1.0	25	nd	nd
Italia	3.0	33	nd	nd
Korea	6.0	55	nd	nd
México	2.0 β	30 δ	0.45 - 2.1	25 - 33.3
Nueva Zelanda	3.0	nd	nd	nd
Tailandia	3.5	50	nd	nd
Trinidad y Tobago	5.0	nd	5	nd
Unión Europea α	5.0	42 ε	nd	nd

α : Excepto Italia

β : Sólo en México D.F., Monterrey, y Guadalajara. Para el resto del país el estándar es de 4.9% en volumen.

δ : Solamente en México D.F., Monterrey, y Guadalajara.

ε : Desde el 2005 será de 35% en volumen

Fuente : Onursal, B. & Gautam, S.P. (Banco Mundial) 1997. Normas europeas sobre combustibles (Comité Europeo de Normalización.) 1993.

No es factible eliminar por completo al Benceno y a los hidrocarburos aromáticos pues no son aditivos sino productos de la destilación fraccionada del petróleo, de tal forma que mientras se siga utilizando la gasolina, existirán emisiones de estas sustancias, manteniéndolas al nivel más bajo posible.

3. Gasolinas Reformuladas. La gasolina reformulada es un tipo de gasolina al que se le ha modificado su composición, disminuyendo la concentración de ciertas sustancias, eliminando otras, y agregando unas nuevas, alterando su fórmula original de manera que se obtenga un nivel de emisión de contaminantes más bajo que el de la gasolina convencional. El origen de esta gasolina se encuentra en las reformas al Decreto del Aire Puro de 1990 de los Estados Unidos, en las cuales se establece que a un plazo de cinco años, se empleen gasolinas reformuladas en aquellas partes del país con mayores problemas de ozono (grandes centros urbanos). Los requisitos generales de estas gasolinas son los siguientes:

- Mantener un octanaje similar al de las gasolinas convencionales.
- Eliminar o llevar a un mínimo la presencia de metales pesados (ej.: plomo o manganeso).
- Reducir el contenido de benceno y otros hidrocarburos aromáticos.
- Reducir el contenido de olefinas para disminuir así las emisiones de sustancias fotoreactivas que forman ozono y la acumulación de resinas en el motor que obstruyen los inyectores.

- Aumentar el contenido de alkylatos para obtener una combustión más limpia.
- Reducir el contenido de azufre para obtener una mayor eficiencia en el catalizador de los vehículos y reducir las emisiones de óxidos de azufre.
- Aumentar la presencia de oxígeno para mejorar la eficiencia de la combustión y disminuir así las emisiones de CO e hidrocarburos no quemados.
- Agregar aditivos de limpieza para evitar la formación de depósitos en el sistema de bombeo de combustible, de manera que éste sea eficiente y aumente así la eficiencia de la combustión.

Con base en los anteriores lineamientos, muchos países han elaborado sus propias normas sobre el contenido de las gasolinas reformuladas. El principal énfasis se ha hecho en la reducción del contenido de benceno y aromáticos, y en la adición de compuestos oxigenados que logran elevar el octanaje y aumentar la eficiencia de la combustión, reduciendo a la vez las emisiones de CO e hidrocarburos.

Tabla 3.3

Normas para gasolina reformulada en California y Finlandia, y norma federal de USA para gasolina convencional.

Componente	Norma Federal USA para gasolina sin plomo	Norma del Estado de California para la fase I de gasolina reformulada <sup>2</sup>	Norma de Finlandia para gasolina reformulada
Benceno (máximo % en volumen)	1.5	1	1
Aromáticos (máximo & en volumen)	32	25	nd
Azufre (máximo en ppm)	339	40	100
Oxigenados (mínimo % en peso)	nr	1.8	2
Presión de vapor Reid (RVP)(psi) <sup>1</sup>	8.7	7	10.1
Olefinas (% en volumen)	9.2	6	nd

nr : no regulado

nd : no disponible

1 : La reducción de este parámetro implica una reducción en los compuestos volátiles

2 : La fase I comprende el periodo entre el 1/Enero/99 al 1/Enero/2000. Para la fase II los límites son más estrictos.

Fuente : Code of Federal Regulations (40CFR79.55) USA 1998, California Environmental Protection Agency (CaRFG1) Regulations 1995, y Onursai, B. & Gauntam, S.P. (Banco Mundial) 1997.

Mientras no se generalice el uso de combustibles alternativos o de tecnologías más limpias que sustituyan a los motores de combustión interna, las gasolinas reformuladas serán la mejor opción para reducir al mínimo las emisiones de contaminantes de los vehículos de gasolina.

## E. Normas de la Calidad del Diesel.

La calidad del combustible diesel es responsable directo en la eficiencia de combustión y en la contribución en la emisión total de contaminantes que tiene este tipo de motor sobre el ambiente. Por esta razón se mencionarán los factores principales que afectan la calidad del combustible diesel.

1. Contenido de Azufre. El alto contenido de azufre que el diesel tiene en comparación con la gasolina es uno de los principales problemas ambientales de este combustible. Los problemas que genera el azufre son varios; por una parte, un porcentaje del azufre se quema formando dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) que se va a la atmósfera junto con los gases de escape. Este SO<sub>2</sub>, a su vez, forma ácido sulfúrico durante y después de la combustión, contribuyendo a la formación de lluvia ácida. Además, los metales presentes en los hidrocarburos del diesel reaccionan con el azufre, formando sulfatos que son emitidos a la atmósfera en forma de partículas.

Muchos países, entre ellos Suiza, Japón, y Estados Unidos, han impuesto regulaciones a la cantidad de azufre presente en el diesel siendo el límite máximo comúnmente aceptado de 0.05% en peso. Otros países como Suecia y Finlandia han puesto en el mercado un diesel que es prácticamente libre de azufre (0.001-0.005 en peso de contenido), promoviéndolo a través de incentivos fiscales.

El azufre es removido del diesel tradicionalmente por medio de un proceso llamado "hidro-desulfuración a baja presión", capaz de eliminar entre un 65 y 75% del azufre presente. En la actualidad se utiliza el mismo proceso a mediana y alta presión que puede remover el azufre a porcentajes mayores al 95%. El costo de operación de estos procesos es considerado moderado, pero la inversión de capital se requiere para modificar una refinería existente y adaptarla para la hidro-desulfuración, si es muy alta.

2. Número o Índice de Cetano. Todos los combustibles tienen la capacidad de auto ignición, pero cada uno a diferentes condiciones, de tal forma que al ser sometidos todos a la misma presión y temperatura, algunos se inflamarán, otros tardarán más, y otros no lo harán nunca. Como ya se explicó con anterioridad, este índice mide la capacidad de un combustible de encender o inflamarse en forma espontánea, al ser sometido a las condiciones de presión y temperatura propias de los motores diesel. Mientras más alto sea este número, más rápido se encenderá el combustible al entrar a la cámara de combustión.

El índice de cetano en el diesel está directamente relacionado con las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos sin quemar; así, si el diesel tiene un índice de cetano bajo, tardará más en autoinflamarse dentro del motor en marcha, quedando al final parte de éste sin quemarse o parcialmente quemado. Por otra parte, si el índice de cetano es alto, el diesel se encenderá y quemará rápido antes de la siguiente carrera del pistón.

La composición del petróleo suele variar dependiendo del lugar de extracción, pero esta variación se da principalmente en los hidrocarburos más pesados, por lo que el diesel es mucho más susceptible que la

gasolina, de variar su composición dependiendo del lugar de extracción. Es por ésto, que a pesar de lo importante que es este parámetro, es difícil controlarlo, pues depende mucho de la composición del diesel. Por ejemplo, el diesel europeo tiene un índice de cetano promedio de 50, el de Paquistán de 52, y el de Estados Unidos de 43. Para mejorar un diesel con bajas propiedades de autoignición, las refinerías deben eliminar una parte de los hidrocarburos aromáticos, que tienden a bajar bastante este parámetro.

3. Contenido de Aromáticos. Los aromáticos generan problemas ambientales porque son muy tóxicos. En el diesel tienen el inconveniente adicional de que disminuyen el índice de cetano, provocando un aumento en las emisiones. El contenido de aromáticos del diesel también depende del lugar de extracción del petróleo, y por lo general suele andar en el orden del 20 al 30% en volumen, pero puede disminuirse utilizando técnicas especiales de destilación.

Los combustibles diesel que son fabricados de la mezcla de hidrocarburos obtenidos con fraccionamiento catalítico de aceites pesados, suelen llegar a tener de 40 a 50% de aromáticos en volumen (tal es el caso del diesel en Estados Unidos).

Los costos del procesamiento adicional del diesel, o de un cambio en el proceso de producción son altos, por lo que se ha dificultado fijar parámetros de reducción severos. El estado de California en los Estados Unidos, ha fijado el límite máximo de 20%, siendo éste el más bajo del mundo.

4. Densidad. La densidad se define como la masa que tiene un cuerpo por unidad de volumen y está expresada en el sistema métrico en  $\text{Kg/m}^3$ . El valor de la densidad en el diesel depende de los hidrocarburos que lo formen, y ésto a su vez depende del proceso de refinación; específicamente de la temperatura de destilación T90. La temperatura T90 es la temperatura a la que se ha obtenido ya el 90% del diesel. Esta temperatura es crucial, pues debe recordarse que la densidad de los hidrocarburos aumenta en las fracciones inferiores del petróleo, así como el punto de ebullición, por lo que al elevar la T90, se estará incluyendo en el diesel hidrocarburos más densos.

La densidad del diesel puede afectar la cantidad de emisiones que arroja un vehículo, en cuanto que tiene mucha influencia en la proporción de la mezcla aire/combustible. Las bombas de inyección de los vehículos con motor Diesel, están calibradas para entregar un cierto volumen de combustible. Dicha calibración se realiza utilizando un líquido patrón con la densidad estándar aproximada que se espera que tenga el diesel. Según la cantidad de diesel que se bombea se regula la proporción de la mezcla aire/combustible. Si el diesel que se utiliza tiene mayor densidad, se estará bombeando mayor cantidad de combustible, aunque el volumen bombeado sea el mismo, alterando la relación aire/combustible, y provocando un incremento en las emisiones de monóxido de carbono.

Al regular la densidad del combustible diesel también contribuye a regular el contenido de azufre, el cual es mayor en las fracciones más pesadas del petróleo.

Tabla 3.4

Propiedades generales del diesel según las regulaciones de algunos países.

País	Contenido de azufre (máximo % en peso)	Índice de cetano (mínimo)	Contenido de aromáticos (máximo % en volumen)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
Estados Unidos	0.05	40	40	824 - 860
Unión Europea	0.05	50	20	800 - 840
Brasil	0.3 <sup>1</sup>	40	Nd	820 - 880
Chile	0.3 <sup>2</sup>	45	Nd	830 - 870

1 : Este límite es para áreas urbanas. Para zonas rurales es de 0.5%.

2 : Igual que en Brasil.

nd : no disponible

Fuente : Información recopilada de : Faiz, A. & otros. (Banco Mundial) 1996.

Onursal, B. & Gautam, S.P. (Banco Mundial) 1997. Walsh, M. & Shah, J.J. (Banco Mundial) 1997

#### F. Combustibles Alternos

Han sido dos factores los que a lo largo de estos últimos años han llevado a la búsqueda de otras opciones para los combustibles tradicionales: 1) La proyectada disminución en la disponibilidad del petróleo, y 2) El aumento desmedido de la contaminación atmosférica, en especial en los grandes centros urbanos. El primer aspecto está directamente relacionado con la sostenibilidad a largo plazo de los recursos energéticos, y el segundo, a los efectos negativos que causan las sustancias que se generan durante la combustión de los derivados del petróleo.

Existe una gran variedad de fuentes de energía para los motores de combustión interna que no han sido explotadas por razones económicas o por tener baja eficiencia, pero que en las últimas dos décadas han sido objetos de investigaciones para determinar la factibilidad de su uso generalizado. De estos combustibles alternativos, algunos están regulados por las normas sobre combustibles, pero ninguno está cerca de llegar a sustituir al diesel y la gasolina. Los principales de estos combustibles alternativos son:

1. Gas Natural. Después del carbón, el gas natural es el combustible fósil más abundante en el mundo, con reservas estimadas en el doble de las del petróleo. Está formado principalmente por metano ( de 85 a 99%, dependiendo del lugar de extracción), y en menor cantidad de etano y propano. Las ventajas ecológicas de su uso en automóviles son muchas si se compara con la gasolina y el diesel: 1) El gas natural no contiene benceno, butadieno, formaldehído, ni plomo, y el contenido de hidrocarburos diferentes del metano es muy bajo; por consiguiente las emisiones de estos hidrocarburos serán más bajas. 2) No hay evaporaciones de combustible sin quemar ya que el sistema en el auto es sellado. 3) En un vehículo calibrado con mezclas pobres de aire/combustible, las emisiones de monóxido de carbono (CO) pueden llegar a ser de hasta un 97% más bajas. 4) Debido a las temperaturas más altas de operación, las emisiones de óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) son mayores, pero si el vehículo se equipa con un sistema electrónico de control de

mezcla y con un catalizador de tres vías, dichas emisiones se pueden llevar a niveles extremadamente bajos. Y 5) Si se considera un mismo nivel de eficiencia energética, las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son menores, ya que posee menor contenido de carbono por unidad energética.

Por otra parte, e independientemente de los aspectos ecológicos, es muy fácil “convertir” los vehículos de gasolina en vehículos de gas natural, e incluso pueden quedar funcionando con la opción de utilizar cualquiera de los dos combustibles. El costo de este cambio es bastante razonable si se considera que la inversión se recupera con el ahorro en el precio del combustible, que es más bajo que el de la gasolina.

A pesar de todo esto, su uso no se ha podido generalizar, y la razón principal está relacionada con los mecanismos de distribución. El gas natural se transporta desde los lugares de extracción por medio de tuberías y es almacenado en forma líquida a temperaturas muy bajas (gas licuado), o comprimido en tanques metálicos a temperatura ambiente. Para ser utilizado en los vehículos, se deben emplear cilindros metálicos con el gas presurizado a unos 3 000 psi, lo cual para vehículos livianos trae serios inconvenientes de peso y espacio, ya que, si se quiere almacenar la misma cantidad de energía, el auto debe llevar un cilindro que puede pesar hasta 5 veces más que un tanque de gasolina lleno, sin considerar que podría quitar casi todo el espacio disponible del baúl. A este problema se debe sumar el de la recarga de los cilindros, que por una parte, se dificulta debido al tiempo más largo que lleva este proceso.

Todos estos inconvenientes no existen cuando se trata de autobuses, pues por su tamaño no habría problemas de peso y pueden albergar mayor cantidad de cilindros, lo que les permite ser recargados durante la noche sin problemas de tiempo. Estas circunstancias ya han sido aprovechadas en varios países para hacer “más limpia” la flota de transporte público adaptándola para gas natural, y en algunos casos, se ha logrado extender su uso a vehículos privados. Países como Argentina, Italia, y Rusia, cuentan cada uno con más de 200,000 vehículos que utilizan gas natural. De resolverse los problemas mencionados, este combustible podría ser el sustituto ideal de la gasolina.

2. Gas Licuado de Petróleo (GLP). Es un subproducto del refinado del petróleo y de la licuefacción del gas natural. Está formado por una mezcla de gases, principalmente propano y butano, y en menores cantidades etano, iso-butano, y otros hidrocarburos. Todos éstos pueden encontrarse en proporciones muy variables dependiendo de la fuente de donde se obtengan, pero independientemente de eso, tienen un contenido energético similar al del gas natural, y funcionan de igual manera que éste en los motores de combustión interna de gasolina.

El GLP utilizado como combustible de vehículos, tiene características muy similares a las del gas natural, generando casi los mismos niveles de emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) y evaporaciones. Tiene además la ventaja de poder ser almacenado a temperatura ambiente a bajas presiones (200 psi), requiriéndose cilindros metálicos mucho menos resistentes

que los del gas natural y por consiguiente, menos pesados y más baratos, al bajar los costos de adaptación de los vehículos para este sistema.

Sin embargo, el GLP presenta dos inconvenientes que lo ponen en desventaja respecto del gas natural: 1) Presenta un pequeño aumento en las emisiones de hidrocarburos, pero manteniéndose siempre en niveles mucho más bajos que los de la gasolina y el diesel. Y 2) Los suministros de este combustible son limitados, lo cual sería un serio problema si se quisiera generalizar su uso como sustituto de la gasolina.

A pesar de lo anterior, es una opción viable para las flotas de transporte público, o de compañías privadas de transporte de carga, como se emplea ya en varios países.

3. Etanol. El Etanol o Alcohol Etilico es un combustible alternativo que atrajo mucho la atención en la década de los 70's tras la crisis petrolera de esa época. Brasil, por ejemplo, inició el programa Pro-alcohol, con el cual se ha logrado que cerca de un tercio de la flota vehicular brasileña a la fecha, opere con este combustible, puro o en algunas de sus variantes.

El etanol se emplea en los autos de gasolina en estado líquido a temperatura ambiente, sin embargo, requiere modificaciones en ciertas partes del vehículo (tanque de gasolina, carburador, y eventualmente los pistones) debido a que es más corrosivo que la gasolina. Ahora bien, existe la ventaja que dichas modificaciones son mucho más baratas que las necesarias para combustibles gaseosos como el gas natural y el GLP.

En cuanto a las emisiones, el etanol produce un 30% menos monóxido de carbono que la gasolina y un 15% menos de óxidos nitrosos. Las emisiones de combustible evaporado, de benceno, buadieno, y partículas, son también considerablemente más bajas. Por otro lado, las emisiones de acetaldehído y etanol sin quemar son más altas, pero pueden ser controladas con un catalizador. Se puede decir que en términos de emisiones el etanol es mucho más limpio que la gasolina y el diesel.

Las ventajas antes mencionadas son a pesar de todo, insuficientes para contarrestar el gran inconveniente del etanol, y es que en términos económicos es más caro que la gasolina. El etanol se obtiene a partir de la fermentación de azúcares extraídos de biomasa como la caña de azúcar o el maíz; lo cual implica primero que se necesita sembrar grandes cantidades de tierra para poder fabricar cantidades de etanol equivalentes al consumo actual de gasolina; además, el precio del etanol estaría ligado directamente al precio de los alimentos pues tiene que competir con ellos para obtener materia prima. En el caso de Brasil, que es el mayor productor de Etanol en el mundo, las autoridades han tenido que invertir cerca de un billón de dólares anuales en subsidios para garantizar el éxito de su programa Pro-alcohol.

En la actualidad el etanol se suele utilizar no tanto en estado puro sino en mezclas con gasolina conocidas como "gasohol", que contienen hasta un 22% de etanol; siendo ésta la máxima proporción con la que un vehículo sin modificaciones puede aceptar dicho combustible. Usando gasohol, la reducción en las

emisiones de la mayoría de los contaminantes no son significativas, pero cabe mencionar que el gran logro de este combustible es que hace innecesario el uso de aditivos con plomo como antidetonante, eliminando por completo las emisiones de ese contaminante.

4. Metanol. El metanol o alcohol metílico es un producto que se puede obtener industrialmente de hidrocarburos líquidos, del carbón, de biomasa o del gas natural, siendo este último método el más económico. Su uso como combustible alternativo fue promovido en Estados Unidos en la década de los setenta por las mismas razones que el etanol en Brasil, pero sus ventajas en cuanto a niveles de emisiones no son tan buenas como las de éste. Las emisiones del M85 (mezcla de 85% metanol - 15% gasolina) son bastante similares a las de la gasolina pura. El metanol puro (M100) puede utilizarse también como combustible para autos, y sus niveles de emisiones son bastante mejores, pero posee la gran desventaja de dar problemas serios de arranque en frío, siendo prácticamente imposible echar a andar un auto con metanol a temperaturas inferiores a 5°C.

## IV. CONTAMINANTES Y SUS EFECTOS

### A. Origen de las Emisiones Vehiculares

Las emisiones vehiculares son sustancias indeseables producidas durante el proceso de combustión en el funcionamiento de los automóviles, que llegan a convertirse en contaminantes del aire. Si se tuvieran las condiciones ideales y se lograra desarrollar la combustión completa de algún combustible hidrocarburo puro, se tendrían únicamente agua ( $H_2O$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) como productos directos en los gases residuales.

Sin embargo, las condiciones en las que se queman los hidrocarburos en la práctica están lejos de ser óptimas debido a las limitantes tecnológicas actuales. Estas limitantes pueden comprenderse evidenciando las dos causas principales que originan las emisiones: la combustión incompleta que ocurre durante el proceso de combustión en el motor, y la evaporación del combustible en alguna de las etapas de manipuleo dentro del automóvil.

Una tercera causa es la composición del combustible utilizado, ya que hay que tomar en cuenta que los hidrocarburos no se consumen en estado puro, sino que pueden contener disueltos otro tipo de sustancias; este es el caso del combustible diesel.

Estas tres causas originan las emisiones contaminantes más importantes producidas por los automóviles, siendo éstas: monóxido de carbono ( $CO$ ), hidrocarburos ( $HC$ ), óxidos nitrosos ( $NO_x$ ), partículas en suspensión ( $TPS$  y  $PM_{10}$ ), y dióxido de azufre ( $SO_2$ ). Las dos últimas son consecuencia de la composición del combustible. Las tres primeras son consecuencia de las limitantes tecnológicas de los modernos motores de combustión interna, por lo que las examinaremos más detenidamente.

### B. Comportamiento de los Gases Contaminantes

Los gases contaminantes como el monóxido de carbono ( $CO$ ), hidrocarburos ( $HC$ ), y óxidos nitrosos ( $NO_x$ ), tienen un comportamiento que es completamente dependiente de la mezcla de aire/combustible y los parámetros de operación del motor, ya sean motores Diesel o motores de gasolina. En cualquier caso, las limitantes técnicas de operación de los motores están en relación con la fracción del combustible administrado, que pudo ser eficientemente quemado durante el proceso de combustión. Por lo tanto, el comportamiento de los gases de escape variará considerablemente respecto de qué tan cerca se está de lograr una combustión completa en todo instante.

En teoría, si se lograra tener una relación en peso de aire/combustible de 14.7: 1 o mayor (mezcla pobre con un valor  $\lambda > 1.0$ ), se podría quemar todo el combustible dentro del cilindro.

Durante la operación del motor ( gasolina o Diesel ) esto no ocurre así, aunque se tenga un exceso de aire siempre ocurrirá la combustión incompleta en alguna forma, con la consecuente producción de emisiones. El comportamiento de éstos y otros gases originados por el proceso de combustión de los motores puede verse en la figura 4.1.

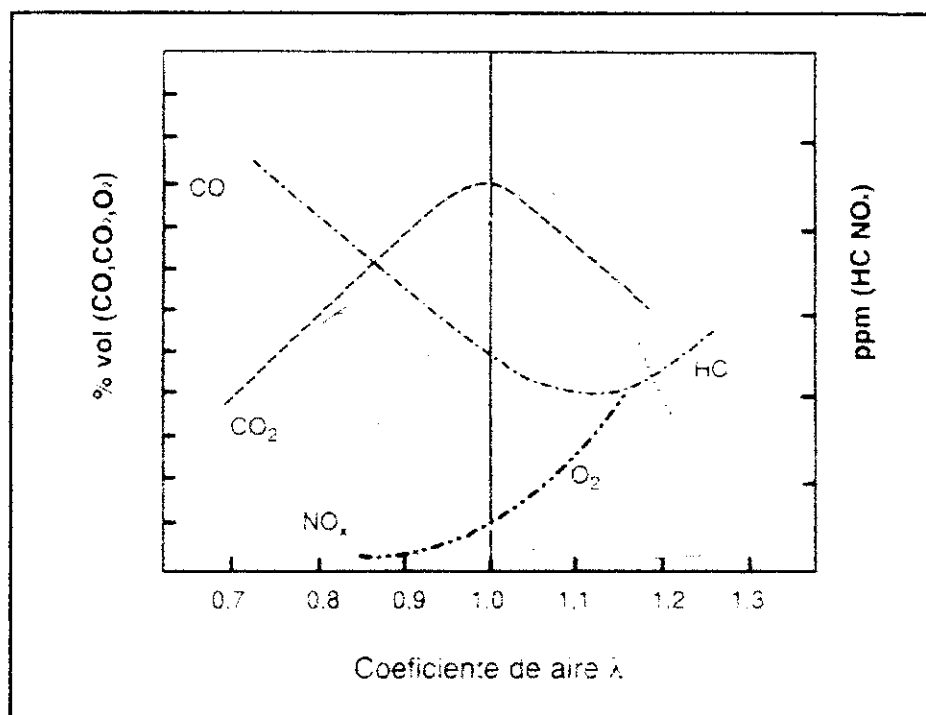


Figura 4.1. Comportamiento de los gases contaminantes

Esta gráfica es representativa del proceso real que se lleva a cabo dentro de los motores. Los contaminantes principales como el monóxido de carbono (CO), óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>), e hidrocarburos no quemados se plotean junto con otros dos gases: el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el oxígeno (O<sub>2</sub>). La producción de cada uno depende de la relación aire/combustible que se tenga en la mezcla durante la combustión. El análisis de esta gráfica ejemplifica los principales factores tecnológicos limitantes:

1. **Monóxido de Carbono (CO).** Es producido por una combustión incompleta debido a un insuficiente suministro de oxígeno a la cámara de combustión, y es debido a esto que frecuentemente se le utiliza como parámetro para la determinación de la mezcla. Si la mezcla de aire/combustible se enriquece, la cantidad de emisiones de CO aumentará. Si por el contrario la mezcla se empobrece, la cantidad de emisiones disminuirá hasta que la cantidad de CO formada sea despreciable, aunque nunca sea inexistente. Nótese cómo la formación de CO está en relación directa a la incapacidad de formar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y viceversa. Mientras más CO<sub>2</sub> se produzca, menos CO se

formará. Los principales obstáculos que impiden que todo el CO se convierta en CO<sub>2</sub> son:

- Primero. La formación de monóxido de carbono (CO) se da rápidamente, pero la subsecuente oxidación en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) toma un tiempo mayor, por lo que no podrá completarse la reacción durante los cortos intervalos de tiempo de que se dispone en la carrera del pistón.
- Segundo. Ocurre una combustión irregular de la mezcla aire/combustible debido a una distribución irregular del combustible en la cámara de combustión.
- Tercero. Las temperaturas alrededor de las paredes del cilindro son lo suficientemente bajas, por lo que no permiten que ocurra la combustión en las áreas del cilindro que son cercanas a estas superficies. La temperatura de la llama desciende de repente tan bajo en estas zonas que la llama se apaga debido a la dispersión de calor, incluso antes de que pueda alcanzar cada una de las superficies fronterizas. Estas zonas reciben el nombre de "Zonas de Extinción".

2. Hidrocarburos (HC). Los hidrocarburos (HC) son combustible no quemado en estado gaseoso que es arrojado a la atmósfera. La parte de hidrocarburos (HC) en los gases de escape es considerablemente menor a la parte de CO, por esto los hidrocarburos se miden en partículas por millón (ppm). Como con el CO, si la gasolina fuera quemada en la cámara de combustión, el gas HC no sería emitido en el escape, pero en la realidad el HC siempre se produce en este caso también. Su ocurrencia se debe a varios factores:

- Primero. Por combustión incompleta, mientras más rica sea la mezcla aire/combustible, la cantidad de hidrocarburos aumentará. Conforme la mezcla se aproxima al valor ideal con el parámetro lambda ( $\lambda$ ) en 1.0, la cantidad de hidrocarburos tenderá hacia un valor mínimo. Si por el contrario, la mezcla se empobrece demasiado la cantidad de hidrocarburos volverá a aumentar en vez de descender. Esto ocurre debido a que la falta de combustible causa una lenta propagación de la llama dentro del cilindro, con el resultado de que el combustible escapará de la cámara de combustión antes de que pueda ser completamente quemado. Esto se demuestra al tenerse valores casi inexistentes de CO y la aparición de oxígeno (O<sub>2</sub>) en los gases de escape.
- Segundo. Por escape del cilindro, durante el corto tiempo en que las válvulas de admisión y escape están abiertas un poco de HC es extraído de la cámara de combustión por la válvula de escape antes de que se quemé. Esto se llama "escape de gases del cilindro por traslape".
- Tercero. Al igual que con la formación de CO, la temperatura de la llama desciende de repente en las llamadas zonas de extinción previniendo que la mezcla aire/combustible de esas zonas se

encienda. El combustible no quemado o parcialmente quemado de estas zonas escapan del cilindro cuando el pistón comienza a moverse durante la carrera de escape.

- Cuarto. La mayor proporción de hidrocarburos (HC) que se emite a la atmósfera no proviene de las limitaciones en la cámara de combustión, sino del punto de evaporación de los combustibles, en donde si las circunstancias termodinámicas son favorables se evaporarán ya sea del tanque del combustible, o durante su recorrido en la admisión.

3. Óxidos Nitrosos (NOx). El nitrógeno en condiciones normales es estable. A altas temperaturas y altas concentraciones de oxígeno, el nitrógeno reacciona con el oxígeno para formar monóxido de nitrógeno (NO). El 95% de los óxidos nitrosos encontrados en los gases de escape son monóxido de nitrógeno, el cual se combina con el oxígeno en la atmósfera para formar dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Por lo tanto la temperatura máxima alcanzada en la cámara de combustión y la relación aire/combustible son los factores que tienen el mayor efecto sobre la concentración del NOx formado durante la combustión. Estos dos factores influyen en el comportamiento de los óxidos nitrosos (NOx) en la forma siguiente:

- Primero. Como puede verse en la figura 4.1, la mayor concentración de NOx es producida en una relación aire/combustible de 16:1 (aproximadamente  $\lambda = 1.08$ ). Si la relación aire/combustible usada es mayor o menor que ésta, entonces la concentración de NOx baja repentinamente. Al hacer la mezcla más rica, habrá menos oxígeno disponible, impidiendo la formación de los óxidos nitrosos (NOx); al hacer la mezcla más pobre, la combustión se hará más lenta previniendo que la temperatura de la llama en la cámara de combustión llegue a su máximo nivel.
- Segundo. Al avanzar o retardar la sincronización de encendido, se cambia la máxima temperatura alcanzada en la cámara de combustión. Cuando la mezcla aire/combustible se encuentra cerca de la relación teórica 14.7:1 ( $\lambda = 1.0$ ), la concentración de NOx aumenta notoriamente debido a la alta temperatura de combustión a medida que avanza la sincronización de encendido.

Estas consideraciones acerca del comportamiento de los gases de escape nos hace ser conscientes acerca del equilibrio que debe respetarse si pretendemos controlar las emisiones contaminantes de los vehículos.

### C. Comparación entre la Contaminación Producida por Motores de Gasolina y la Producida por Motores Diesel

Como hemos podido ver hasta ahora los motores de encendido por compresión (Diesel) y los motores de encendido por chispa (gasolina), tienen diferentes parámetros de funcionamiento y usan diferentes combustibles, por lo que no es sorpresa que contaminen en forma distinta también; aunque globalmente el impacto ecológico y en la salud de la población sea el mismo.

Si un motor de encendido por chispa se encuentra ajustado trabajará con una mezcla aire/combustible cercana a  $\lambda = 1.0$ , y por lo que se ha visto acerca del comportamiento de los gases de escape, tendrá bajas emisiones de monóxido de carbono (CO), bajas emisiones de hidrocarburos (HC), altas emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y altas emisiones de óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>). Si el motor no se encuentra ajustado, no sólo no funcionará eficientemente, sino que tendrá un incremento en las emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC), y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) junto con los óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) tenderán a bajar. Por lo general un motor de gasolina no trabaja con mezclas aire/combustible muy pobres. Además, por el tipo de combustible que este tipo de motor utiliza, su contribución a la contaminación producida por el material particulado en suspensión (PMS) es prácticamente inexistente.

Si un motor de encendido por compresión se encuentra bien ajustado, trabajará a temperaturas mucho mayores que un motor de encendido por chispa, utilizando además un exceso de aire para su funcionamiento, por lo que la mezcla de aire/combustible siempre estará empobrecida. Debido a este parámetro fundamental en la operación del motor Diesel, su proporción de monóxido de carbono (CO) emitida es prácticamente inexistente, y las proporciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) son muy altas. Las emisiones de NO<sub>x</sub> pueden llegar a ser entre cinco y diez veces más que las producidas por un motor de gasolina con convertidor catalítico. La proporción de hidrocarburos (HC) no quemados será baja si la mezcla se quema eficientemente. Si el motor se encuentra desajustado, la formación de hidrocarburos (HC) aumentará, la temperatura en la cámara de combustión será aún mayor aumentando la cantidad de óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) en los gases de escape.

A diferencia de la gasolina, el combustible diesel tiene disueltas pequeñas proporciones de azufre que también reaccionan durante el proceso de combustión, por lo que el motor Diesel contamina la atmósfera con dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

Otra consecuencia derivada también del tipo de combustible empleado, en conjunto a la falta de oxígeno local durante el proceso de combustión en un motor Diesel, es la fragmentación del carbono puro. Esto ocasiona el aumento de las humaredas negras en forma de nube a tal grado, que puede

considerarse que los motores Diesel son los únicos responsables, en lo que al transporte de carretera se refiere, del material particulado en suspensión (PMS y PM10), a pesar de que los vehículos equipados con motores Diesel son una pequeña minoría.

Sin embargo, la falta de mantenimiento adecuado hace que los motores Diesel del transporte público y del transporte pesado, rara vez funcionen ajustados. Además, actualmente los dispositivos para controlar las emisiones del diesel están tecnológicamente más atrasados respecto a los sofisticados controles para gasolina. Lo que provoca que en la práctica, los motores Diesel causen los más serios problemas para el medio ambiente y para la salud pública.

#### D. Contaminantes producidos por los Vehículos Automotores y sus Efectos en la Salud

El uso de los recursos naturales implica transformaciones en el medio ambiente que no solamente afectan la ecología sino que tienen consecuencias dañinas para la salud. Entre los procesos usados por el hombre, el uso de combustibles fósiles es el mayor generador de contaminación.

La contaminación no es sólo causada por los automóviles, otras causas importantes incluyen fuentes estacionarias como fábricas, plantas de poder termoeléctricas, calentadores de edificios, incineradores y fuentes móviles como aviones y barcos, todas involucran en su operación la quema de combustibles derivados del petróleo. Sin embargo, el transporte automotriz consume cerca del 90% de la energía utilizada para el transporte total, y una gran parte de los hidrocarburos de cada país. En el caso de Centro América, según estudios realizados por ProEco (Fundación Suiza de Cooperación al Desarrollo Técnico), aproximadamente un 70% de los contaminantes que se descargan a la atmósfera en nuestras ciudades provienen de las emisiones vehiculares y el resto de fuentes estacionarias e industriales.

Consecuentemente la contaminación atmosférica resultante de esta actividad tiene un impacto muy visible y significativo, más aún si tomamos en consideración que altas densidades de tráfico coinciden con altas concentraciones de población.

A continuación, se encuentran delineados los contaminantes del aire ambiental derivados directamente de la operación de los motores de combustión interna empleados para el transporte vehicular de carretera, junto con una breve referencia de sus causas, orígenes en la atmósfera, y sus efectos sobre la salud. Estos contaminantes representan claramente un peligro al bienestar de los seres humanos, plantas y animales.

Cuadro 4.1 Monóxido de Carbono y sus efectos en la salud.

Contaminante:	Monóxido de Carbono (CO)
Descripción:	Es un gas incoloro e inodoro, no es irritante, lo que lo hace mucho más peligroso.
Origen en la Atmósfera:	Producto de la Combustión Incompleta en automóviles Diesel y de gasolina, plantas de generación de energía, y fábricas.
Efectos sobre la Salud:	Impide el intercambio de oxígeno en la sangre, afectando principalmente el sistema cardiovascular y nervioso. Bajas concentraciones han generado efectos adversos en personas con problemas cardíacos y una disminución en la capacidad de ejercitarse entre individuos jóvenes y hombres sanos. Altas concentraciones afectan la percepción, la capacidad de pensar, deterioro del juicio, fatiga, desmayos, visión borrosa, y disminuyen los reflejos, este envenenamiento puede causar la muerte. Además, afecta el crecimiento fetal en mujeres embarazadas. Junto con otros contaminantes fomenta enfermedades de personas con problemas respiratorios y circulatorios. Una exposición severa puede tener secuelas como desórdenes neuropsiquiátricos.
Observaciones:	En los automóviles es producido por un mal afinamiento del motor y mezcla rica, es decir, falta de oxígeno.

Cuadro 4.2 Hidrocarburos no quemados y sus efectos en la salud.

Contaminante:	Hidrocarburos (HC)
Descripción:	Los hidrocarburos no quemados están constituidos por diferentes combinaciones de hidrógeno y carbono. Son la causa del mal olor en los gases de escape en los vehículos automotores.
Origen en la Atmósfera:	Son el resultado tanto de la combustión incompleta de los combustibles hidrocarburos, como también por la evaporación que se da en los tanques de combustible. No sólo se da en automóviles sino también en procesos industriales.
Efectos sobre la Salud:	Irrita los revestimientos de los órganos de la respiración. Irrita los ojos, produce cansancio y una tendencia a toser. Puede tener un efecto carcinógeno o mutativo, causando enfermedades pulmonares.
Observaciones:	En los automóviles se produce por fallas de ignición y fallas internas en el motor. Es responsable en parte de la formación smog fotoquímico.

Cuadro 4.3 Óxidos Nitrosos y sus efectos en la salud.

Contaminante:	Óxidos Nitrosos (NO <sub>x</sub> )
Descripción:	Estos óxidos pueden tener alguna de las siguientes composiciones moleculares: NO, NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , etc. El motor produce casi exclusivamente monóxido de nitrógeno (NO) que es un gas incoloro, inodoro e insípido. En su salida, el NO reacciona con el oxígeno del aire produciendo dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ), que es un gas venenoso, de color marrón claro, y de olor penetrante.
Origen en la Atmósfera:	Es un efecto secundario de una deficiente combustión. El aire que provee el oxígeno para la combustión también provee nitrógeno, del cual una cierta cantidad reacciona con el oxígeno para formar diferentes óxidos de nitrógeno. Este contaminante proviene de los automóviles, fábricas, plantas de refinamiento de petróleo, y plantas de generación de energía.

Efectos sobre la Salud:	Causa irritación en los ojos, nariz, y garganta. Si la irritación es fuerte causa tos, dolores de cabeza, vértigo, y daño en los pulmones, aumentando la susceptibilidad a infecciones respiratorias, principalmente en niños de edad escolar y en personas con problemas asmáticos. También se les conoce por causar cefalitis. De todos los óxidos nitrosos existentes, el dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) es el más dañino ya que constituye un veneno activo.
Observaciones:	El nitrógeno es poco reactivo, pero si se alcanzan altas temperaturas dentro de la cámara de combustión, se favorecerá la producción de óxidos nitrosos.

Cuadro 4.4 Dióxido de Azufre y sus efectos en la salud.

Contaminante:	Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )
Descripción:	Gas incoloro de olor picante.
Origen en la Atmósfera:	En Guatemala, el 70% de este contaminante es causado por la fracción del parque vehicular que consume combustible diesel. El 30% restante proviene del consumo de combustible diesel que tienen las fábricas, plantas de generación de energía, y sistemas de calefacción, que tienen demandas menores que en otros países.
Efectos sobre la Salud:	Irrita las membranas del sistema respiratorio y causa inflamación de la tráquea.
Observaciones:	El azufre también forma parte de los carburantes como componente del petróleo, al quemarlo en el motor se produce el dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ).

Cuadro 4.5 Material Particulado en Suspensión y sus efectos en la salud.

Contaminante:	Material Particulado en Suspensión (TPS) y PM <sub>10</sub>
Descripción:	Representan una compleja mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, hallándose en polvos, humos y otros aerosoles. Pueden tener un origen antropogénico ó natural. Reciben este nombre porque flotan en el aire. Las partículas con un diámetro menor de 10 micras son llamadas PM <sub>10</sub> , y las partículas con un diámetro menor de 2.5 micras son llamadas PM <sub>2.5</sub> .
Origen en la Atmósfera:	Fuentes directas de TPS y PM <sub>10</sub> incluyen la combustión incompleta de materiales fósiles para la generación de energía, calefacción, transporte, construcción y actividades industriales, erosión de suelos, incendios forestales, erupciones volcánicas, y polen. Para nuestro caso particular de interés nos remitimos a las partículas de hollín en el humo negro debidas a la combustión deficiente en los motores Diesel.
Efectos sobre la Salud:	Las partículas pueden iniciar enfermedades respiratorias, ya que el hecho de respirar aire contaminado con partículas puede hacer que las más pequeñas se depositen en los pulmones, en el caso de las PM <sub>2.5</sub> pueden llegar a depositarse en los alveolos inclusive. Al afectar la respiración aumentan la susceptibilidad al asma y al resfriado común, principalmente en niños y ancianos, pudiendo llegar a provocar cáncer en los pulmones. Además, pueden arrastrar a los pulmones sustancias como ácidos, gases tóxicos y materiales radioactivos, siendo las partículas que contienen materiales tóxicos como asbestos y berilio las más problemáticas para la salud pública.
Observaciones:	Las partículas se deben principalmente a la deficiencia de oxígeno en la combustión y falta de mantenimiento, principalmente en los motores Diesel. Los hidrocarburos no quemados también forman parte de las TPS.

### E. Contaminantes producidos por los Vehículos Automotores y sus Efectos en el Ambiente

Los efectos de los contaminantes anteriores perjudican directamente la salud de los seres humanos. Pero esto no es todo, existe otro daño que no es tan evidente porque sus repercusiones no se alcanzan sino durante un plazo mayor de tiempo, y en una forma que es más bien indirecta.

El ambiente natural consiste en muchas zonas variadas de vida, donde existen diferentes combinaciones de seres orgánicos que interactúan unos con otros y con su medio ambiente. Estos ambientes reciben el nombre de Ecosistemas, y están sujetos a un proceso normal de cambio con el paso del tiempo.

Cuando hay disturbios en un ecosistema, éste responde en forma gradual. Según su complejidad, el tipo de respuesta que tenga podría ser muy difícil de detectar. Las emisiones producidas por los motores de combustión interna inducen cambios negativos en el ambiente, contribuyendo a causar grandes problemas en la forma de vida de sus habitantes.

Existe evidencia de que el efecto sinérgico o sumativo de los diferentes gases contaminantes es mucho más serio que su impacto individual, afectando en forma directa la salud de la población, y en forma indirecta deteriorando su medio ambiente. Por esto se presentan a continuación las sustancias de mayor impacto ambiental originadas directa o indirectamente por los vehículos automotores:

Cuadro 4.6 Los Ácidos y sus efectos en el Ambiente.

Contaminante:	Ácido Sulfuroso ( $H_2SO_3$ ), Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), Ácido Nítrico ( $H_2NO_3$ ), y Ácido Nitroso ( $H_2NO_2$ )
Descripción:	Líquidos altamente corrosivos.
Origen en la Atmósfera:	Se deben al efecto sinérgico de los óxidos nitrosos ( $NO_x$ ) y del dióxido de azufre ( $SO_2$ ) junto con el agua que se encuentra en el aire atmosférico.
Efectos en el Ambiente:	Es la base de la llamada "lluvia ácida". Daña bosques, sistemas acuáticos, corroe metales, y provoca daños a edificios y monumentos. También contamina las aguas subterráneas.
Observaciones:	Se debe a la quema de combustibles con contenido de azufre.

Cuadro 4.7 Ozono y sus efectos en el Ambiente.

Contaminante:	Ozono ( $O_3$ )
Descripción:	Niebla espesa, en forma de humo.
Origen en la Atmósfera:	El dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), el monóxido de carbono ( $CO$ ), y los hidrocarburos no quemados ( $HC$ ) forman parte de una reacción fotoquímica en presencia de la luz solar, este fenómeno se conoce como "smog".
Efectos en la Salud y en el Ambiente:	Irrita los órganos respiratorios teniendo efecto cancerígeno. Además, daña bosques y reduce la producción de granos básicos, frutas y hortalizas.
Observaciones:	Se forma luego de varias horas o días después de la emisión de los gases, pudiendo tener un impacto lejos del sitio de su origen.

Cuadro 4.8 Dióxido de Carbono y sus efectos en el Ambiente.

Contaminante:	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )
Descripción:	Es un gas incoloro, inodoro e insípido, de una densidad mayor que la del aire atmosférico. No es venenoso pero si imposibilita la respiración.
Origen en la Atmósfera:	Es producto de la combustión completa de los hidrocarburos contenidos en los combustibles usados para automóviles, sistemas de calefacción, plantas generadoras de energía, fabricas, etc.
Efectos en el Ambiente:	No era considerado un contaminante hasta que se descubrió que la deposición de grandes cantidades de este gas en la atmósfera de nuestro planeta contribuye al efecto llamado "invernadero".
Observaciones:	El dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) no es el único gas responsable de este efecto, hay otros gases y aerosoles que también lo causan como los CFC, el CH <sub>4</sub> , CO, y los Nox; pero aun así el CO <sub>2</sub> es el principal responsable.

Estos tres contaminantes juegan un papel muy importante en el deterioro ambiental mundial, ya que no sólo afectan la calidad del aire atmosférico, sino que sus secuelas pueden sentirse en lugares lejanos de donde se produjo la contaminación.

La vegetación es la fuente principal de alimento para el hombre y los animales. La contaminación tiene efectos fisiológicos en el vigor de las plantas sin que necesariamente sean visibles, como por ejemplo: reducen el proceso de la fotosíntesis, y acortan su intervalo de vida. Puede ocasionar que la resistencia a los parásitos y a agentes patológicos disminuya. Especies muy sensitivas pueden desaparecer, y se reduce la vegetación como purificadora del aire. El ozono puede afectar severamente a la vegetación al reducir la productividad agrícola.

El Efecto Invernadero afecta los ambientes naturales a nivel mundial. Este fenómeno ocurre porque la acumulación de gases en la atmósfera impide la salida del calor reflejado en la corteza terrestre aumentando la temperatura (al igual que ocurre con el techo de un invernadero). La radiación de onda corta llega parcialmente a la superficie de la tierra y la calienta. Luego, la tierra devuelve la radiación de onda larga (radiación infrarroja o de calor), pero ésta es reflejada parcialmente de nuevo hacia la tierra por el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de otros gases contaminantes dispersos en la capa atmosférica, entre los cuales también se encuentra el ozono.

Este reflejo causa un calentamiento en la atmósfera de nuestro planeta, aumentando así las temperaturas ambientales. El efecto es altamente benéfico y esencial para la vida sobre este planeta, ya que si no existiese, la tierra sería demasiado fría para vivir.

Las emisiones provenientes de fuentes industriales, vehiculares y agrícolas, aumentan la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera por lo cual la temperatura de la tierra tiende a aumentar más y no quedarse estable. La Fundación Suiza de Cooperación al Desarrollo Técnico (PROECO) tiene proyectado que para el año 2050 la temperatura media del globo terrestre aumentará aproximadamente 2.5 °C, y para

el año 2100 aumentará en 5.7 °C.

Los efectos del calentamiento atmosférico son la expansión de los desiertos, el descongelamiento del hielo polar, el aumento del nivel del mar (que se da por expansión térmica y por el descongelamiento del hielo polar), catástrofes climatológicas, estrés biológico y posiblemente otros efectos desconocidos hasta el momento con sus correspondientes impactos sobre el bienestar humano y el delicado balance de la economía mundial.

#### F. Efectos de las Emisiones Vehiculares sobre la Economía

Un análisis completo del daño que hacen las emisiones no controladas sobre la economía de la nación escapa del alcance de este trabajo. No obstante, es necesario dar a conocer cuáles son las ramas que se ven directamente afectadas si no se desarrollan los medios técnicos y legales que permitan reducir la cantidad de emisiones vehiculares al mínimo posible. Éstas son

- Mayor gasto en la salud de la población:
  1. Gasto en medicinas y atención médica para las enfermedades que las emisiones ocasionan, principalmente para el sistema respiratorio, desde un aumento en el resfriado común, hasta problemas de cáncer.
  2. Gasto debido a los malestares y reducción de la calidad de vida, que repercuten en una menor productividad y rendimiento de las personas.

La incidencia de estos casos es mayor en niños, personas mayores, y personas con problemas respiratorios, por lo que podría incidir en un gasto mayor en atención para ellos.

- Mayor gasto en la preservación de los recursos naturales del país:
  1. Mayor inversión para el cuidado de los cultivos, ya que el deterioro del ambiente genera una menor productividad agrícola.
  2. El cambio en el clima debido al calentamiento atmosférico y las lluvias ácidas causan tensión ecológica afectando la productividad forestal, y las zonas verdes de nuestro país.
- Mayor gasto en el mantenimiento de nuestras ciudades:
  1. Las lluvias ácidas corroen los materiales, desgastando prematuramente edificios, puentes y monumentos.
- Mayor gasto en el mantenimiento y operación de los vehículos:

1. Los vehículos que generan una gran cantidad de emisiones es porque tienen problemas con sus motores; mientras más limpio sea un motor, mejor es su funcionamiento interno. Si un motor no funciona correctamente tendrá una vida útil menor, lo que puede apreciarse en el aumento del gasto en piezas de repuesto.
2. Como hemos podido comprobar, las emisiones se generan principalmente porque el combustible no llega a quemarse totalmente dentro del motor. Un motor con altas emisiones de gases gasta más combustible.

El daño que provocan las emisiones en cada una de éstas ramas de la economía por separado debería ser motivo suficiente para implementar los controles necesarios, con mayor razón, si el daño causado es equitativo en todas ellas.

#### G. Monitoreo de la Calidad del Aire

Una vez que se está consciente de la presencia en el aire ambiental de los varios contaminantes producidos por los vehículos automotores, es necesario tener los medios para poder cuantificarlos. Al tenerse una medida verosímil de la magnitud del deterioro ambiental, puede entonces iniciarse la planificación de proyectos orientados a reducir el daño actual, y la creación de métodos que disminuyan el impacto de las emisiones vehiculares en el futuro.

Actualmente en Guatemala existe solamente un informe que es presentado anualmente por la Escuela de Ciencias y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en conjunto con la Fundación Suiza de Cooperación al Desarrollo Técnico Swisscontact/ProEco, en el que se presentan los resultados obtenidos del proyecto "Monitoreo de Emisiones Automotores de la Ciudad de Guatemala".

Este proyecto viene desarrollándose desde 1994, y en la actualidad cuenta con cinco puntos de muestreo: Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media (Avenida Petapa, zona 12); Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala (9 Av. y 10 calle, zona 1); Calzada Aguilar Batrez (zona 11); Calzada San Juan (zona 7); y Universidad de San Carlos de Guatemala (zona 12).

En cada punto de muestreo se recopila información que cuantifica la proporción de cinco contaminantes del aire. Estos se describen en la Tabla 4.1, donde se hace un resumen del equipo y metodología empleados para el muestreo.

Como sabemos, las emisiones no solamente son culpa del transporte automotriz; pero éste es sin duda el mayor responsable. Lo que es más, el parque automotor sigue aumentando día con día. El objetivo final será el de confirmar si las medidas tomadas en materia de conservación de la calidad del

aire del medio ambiente son eficaces o no.

Tabla 4.1  
Contaminantes Monitoreados en la Ciudad Capital

CONTAMINANTE	EQUIPO MUESTREO	METODOLOGÍA	NORMATIVA OMS*	TIEMPO MUESTREO
TPS	Medidor alto volumen	Gravimetría	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio en 24 horas; 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual	24 horas
PM10	Medidor alto volumen, orificio crítico	Gravimetría	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ medido en 24 horas; 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual	24 horas
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Tubos medidores pasivos	Espectrofotometría colorimétrica UV/vis	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ máximo	30 días
Ozono (O <sub>3</sub> )	Tubos medidores pasivos	Espectrofotometría colorimétrica UV/vis	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por 8 horas; 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual	7 días
Monóxido de carbono (CO)	Contenedores especiales	Infrarrojo	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 9ppm	Medición puntual

\* Organización Mundial de la Salud

## V. DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DE EMISIONES

### A. Orígenes y Generalidades del Control de Emisiones

El problema de la contaminación automovilística era un tema sin importancia, el que comenzó a hacerse notorio cuando hizo su aparición una ligera niebla en el área de la ciudad de Los Ángeles, Estados Unidos, durante la década de 1940.

No fue sino hasta 1952 que el profesor A.J. Haagen-Smith de la Universidad de California, demostró que el problema del "smog" es un resultado de las reacciones fotoquímicas entre los óxidos nitrosos (NOx) y compuestos de hidrocarburos (HC) en presencia de la luz solar.

Se aclaró que la quema de combustibles fósiles que se da en los automóviles en general, es la causa principal de las emisiones de hidrocarburos y óxidos nitrosos. De éstos, el motor de gasolina es el mayor contribuyente de los altos niveles de monóxido de carbono (CO) en las áreas urbanas. Los motores Diesel son una fuente significativa de pequeñas partículas de humo y hollín. Fue así como en 1960 en el estado de California, se establecieron regulaciones para el control de emisiones de automóviles. Este fue el primer antecedente en materia de legislación.

Motivados por la celebración del primer Día de la Tierra en 1970, el gobierno de los Estados Unidos aprobó la Ley del Aire Limpio (Clean Air Act) y al mismo tiempo creó la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA - Environmental Protection Agency), que tiene la facultad de establecer los límites máximos permisibles de los gases de escape en los vehículos.

En 1971 se introdujo la gasolina sin plomo en los Estados Unidos. Su resurgimiento se debió al interés en la toxicidad de los aditivos antidetonantes con plomo, por ser éste un contaminante altamente tóxico; y al uso de catalizadores en los sistemas de escape para el control de las emisiones en los motores de encendido por chispa, ya que el uso de catalizadores es la única forma que se conoce de controlar al mismo tiempo las emisiones de hidrocarburos no quemados, el monóxido de carbono, y los óxidos nitrosos. Los catalizadores y demás controles de emisiones de gases se hicieron obligatorios en este país en 1975.

Japón y Canadá se unieron desde el principio a los Estados Unidos en la lucha contra la contaminación ambiental. La Comunidad Europea no lo hizo sino hasta 1992. En Guatemala se asentó el más firme antecedente jurídico al eliminar de golpe la gasolina sin plomo en 1994, y con esto hacer accesibles las tecnologías modernas en materia de control de emisiones vehiculares.

Debido a la preocupación en el deterioro del medio ambiente, y a la obligatoriedad de las leyes en reducir los niveles de contaminación por emisiones vehiculares, los fabricantes han puesto a disposición sistemas de control de emisiones de gases que en algunos casos llegan a ser bastante sofisticados.

Un Sistema de Control de Emisiones de Gases está formado por una determinada cantidad de válvulas y dispositivos, que dependen en la mayoría de los casos de las necesidades y legislatura vigentes en las regiones donde los vehículos sean utilizados. En vehículos modernos con control computarizado, es común encontrar que todos los subsistemas del control de emisiones estén gobernados por una computadora.

La necesidad de cada sistema se origina al examinar los patrones de emisión de gases de los automotores. Con estos patrones se ha podido determinar que para un vehículo de gasolina sin control de emisiones un 15% de los hidrocarburos no quemados salen por el tanque de combustible, un 20% se pierde a través de los anillos hacia el cárter del cigüeñal, y el 65% restante sale por el tubo de escape. El 100% del monóxido de carbono y de los óxidos nitrosos salen también por el tubo de escape. Los vehículos Diesel emiten pequeñas cantidades de monóxido de carbono, e hidrocarburos no quemados; siendo significativa su emisión de óxidos nitrosos y hollín, el 100% de ambos salen por el tubo de escape. Con ésto en mente, veremos en este capítulo los sistemas de control de emisiones indispensables para la baja emisión de gases contaminantes de los vehículos automotores.

#### B. Sistema PCV (Ventilación Positiva del Cárter)

Se instala en motores de gasolina. Tiene la función de reducir las emisiones de hidrocarburos (HC) no quemados provenientes del cárter del cigüeñal.

Durante el funcionamiento del motor, una porción de los gases de combustión se escapa de los cilindros, y circulan hacia el cárter. De éstos, el 70 u 80% son gases no quemados. Si estos gases permanecen en el cárter pueden llegar a deteriorar el aceite del motor, formando lodos y corrosión interna del motor. Estos gases deben circularse de alguna manera, evitando que sean arrojados hacia el aire ambiental exterior.

La solución más obvia es la de agregar un tubo que comunique al cárter con el múltiple de admisión. Sin embargo, esta solución no es la adecuada debido a una peculiaridad de operación del motor: la depresión creada por el vacío en el múltiple de admisión es más fuerte cuando el motor trabaja a velocidades menores, y es más débil cuando se tienen velocidades mayores en el motor. Esto significa que el múltiple de admisión estaría en mayor capacidad de extraer los gases del cárter cuando hay una poca cantidad de éstos escapando de los cilindros, y viceversa, el motor tendrá una menor capacidad cuando la cantidad de los gases que escapan de los cilindros sea mayor. Por lo tanto, la cantidad de gases que fluyen por el cárter del cigüeñal se ve más afectada por el vacío que se produce en el múltiple de admisión, que por la velocidad del motor. Es necesario instalar una válvula de retención regulada, conocida como válvula PCV como se muestra en la figura 5.1.a. El sistema en conjunto extrae los vapores del cárter y los introduce nuevamente a la cámara de combustión.

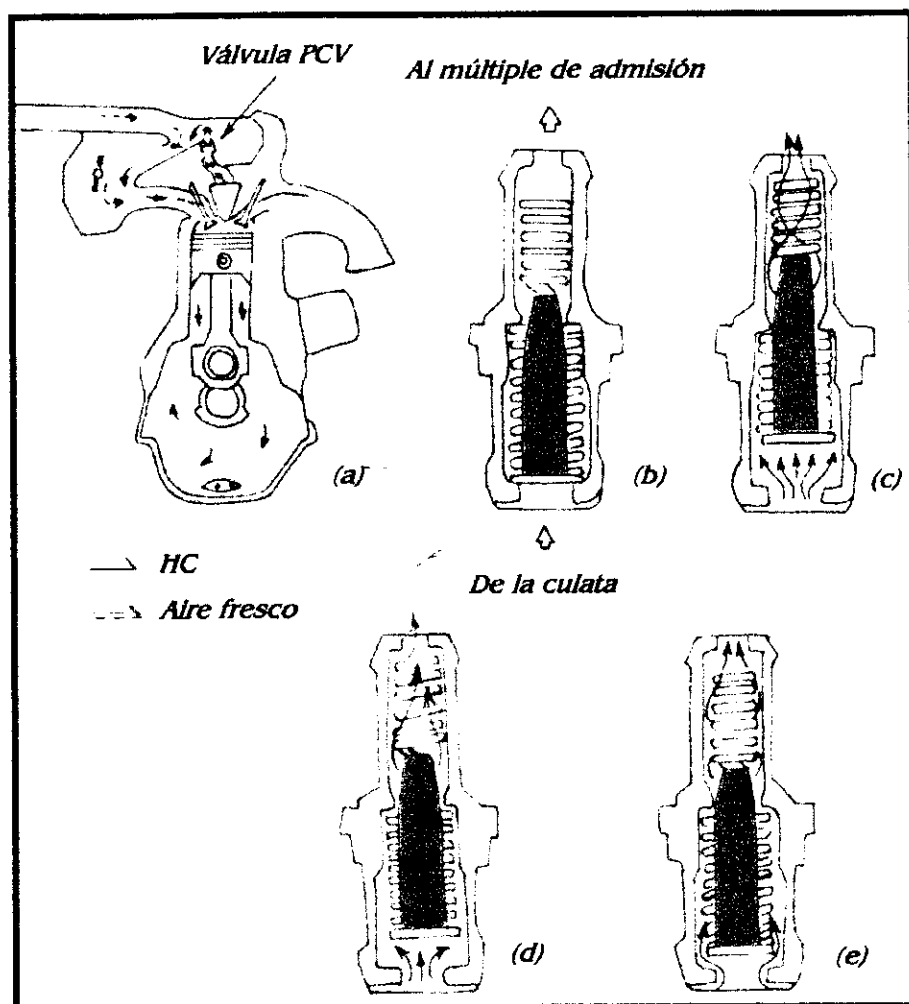


Figura 5.1. Posición de la Válvula PCV según las condiciones del Motor

En la figura 5.1.a puede observarse la operación de la válvula PCV, su funcionamiento depende de las condiciones del motor:

- Motor Apagado (figura 5.1.b). La válvula se mantiene cerrada debido a su propio peso y la fuerza del resorte.
- Ralentí o Desaceleración (figura 5.1.c). El vacío en esta etapa del motor es fuerte, de manera que la válvula se mueve hacia arriba, abriéndose. Sin embargo, debido a que el pasaje de vacío es angosto, el volumen de gas que fluye es bajo.
- Funcionamiento Normal (figura 5.1.d). El vacío se reduce, abriendo ampliamente el pasaje que es adecuado para la carga.
- Aceleración o Carga Pesada (figura 5.1.e). El vacío se reduce al mínimo, por lo que la válvula PCV se

abre completamente.

Cuando es sistema no funciona correctamente, se altera la producción de CO y la proporción de la mezcla que se introduce al motor. Al fallar este sistema, se da una alimentación inadecuada al motor, y se presentan fallas de arranque, petardeo o contra explosiones. La válvula PCV existe en diferentes formas, pero su funcionamiento es el mismo, independientemente de su estructura.

### C. Sistema EGR (Recirculación de Gases de Escape)

Este sistema se instala en motores de gasolina y en motores Diesel. Tiene la función de reducir la formación de óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) originados durante el proceso de combustión. La formación de los óxidos nitrosos aumenta conforme se incrementa la temperatura dentro de la cámara de combustión, debido a la aceleración y cargas pesadas del motor.

Para lograr mantener una temperatura moderada, el sistema EGR hace circular una porción de los gases de escape al múltiple de admisión, para que enfrien las cámaras de combustión. Los gases de escape, en su mayoría dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O), son inertes al oxígeno y no reaccionan con él. La porción de los gases de escape recirculado ocupará aproximadamente un 7% del volumen de la cámara de combustión, que disminuye la porción de la mezcla combustible y absorbe parte del calor producido por la combustión, reduciendo la temperatura. El sistema sólo funciona cuando el motor está sometido a mucha carga y se alcanzan las temperaturas normales de funcionamiento.

La cantidad de gas de escape que se recircula hacia el múltiple de admisión es controlada por un componente llamado modulador de vacío EGR. Este componente es necesario porque durante el funcionamiento del motor se tendrán variaciones de presión en el múltiple de escape y en el múltiple de admisión, según el régimen del motor. A las variaciones en la presión del múltiple de escape se les llama "pulsaciones". Estas pulsaciones tienen un comportamiento senoidal que oscila por arriba y por debajo de la presión atmosférica. La variación en la presión del múltiple de admisión se comporta según la carga del motor. La presión será alta cuando la carga del motor es pequeña y viceversa. Por eso, si la cantidad de gas de escape recirculado por el sistema EGR no es controlada, se recirculará más gas de escape que el necesario. Esto hará que el motor no funcione correctamente. Además, la mayor parte de los óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) se producen bajo cargas pesadas, por lo que no es necesario que funcione el sistema EGR cuando la carga del motor es pequeña.

La proporción de gas de escape presente en la mezcla aire/combustible es llamada "proporción EGR". Una baja proporción EGR se da cuando no hay mucho gas de escape recirculado en la admisión; una alta proporción EGR se da cuando hay bastante gas recirculado. Esta proporción puede ser controlada por el sistema EGR de diferentes formas, pero generalmente la relación entre ésta y la carga en el motor se

mantiene según se muestra en la figura 5.2

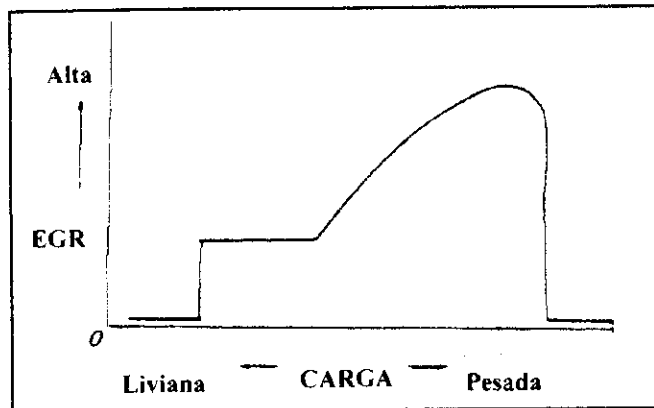


Figura 5.2. Operación de la Válvula EGR

En el caso de motores carburados y/o inyectados en los cuales el sistema de control de emisiones no es gobernado por una computadora, el sistema trabaja por medio del vacío del múltiple de admisión, a través de una válvula TVSV (Válvula Termostática Interruptora de Vacío), o de una válvula BSVV (Válvula Bimetálica Interruptora de Vacío). Tanto la TVSV como la BSVV son dispositivos que desvían el vacío de un circuito a otro en relación con la temperatura de su elemento actuador. Para la válvula TVSV este elemento es por lo general una parafina térmica que se expande con la temperatura. Para la válvula BSVV es un componente bimetálico. En ambos casos se utiliza también un modulador de la presión de los gases de escape (BPT).

Para que este sistema cumpla con su objetivo, es necesario entender el comportamiento del motor en relación con los óxidos nitrosos (NOx) que es el contaminante que se va a controlar. El funcionamiento y los componentes generales del sistema se ilustran en las figuras 5.3.

- **Motor Frío** (figura 5.3.a). El elemento térmico de la válvula interruptora de vacío aún no se ha dilatado, por lo que sin importar qué tan abierta esté la válvula de obturación (acelerador a fondo o no), el aire atmosférico es introducido por la válvula interruptora de vacío hacia la válvula de retención, forzando a que la válvula EGR permanezca cerrada. Mientras el motor esté frío no se producirá la formación de NOx. El uso de la válvula EGR en este momento baja innecesariamente el rendimiento del motor. En la figura 5.3.a se observa cómo el elemento térmico desvía el vacío del conducto K al conducto N, y comunica al conducto M que actúa la válvula de retención con el conducto de aire J.

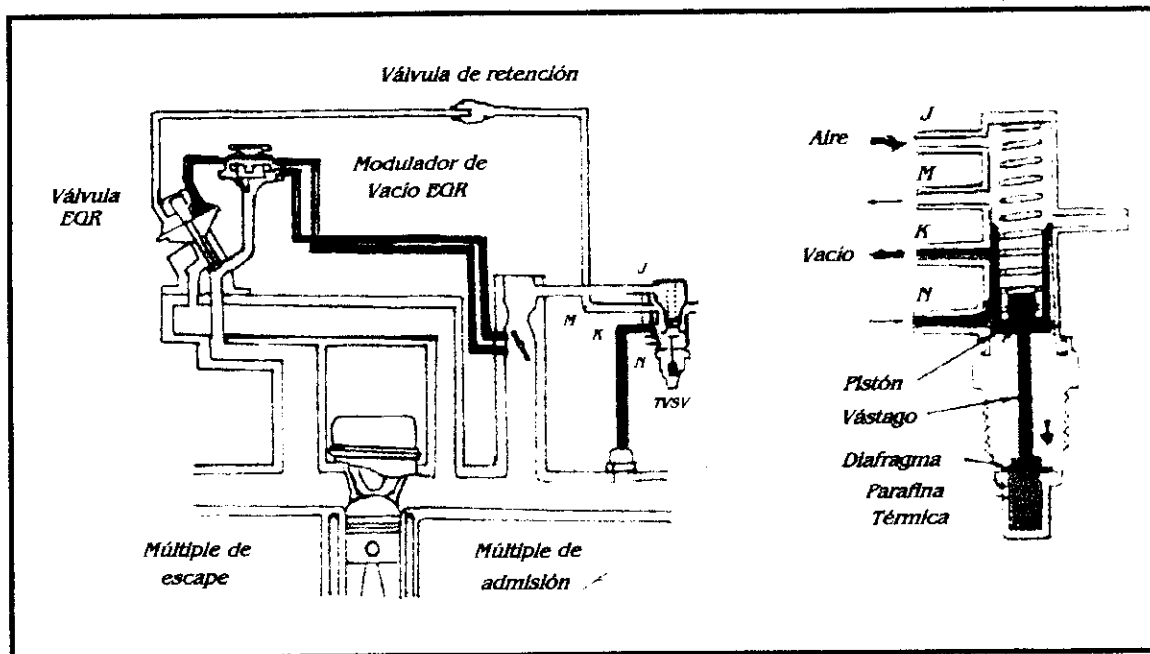


Figura 5.3 a. Motor frío

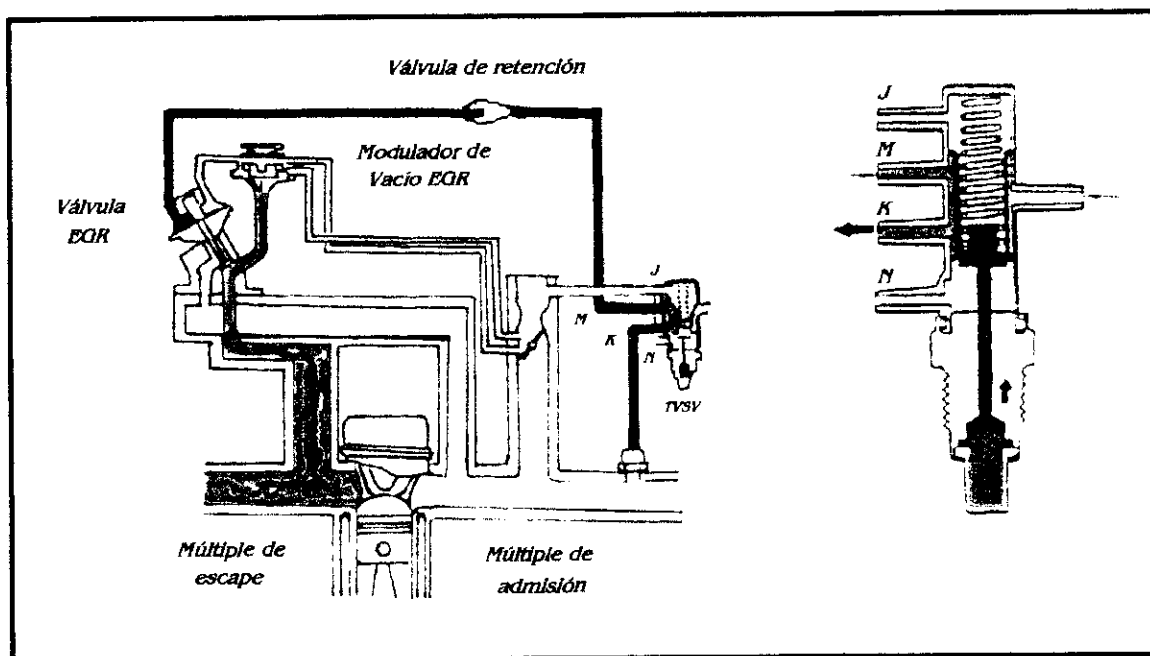


Figura 5.3 b. Motor caliente

- Motor Caliente (figura 5.3.b). El elemento térmico de la válvula interruptora de vacío se ha dilatado lo suficiente de manera que permite que el vacío del múltiple de escape sea aplicado a la válvula de retención. El vacío del conducto N se comunica con el conducto M, incomunicándolo del conducto J.
- Ralenti - válvula de aceleración completamente cerrada - (figura 5.3.b). La mariposa del acelerador aún está cerrada y produce que el vacío del múltiple de admisión no actúe sobre el modulador BPT. Para actuar la válvula EGR se necesita que el vacío llegue al modulador de vacío y a la válvula de retención, por lo que a pesar de que la válvula EGR se encuentra accionada por la válvula de retención, ésta permanecerá cerrada. La proporción EGR de este estado corresponde a la primera sección de la figura 5.2.

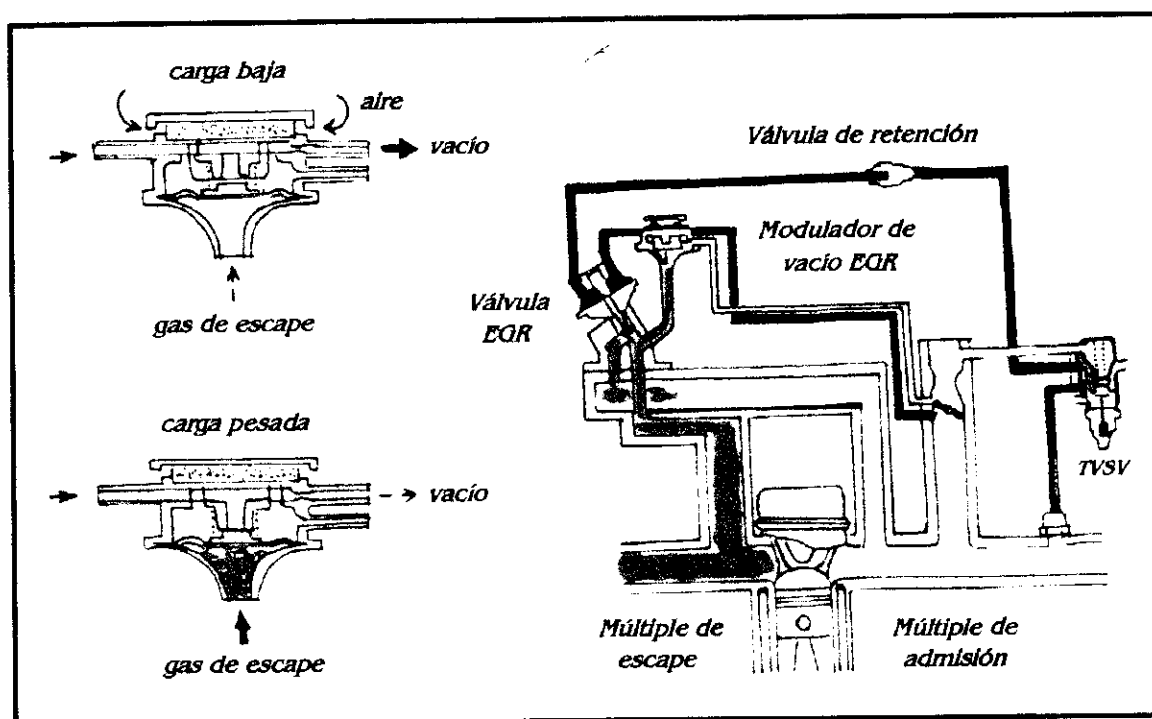


Figura 5.3.c. Carga moderada

- Carga Moderada (figura 5.3.c). En este momento, se ha abierto la mariposa del acelerador lo suficiente de manera que permita al vacío del múltiple de admisión comenzar a actuar al modulador BPT. Este rango, en el que se encuentran los márgenes de velocidad más utilizados por el motor, se conoce como carga moderada, la cual a su vez comprende dos rangos: moderada de carga pequeña y moderada de carga pesada. En ambos casos se pretende que la proporción EGR se mantenga constante.

Para la carga pequeña se tiene que la presión en el múltiple de escape es baja, y el vacío que se produce en el múltiple de admisión es grande. La baja presión de los gases de escape actúa en el modulador BPT, y

le ayuda a regular el ingreso de aire atmosférico. Este aire atmosférico entra al modulador BPT y sirve para reducir la magnitud del vacío del múltiple de admisión que actúa sobre la válvula EGR. De este modo, si el motor tiene una carga baja, el gran vacío que se produce en el múltiple de escape logra ser reducido mediante el modulador BPT que permite que solamente una cantidad determinada de gases de escape recircule hacia los cilindros. Esto es necesario ya que a cargas bajas la producción de óxidos nitrosos (NOx) es menor (figura 5.3.c).

A medida que la carga aumenta, volviéndose pesada, la presión de los gases en el múltiple de escape aumenta también, de manera que poco a poco se va restringiendo la entrada de aire atmosférico al modulador BPT. Esto es necesario ya que la magnitud del vacío en el múltiple de admisión se va reduciendo, y ya no es necesario restringirla.

Al utilizar este proceso para un rango alto y bajo de cargas moderadas, se logra mantener una proporción EGR constante en la cámara de combustión, de acuerdo al funcionamiento de la válvula EGR. La proporción EGR de este estado corresponde a la segunda sección de la figura 5.2.

- Carga Pesada - válvula de obturación demasiado abierta - (figura 5.3.d). Al abrir aún más la mariposa del acelerador se aumenta la carga, y el vacío del múltiple de admisión se reduce también. El vacío llega a ser tan moderado que debe aplicarse completamente sobre la válvula EGR. La proporción EGR de este estado corresponde a la tercera sección de la figura 5.2.

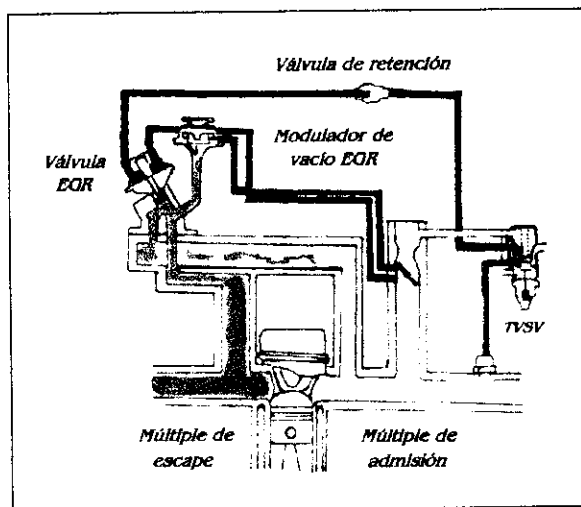


Figura 5.3.d. Acelerador muy abierto

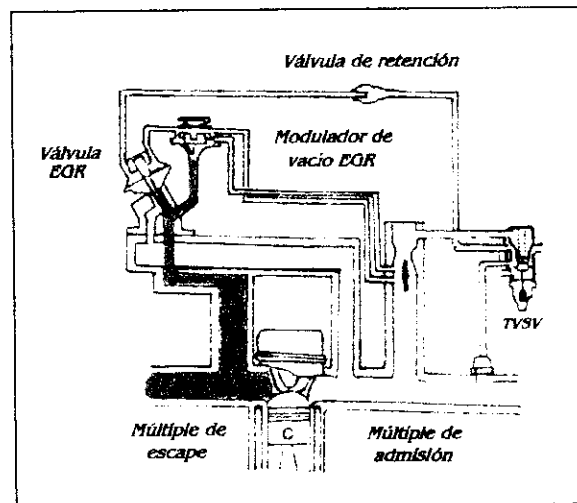


Figura 5.3.e. Acelerador a fondo

- Válvula de obturación completamente abierta (figura 5.3 e). Se ha reducido demasiado la magnitud del vacío que ejerce el múltiple de admisión, de manera que ya no es capaz de poder abrir la válvula EGR. No se recircula gas de escape alguno. La proporción EGR de este estado corresponde a la cuarta sección de la figura 5.2.

Lo anterior fue la descripción del funcionamiento básico del sistema. En los motores inyectados en los cuales la EGR es controlada por la computadora del motor, las válvulas y componentes pueden ser accionados directamente por el vacío como en el caso anterior, otros sin embargo, son controlados digitalmente por medio de un conjunto de por lo menos tres solenoides. Los solenoides son gobernados por la computadora a través de una VSV (Válvula interruptora de vacío). La información que recibe la computadora para actuar la EGR son: la temperatura del motor, las revoluciones del cigüeñal, la posición de la válvula EGR, y la contrapresión del tubo de escape.

La válvula EGR está considerada como una molestia porque es una consumidora de potencia, tomando en cuenta que provoca una pérdida útil del 7% de la cámara de combustión.

#### D. Sistema EFE (Control de Emisión de Combustible Evaporado)

Se instala en motores de gasolina. Este sistema reduce los hidrocarburos (HC) provenientes del tanque de combustible y de la cámara del flotador del carburador, haciendo uso de un dispositivo de carbón activado conocido como "canister", que absorbe el combustible y previene que escape a la atmósfera. Si el motor es de inyección reduce únicamente los vapores del tanque de combustible. Si el sistema falla se produce un aumento tanto de los hidrocarburos (HC) como del monóxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Los componentes de mayor cuidado del sistema son: el tapón del tanque de combustible, el contenedor de carbón (canister), y la válvula de control de ventilación externa. Su funcionamiento se ilustra en la figura 5.4.

Cuando se detiene el motor, el combustible evaporado del tanque de combustible es encaminado al canister por una válvula de retención.

Una segunda válvula de retención forma parte de la tapa del tanque de combustible, la cual es usada cuando se produce un vacío dentro del tanque, que permite que ingrese aire exterior para igualar presiones.

Cuando el motor se enciende, el combustible absorbido por el depósito de carbón es extraído a través del orificio de purgado, pasando al sistema de admisión del motor para ser quemado en la cámara de combustión. La presión en el orificio de purgado es controlada por la válvula de retención del canister, para mantener la presión de succión más baja que la presión en el orificio.

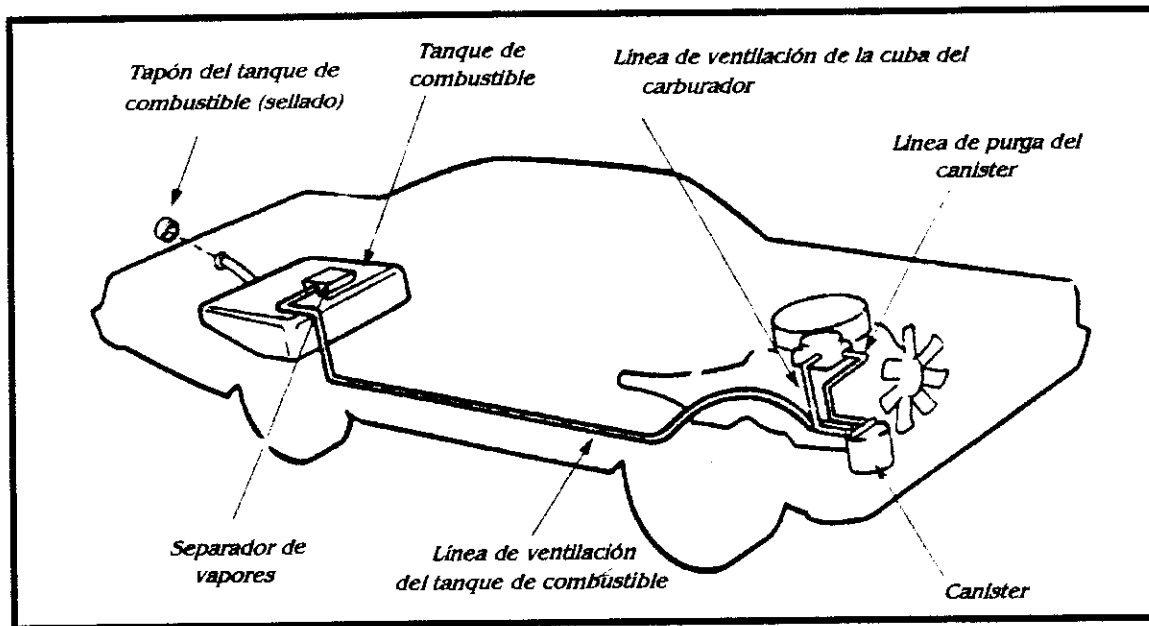


Figura 5.4. Disposición Estándar del Sistema EFE

Si las funciones del sistema EFE están controladas por una computadora, el sistema tiene la modificación de que en lugar de tener una válvula de retención a la salida del orificio de purgado, el orificio de purgado se instala después de la válvula de obturación. Para prevenir que se aplique un fuerte vacío al canister cuando el vehículo está desacelerado, se instala una válvula interruptora de vacío (VSV) con un solenoide que abre o cierra el pasaje según las órdenes de la computadora.

#### E. Sistema AIS y Pulse Air (Inyección de Aire)

Se instala en motores de gasolina. Su función es proporcionar oxígeno al múltiple o al tubo de escape aprovechando el calor remanente en los gases para provocar poscombustiones antes de ser lanzado a la atmósfera. Utilizando este sistema, el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos no quemados (HC) presentes en los gases de escape serán convertidos en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O), se reduce la cantidad de gases contaminantes y se mejora la eficiencia del catalizador.

La introducción de oxígeno se realiza de dos maneras: forzándolo por medio de una bomba de aire (AIS), o aspirándolo a través de válvulas de lengüetas (Pulse Air).

El Sistema de Succión de Aire (Pulse Air) usa las pulsaciones del gas de escape, que son cambios repentinos en la presión de escape, para abrir y cerrar una válvula de lengüeta dejando entrar aire al múltiple de escape en pequeñas ráfagas. La cantidad de aire que puede ser introducido al múltiple o al tubo de escape es pequeña comparada con el método AIS, por lo que el método Pulse Air sólo puede ser usado en motores pequeños.

Estos sistemas suelen proveer dispositivos que previenen el suministro de aire mientras el motor desacelera o cuando está frío, ya que durante estas etapas la mezcla de aire/combustible es muy rica, creando el peligro de sobrecalentamiento y daño del catalizador.

El Sistema de Inyección de Aire (AIS) que se muestra en la figura 5.5, es el que se utiliza frecuentemente en los vehículos modernos, carburados e inyectados. El aire es forzado al múltiple o al tubo de escape por una bomba de aire. La bomba de aire es usualmente impulsada por una faja, y forma parte de la estructura que compone el frente del motor. Este método suministra suficiente aire para una combustión posterior, pero tiene el inconveniente de que consume parte de la potencia útil del motor. Debido a esto y a las recientes mejoras en los catalizadores de tres vías, este método no es muy común, por lo que se reserva para motores de gran cilindrada.

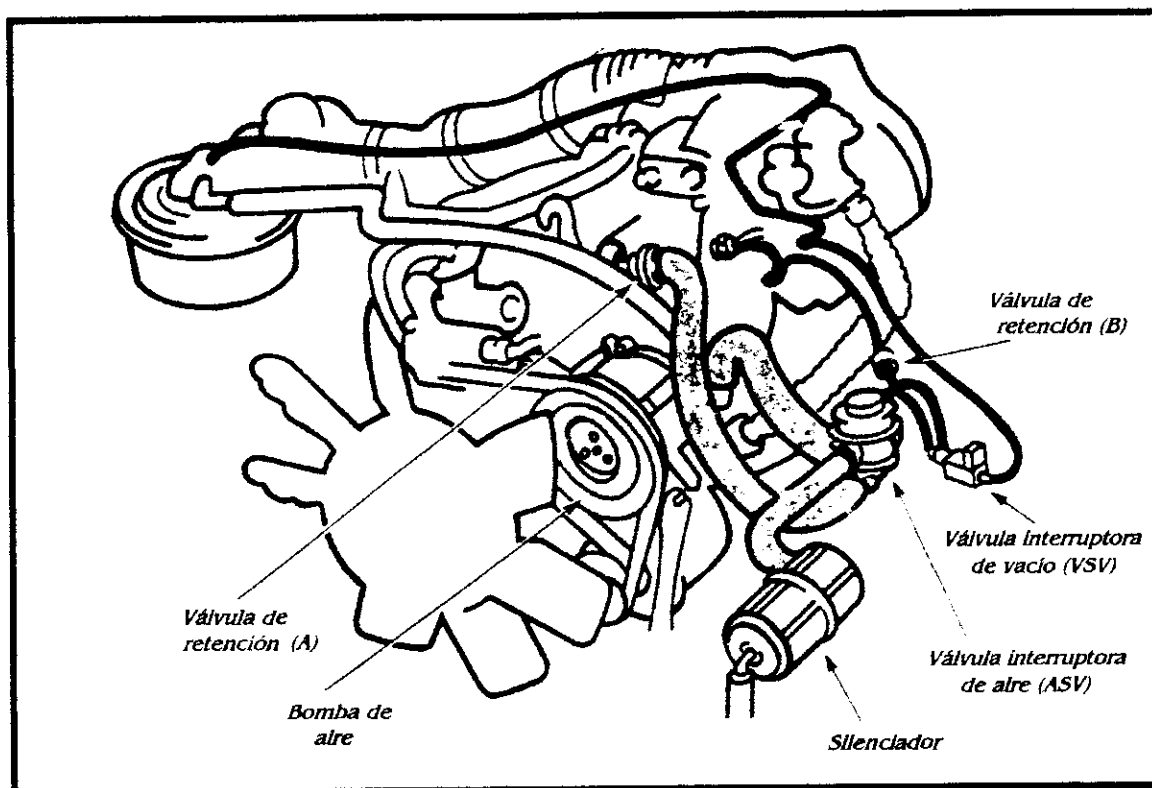


Figura 5.5. Sistema AIS

Si el vehículo viene equipado con uno de estos sistemas, nunca se debe eliminar la faja que acciona la bomba de aire o desactivar las válvulas de lengüeta, ya que esto haría que los niveles de contaminación aumenten. Si alguno de los componentes llegara a fallar, se debe cambiar, de lo contrario el sistema queda sin funcionar.

## F. Sensor de Oxígeno (Sonda Lambda)

El sensor de oxígeno suministra a la unidad de control electrónico del automóvil una señal eléctrica sobre la composición de la mezcla aire/combustible durante todo instante de funcionamiento del motor. Para hacer ésto, el sensor de oxígeno toma como referencia la cantidad de oxígeno que contienen los gases de escape y la compara con la cantidad de oxígeno presente en la atmósfera. Con esta señal la unidad de control determina la composición de la mezcla.

Al sensor de oxígeno también se le conoce como “sonda lambda”, porque mediante la regulación de este dispositivo, la proporción de aire/combustible puede mantenerse con gran precisión en  $\text{Lambda} = 1,0$ . La regulación Lambda es una función que puede completar cualquier tipo de distribución de mezcla electrónicamente influenciable.

Mediante el circuito de regulación creado con ayuda de la sonda Lambda pueden reconocerse y corregirse las desviaciones respecto de una determinada proporción de aire/combustible. La sonda Lambda ofrece la información a la unidad de control sobre si la mezcla es más rica o más pobre que  $\text{Lambda} = 1,0$ . Al desviarse de este valor, la señal de salida de la sonda provoca un salto de tensión que es evaluado por la unidad de control. Después de que el sistema interpreta la información de la sonda, la instalación que se encarga de preparar la mezcla combustible hace los cambios necesarios para ajustar la mezcla a la proporción deseada. La tensión de la sonda es la medida para corregir el caudal de combustible en la preparación de la mezcla.

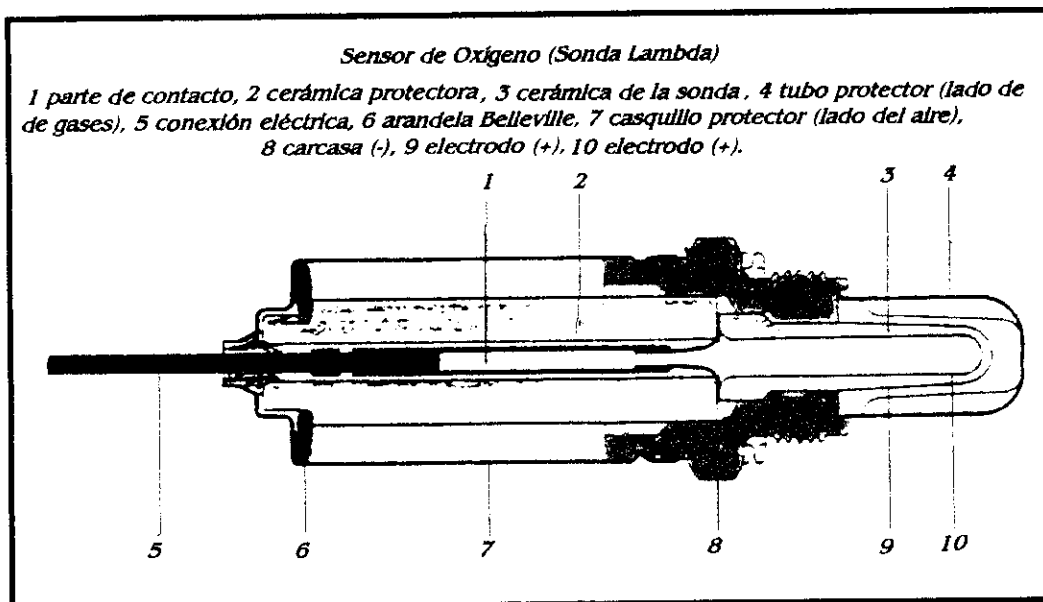


Figura 5.6. Sensor de Oxígeno

El sensor de oxígeno está instalado de manera que su lado exterior queda inmerso en el flujo de los gases de escape, mientras que su lado interno se encuentra en contacto con el aire exterior. Es esencialmente un cuerpo cerámico poroso que permite la difusión del oxígeno por su superficie, y que han sido provistas de electrodos hechos de una capa de platino. Este material cerámico se vuelve conductor eléctrico a elevadas temperaturas, por lo que si el contenido de oxígeno a ambos lados de los electrodos difiere, aparece entonces una diferencia de voltajes debido al cambio de conductividad eléctrica que tuvo el sensor. La tensión y la resistencia internas de la sonda dependen de la temperatura.

Existen diferentes tipos de sensores de oxígeno. El sensor de oxígeno de tipo estándar se instala cerca del múltiple de escape, esto es necesario ya que de esta forma logra mantener su temperatura de funcionamiento de aproximadamente 250 °C. Esto implica una tardanza en la regulación de la mezcla. El sensor sólo necesita un cable para transmitir la señal eléctrica.

El otro tipo de sensor de oxígeno tiene conectados más cables, y por uno de ellos el cuerpo cerámico activo del sensor es calentado desde el interior mediante un elemento calefactor, de modo que independientemente de la temperatura de los gases de escape, el cuerpo cerámico se mantiene por encima del límite de temperatura para un funcionamiento adecuado. Este tipo de sensor comienza a funcionar casi de inmediato al encender el motor. Son instalados cerca del catalizador.

Para que este sistema trabaje adecuadamente, es indispensable que el sistema de escape no tenga fugas antes del sensor de oxígeno, de lo contrario el sistema dará información errónea debido a la disolución de los gases de escape con aire ambiental proveniente de las fugas. La eliminación o deterioro de este componente trae como consecuencia la falta de control sobre la relación de la mezcla aire/combustible que produce con esto un aumento del consumo de combustible y una mayor contaminación de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC).

La gasolina con plomo deteriora rápidamente la vida útil del sensor de oxígeno.

#### G. Convertidor Catalítico

Un catalizador es una sustancia que induce una reacción química sin que éste sufra algún tipo de cambio en su composición o en su masa. En los vehículos tiene la función de transformar los gases contaminantes del motor (CO, HC, NOx) en N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Esta conversión catalítica se efectúa por una reacción química llamada oxireducción. La oxireducción está compuesta de dos procesos químicos separados: oxidación (reacción de los gases con oxígeno), y reducción (división del oxígeno).

La primera generación de catalizadores recibieron el nombre de catalizadores de dos vías, porque solamente controlaban dos gases: los hidrocarburos no quemados (HC) y el monóxido de carbono (CO). Estos eran catalizadores de oxidación únicamente, quemaban (oxidando) los gases anteriores a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

A la siguiente generación de catalizadores se les dio el nombre de catalizadores de tres vías, porque controlan al mismo tiempo tres gases: oxidan los HC y CO convirtiéndolos en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, y reducen los óxidos nitrosos (NOx) convirtiéndolos en nitrógeno N<sub>2</sub>. Estos son los catalizadores de oxireducción. Este es el tipo de catalizador de uso actual, y es el único dispositivo conocido que pueda disminuir simultáneamente a los hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos nitrosos.

Un catalizador de tres vías se instala en la tubería de escape, en su interior se encuentra un gran número de celdas dándole un aspecto de panal. Sobre la superficie de cada celda se encuentra una capa de óxido de aluminio la cual aumenta la superficie de contacto. Sobre el óxido de aluminio están las sustancias catalíticas, generalmente metales nobles como el rodio, platino, o paladio. En cada catalizador se observan entre 1.5 a 2 gramos de la sustancia catalítica en uso, pero tienen una gran dispersión por todo el material que alcanzan a recubrir toda la superficie de contacto.

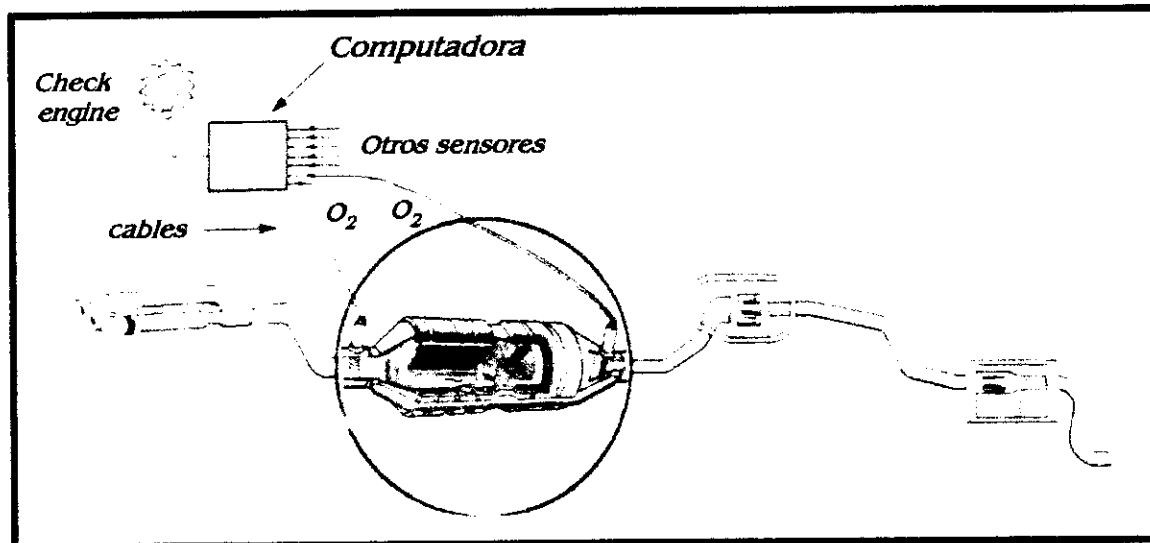


Figura 5.7. Convertidor Catalítico de Oxireducción con dispositivo de Diagnóstico A Bordo (OBD)

El convertidor catalítico mostrado en la figura 5.7 forma parte del dispositivo de Diagnóstico a Bordo (OBD). Este sistema monitorea constantemente las emisiones del vehículo, la información recolectada es enviada a una computadora. Existen dos tipos el OBD 1 y el más moderno OBD 2.

El catalizador funciona entre 300 y 900°C, A temperaturas inferiores no puede generarse ninguna reacción por lo que el catalizador no funciona. A temperaturas mayores el catalizador se destruye progresivamente. En la actualidad ya existen vehículos con catalizadores con sistema de precalentamiento por resistencia, para lograr su temperatura de funcionamiento en un tiempo más corto.

La eficiencia en el funcionamiento del catalizador de tres vías depende grandemente de la exactitud de la mezcla aire/combustible, por lo que el uso del catalizador en un vehículo generalmente se combina con un Sensor de Oxígeno que regula ya sea a un carburador con válvulas eléctricas de control de flujo, o bien a un

Sistema de Inyección Electrónica. Si se instala un catalizador en un vehículo sin sensor de oxígeno, su rendimiento es del 40 al 50%, mientras que si el vehículo posee el sensor de oxígeno el rendimiento será de 90 al 95%.

El catalizador pierde su funcionamiento al utilizar gasolina con plomo. El plomo en la gasolina deposita impurezas en la superficie del catalizador y lo cubre, desactivándolo por completo. El daño es casi inmediato, ya que bastan cuatro o cinco tanques de gasolina para inutilizar el catalizador.

Un catalizador de este tipo solamente puede utilizarse en vehículos con motores de gasolina. Los motores Diesel pueden utilizar catalizadores de oxidación para minimizar las emisiones de CO y HC; sin embargo, éstas no tienen mayor impacto porque el motor Diesel no emite mayores concentraciones de CO y HC. Además hay que asegurarse que el combustible usado tenga un contenido menor de 0.05% (en peso) de azufre para poder usar catalizadores. La alta emisión de hollín que tiene un motor Diesel descuidado, tiende a obstruir los catalizadores rápidamente. Es por esto, que en la actualidad no existen catalizadores de conveniencia para motores Diesel.

#### H. Sistema HAC (Compensador de Altura)

Este sistema puede ser utilizado en motores Diesel y en motores de gasolina, pero es el motor Diesel el que se ve mayormente beneficiado. En las regiones montañosas y en otras áreas con elevaciones, el aire es menos denso y la cantidad de oxígeno introducido en el cilindro decrece. Esto causa que la proporción aire/combustible se vuelva más rica que en elevaciones menores. Este sistema funciona dependiendo de la presión barométrica, al introducir aire extra en la admisión (motor de gasolina), o restringir la cantidad de combustible administrado (motor Diesel), y retornar la proporción aire/combustible a niveles apropiados para el funcionamiento.

A altitudes menores, el fuelle está comprimido por la presión atmosférica, de manera que la cantidad regular de combustible se inyecta al cilindro. A altitudes mayores, el fuelle se expande y es causa de que se restrinja el ingreso de combustible.

Un sistema de este tipo beneficiaría al transporte pesado que se moviliza en distintas regiones del país, ya que en Guatemala las variaciones de altura suelen variar drásticamente en un recorrido relativamente corto.

## VI. MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

### A. Objetivo del Mantenimiento

Por mantenimiento se entiende el acto de proporcionar los cuidados necesarios para el buen funcionamiento y apariencia de los bienes materiales en general. Por esto, al mantenimiento puede dársele muy variados enfoques según sea el objetivo que se pretenda cumplir. El objetivo de un control de emisión de gases es el de reducir en lo posible la contaminación automotriz. El control de emisiones depende totalmente del perfecto funcionamiento de los motores de combustión interna. Por lo tanto, se deberá enfocar el mantenimiento de modo que nos asegure que una vez que se hayan logrado las condiciones óptimas de operación en el motor de combustión interna, éstas se mantengan así.

Es necesario desarrollar un programa de mantenimiento preventivo que determine a nivel teórico y práctico, la secuencia de eventos de servicio que deberá dársele al motor y sus sistemas, fundamentándose en un análisis estadístico y físico, y en los casos que así lo requieran, en pruebas de laboratorio. El mantenimiento preventivo práctico se realizará sobre los motores y sus sistemas instalados antes de que ocurra alguna avería. Al ponerlo en marcha nos dará la oportunidad de disminuir los costos de operación e incrementar los beneficios obtenidos, al reducir el desperdicio y alargar la vida útil del automóvil, para prevenir reparaciones costosas.

Asimismo, este programa nos dará confianza en el rendimiento del motor de nuestro vehículo durante un determinado periodo de tiempo, ya que sobre la seguridad en el correcto ajuste, sincronización, y afinación del motor, es que se construye un control de emisión de gases. Sin un adecuado programa de mantenimiento preventivo para el vehículo no puede ejecutarse efectivamente ningún tipo de control.

En el programa de mantenimiento preventivo de un motor de combustión interna deben seguirse las recomendaciones del fabricante, y siempre deben incluir una revisión periódica de los sistemas de lubricación, encendido, enfriamiento, alimentación, y control de emisiones. Con lo anterior hecho, se puede realizar el ajuste de la mezcla, logrando así obtener el máximo rendimiento del motor y disminuir las emisiones contaminantes.

### B. Inspección Visual

La inspección visual del motor del automóvil es el primer paso para detectar los problemas presentes o venideros en lo referente a su buen estado y óptimo funcionamiento. Aunque a simple vista es muy difícil diagnosticar el estado real en el que se encuentra un automotor, hay ciertos sistemas y componentes que forzosamente deberán estar instalados y en buen estado si se espera que el motor trabaje adecuadamente y se tengan sus emisiones bajo control. Los componentes que deben inspeccionarse son:

- Sistema de escape sin fugas.
- Filtro de aire, filtro de aceite de motor, y filtro de combustible.
- Indicador de Filtro de Aire (en el caso de motores Diesel, si lo tiene).
- Tapón del aceite.
- Tapón de tanque de combustible.
- Tapón del radiador.
- Termostato, verificando que esté bien instalado.
- Varilla de medición de aceite del motor.
- Válvula PCV (ventilación positiva del cárter).
- Canister (filtro de carbón activado, si lo tiene).
- Válvula EGR (recirculación de gases de escape, si lo tiene).
- Compensador de altura (en el caso de motores Diesel, si lo tiene).
- Sistemas de mangueras de conexiones al motor.
- Sistemas de mangueras de conexiones al tanque de combustible.
- Cables para bujías de encendido (en el caso de motores de gasolina).
- Fajas y ventilador.
- Bujías de encendido (en el caso de motores de gasolina).
- Catalizador y Sensor de Oxígeno (en el caso de motores de gasolina, si lo tiene).

Debido a que los controles de emisiones en los motores Diesel aún no están tan desarrollados como en un motor de gasolina, habrá componentes que no se encontrarán en el motor, pudiéndose encontrar otros en su lugar.

Esta es la inspección que realizan todos los Centros Certificados para el Control de Emisiones Vehiculares previo a efectuar la prueba de emisiones en un automóvil. Sería de gran utilidad que los propietarios particulares practicaran esta inspección periódicamente para un mejor cuidado de sus vehículos.

### C. Verificación del Sistema de Lubricación

Es sin duda el rubro más importante de todos. La lubricación y la correcta elección del lubricante garantizará la durabilidad del motor, alargando la vida útil de sus componentes. Sin la lubricación contemplada dentro de un programa de mantenimiento, no sería rentable la operación de ninguna máquina.

1. Componentes del Sistema. El sistema de lubricación del motor se realiza por medio del aceite de motor, del filtro de aceite, de la bomba de aceite, y de los conductos de irrigación; una buena lubricación depende del estado de cada uno de los anteriores.

- **Aceite del Motor:** el aceite de motor debe trabajar bajo condiciones severas de servicio, donde se observarán: fuerte oxidación, altas temperaturas, y la presencia de una gran cantidad de contaminantes. Debe realizar muchas funciones sin causar daños en otras áreas de operación del motor. Sus funciones principales son:
  1. **Lubricación:** el lubricante forma una película fluida entre las partes móviles y estacionarias del motor, reduciendo la fricción, el calor, y el desgaste. El lubricante impide que se funda el motor al sostener el eje de levas y al cigüeñal a sus soportes.
  2. **Sello:** la capa de aceite lubricante fluye entre las ranuras del pistón, los anillos del pistón, y las paredes de la camisa o cilindro, sellándolos contra las altas presiones de combustión para evitar el escape de los gases.
  3. **Enfriamiento:** el aceite lubricante del motor ayuda a transferir el calor, tanto el generado por la combustión, a través de su película de aceite hacia las paredes del cilindro y de allí al sistema de enfriamiento, como el calor generado por la fricción de los componentes internos, principalmente el generado por los cojinetes. El aceite también transporta el calor cuando fluye y vuelve hacia el cárter.
  4. **Limpieza:** el aceite remueve las impurezas que se producen durante la operación del motor. Estas impurezas deberán ser absorbidas por el aceite y mantenidas en suspensión. Si no se absorbieran formarían depósitos en los alojamientos de los componentes del motor, en el filtro, y en los conductos de paso, al obstaculizar la circulación del aceite. Para esto, el aceite deberá tener aditivos detergentes/dispersantes que mantendrán las impurezas en suspensión, siempre y cuando sean lo suficientemente pequeñas.
  5. **Control de Oxidación:** el aceite ofrece protección contra la oxidación de todas las piezas metálicas del motor, principalmente en las piezas de acero o hierro fundido, protegiéndolas de los ácidos que se forman durante la combustión. Para esto, el aceite deberá ser ligeramente alcalino y de buena fluidez en estado frío.

Los aceites pueden ser de tres tipos: los minerales, los vegetales, y los sintéticos. Los fabricantes actuales de motores recomiendan el uso de aceites minerales, y sintéticos. El aceite mineral puro presenta bastantes inconvenientes, ya que su temperatura de solidificación es relativamente alta, su viscosidad demasiado elevada en climas fríos y excesivamente baja a altas temperaturas, quemándose por encima de los 230°C. Por lo tanto, para mejorar el rendimiento de los aceites de motor éstos se formulan partiendo de bases seleccionadas de lubricantes y se refuerzan con aditivos adecuados para dar el nivel de desempeño requerido. Los aditivos, al ser adicionados al aceite en proporciones controladas, mejoran las cualidades de lubricación y retardan su deterioro. Los aditivos más utilizados son: los antioxidantes, anticorrosivos,

antiespumantes, antifricción, dispersantes, detergentes, y los mejoradores del índice de viscosidad.

De todas las características deseables que debe tener el aceite de motor, el retenimiento de su viscosidad a diversas temperaturas es el factor predominante en la elección del lubricante adecuado. La viscosidad del aceite influye en la habilidad del lubricante de evitar el contacto de las partes móviles del motor, y el de impedir el paso de los gases calientes a elevada presión. Si el aceite es demasiado viscoso, impedirá el paso de gases, pero dificultará el desplazamiento de las piezas móviles. Si el aceite es demasiado fluido, la película que separa ejes y cojinetes se romperá, facilitando el contacto entre ambos; además, no lubricará adecuadamente los segmentos del pistón ni las paredes del cilindro.

La viscosidad que debe poseer el aceite lubricante depende del uso y esfuerzo a que se va a someter el motor de automóvil, así como de la temperatura ambiente. Las temperaturas que se presentan en el motor varían entre límites muy amplios. Debe ser capaz de arrancar a temperaturas bajas. Llega a alcanzar los 80°C que es la temperatura ideal de funcionamiento del aceite en el cárter para evaporar la humedad producida durante la combustión. La temperatura a la que se somete al aceite en los cojinetes de bancada y de biela es mayor en unos 10°C a la del cárter; pero a nivel de los segmentos del pistón puede alcanzar los 230°C, sobre todo cuando se tiene el acelerador a fondo.

Todos los aceites pierden viscosidad al aumentar la temperatura, pero algunos lo hacen con mayor rapidez que otros. La susceptibilidad de un aceite a la pérdida de viscosidad recibe el nombre de índice de viscosidad, cuanto menos se modifique con la variación de la temperatura, mayor será el índice.

La viscosidad del aceite se identifica por su grado SAE, que adopta el nombre de la Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices, que definió por primera vez estos números indicadores de la viscosidad. Si los aceites son de una sola especificación, y mantienen un mismo nivel de viscosidad durante operación, se les llama monogrado. Si los aceites tienen más de una sola especificación, manteniendo su viscosidad sobre un amplio rango de temperaturas, se les llama multigrado. El aceite multigrado es un aceite especial al cual se le han agregado aditivos sintéticos que consiguen darle un índice de viscosidad elevado, por lo que su viscosidad se alterará poco dentro de las temperaturas especificadas. A estos aceites se les asignó la letra W.

Los números SAE 20, 30, 40 y 50 indican que la viscosidad del aceite para motor se mantiene dentro de unos límites determinados experimentalmente a 99°C; el SAE 20 es el menos viscoso (o más delgado), y el SAE 50 es el de viscosidad mayor (más grueso). Los números SAE 5W, 10W y 20W son aceites multigrado, e indican que la viscosidad del aceite para motor se mantiene dentro de unos límites determinados experimentalmente a -18°C, definiendo su confiabilidad para el arranque en climas fríos. Por ejemplo, si se tiene un aceite de motor SAE 20W 30, éste mantendrá las características de los aceites SAE 20 y 30 aunque cambie la temperatura. Los aceites multigrado son más utilizados en vehículos en los cuales

el motor debe someterse a continuos cambios por exigencias de operación, por ejemplo: que se tenga que arrancar y apagar frecuentemente, o ser detenidos en su marcha con más regularidad, lo que hace variar la temperatura continuamente. Los taxis, y los buses de transporte son los vehículos que podrían sacar la mayor ventaja de este tipo de aceite.

Los números en la clasificación SAE no especifican más características que la viscosidad; cuanto menor sea el número SAE, más fluido será el aceite.

Una segunda clasificación es la que hace la API (Instituto Americano del Petróleo), en ella los aceites se clasifican de acuerdo al tipo de trabajo al que se les somete, y de acuerdo al tipo de motor. Cuando anteponen la letra S, el aceite es apto para motores de gasolina; si anteponen la letra C, el aceite debe utilizarse en motores diesel. La segunda letra en ambos casos indica las condiciones de operación del motor, desde trabajos livianos hasta trabajos con grandes cambios en velocidad y carga.

La clasificación API de aceites para motores de gasolina se inicia con la serie SA, que es un aceite para motor cuyo funcionamiento no requiere protección adicional. El aceite SB ya tiene incluidos los aditivos necesarios que le dan al motor una mínima protección adicional. El desarrollo constante de nuevos aceites con mejores aditivos, culmina momentáneamente con la aparición de los aceites SH y SJ, especiales para los motores actuales.

La clasificación API para motores Diesel usualmente se divide en los aceites tipo CA, CB, y CC con poca protección, y los aceites CD, CE, y CF con alto grado de protección.

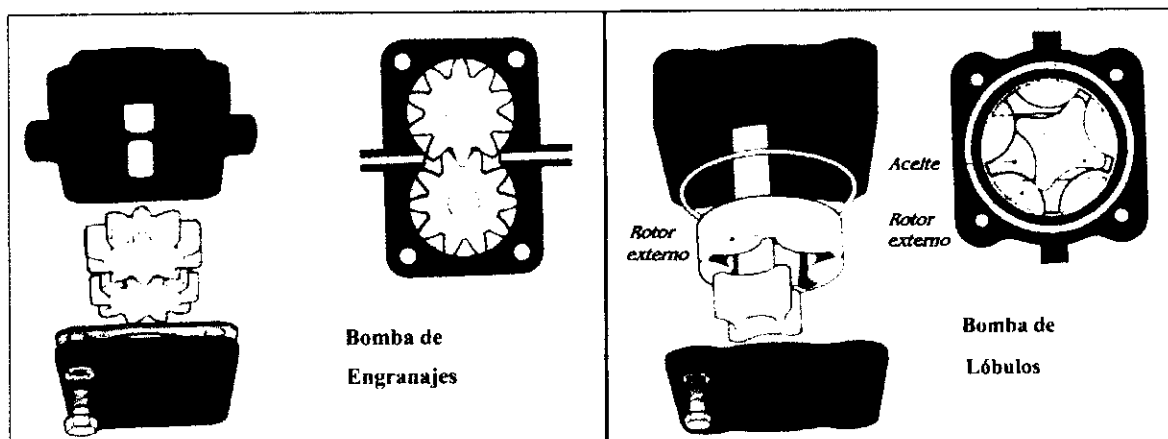


Figura 6.1. Bombas de Aceite (engranajes y lóbulos)

- La Bomba de Aceite y los conductos de irrigación: para que el lubricante llegue a todas las partes del motor se necesita de una bomba que le entregue la presión necesaria. Este sistema recibe el nombre de Sistema de Lubricación Forzada, y es el que se encuentra en uso en todos los vehículos. Por lo general, las bombas son del tipo de engranajes o del tipo de lóbulos (figura 6.1), y son accionadas por el eje de

levas o por el cigüeñal.

La bomba de engranajes consta de dos piñones alojados en una caja que los envuelve. Al girar los piñones, engranan uno con el otro, y los espacios entre los dientes se llenan de aceite procedente del cárter con lo que, al continuar el giro, se produce la impulsión. El aceite penetra por un lado de la caja, es transportado por los piñones, y sale por el otro.

La bomba de lóbulos consta de un rotor interno y otro externo contenidos en un cilindro, entre los cuales penetra aceite. El rotor interno engrana en la parte interior del rotor externo, que tiene un lóbulo más. Ambos poseen ejes de rotación diferentes, por lo que los espacios que dejan son de tamaño variable, que provocan la penetración y expulsión del aceite.

Cuando el aceite está frío, la presión que se necesita para hacerlo circular a través del reducido juego entre cojinetes y cigüeñal podría ser lo suficientemente alta para dañar la bomba u otra parte del sistema. Para evitar esto se instala una válvula reguladora de presión después de la bomba, de este modo las presiones altas vencerán la resistencia que ofrece el resorte de la válvula, al permitir que el aceite retorne al cárter.

- El Filtro de Aceite: en su paso por los componentes del motor, el aceite pasa recogiendo una gran cantidad de partículas nocivas. Para retirar este polvo y partículas se monta un filtro de aceite en la parte externa del monobloque del motor por el que pasa todo el flujo de aceite. Como se muestra en la figura 6.2, el elemento filtrante más utilizado en la fabricación de los filtros de aceite es el papel impregnado en resina, el aceite penetra por la periferia de la base atravesando la armadura y el papel plegado, hasta llegar al conducto central de salida donde pasa al motor.

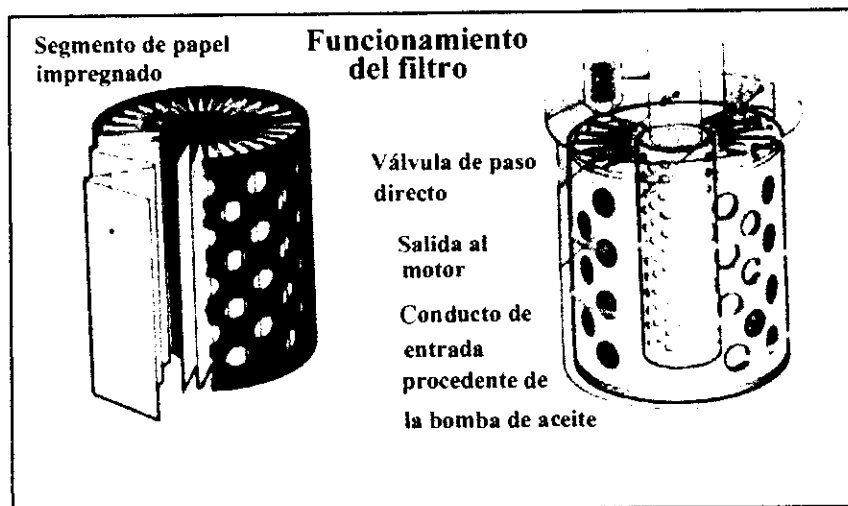


Figura 6.2. Filtro de aceite

El filtro de aceite no puede limpiarse por lo que debe sustituirse con regularidad. Los filtros pueden ser montados de dos formas distintas (figura 6.3). El primero es el montaje normal en serie, en el que todo el aceite pasa por el filtro antes de ser forzado dentro del motor. El segundo tipo es el montaje paralelo, en el que el aceite es impulsado directamente al circuito, y por derivación parte del aceite impulsado se dirige a la entrada del filtro. El primer tipo es el que tiene una mayor ocurrencia entre los vehículos.

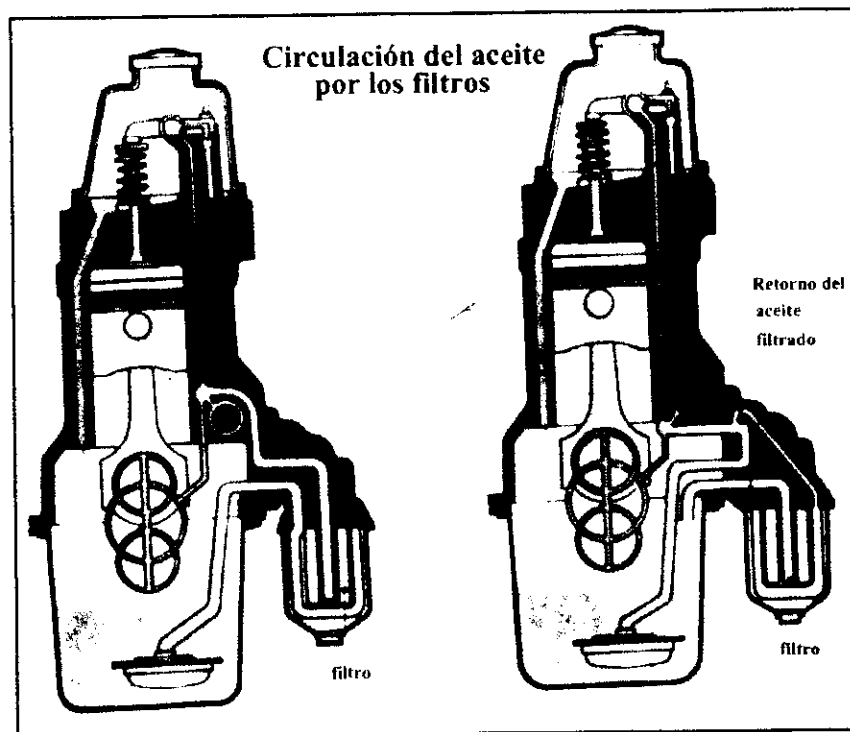


Figura 6.3. Circulación del Aceite por los Filtros

Si el filtro llega a obstruirse, existe una válvula de alivio interna al filtro, la cual se abre permitiendo que el aceite sin filtrar lubrique el motor.

2. Funcionamiento del Sistema. La bomba toma el aceite del cárter del cigüeñal, la parte más baja del motor, y lo hace circular por la red de tubos del sistema de lubricación, llevándolo hacia los cojinetes del cigüeñal. De éstos, el aceite pasa a través de los conductos maquinados en el cigüeñal y por las ranuras hechas a sus cojinetes hasta llegar a los cojinetes de las bielas. Como puede observarse en la figura 6.4, el aceite que escapa de los cojinetes lubrica las paredes de los cilindros. En muchos motores el aceite circula también por unos orificios maquinados en la biela, hasta llegar al vástago que soporta al pistón, y después de lubricarlo, se escapa proyectándose a chorros hacia el interior del pistón. El aceite logra una buena dispersión debido al movimiento giratorio del cigüeñal. El aceite es retirado del cilindro por los anillos raspadores de aceite en la cabeza del pistón que lo devuelven al cárter. Otros orificios del conducto principal suministran aceite lubricante a cada uno de los soportes de las levas. El aceite retorna al cárter a través de unos pasos en la culata.

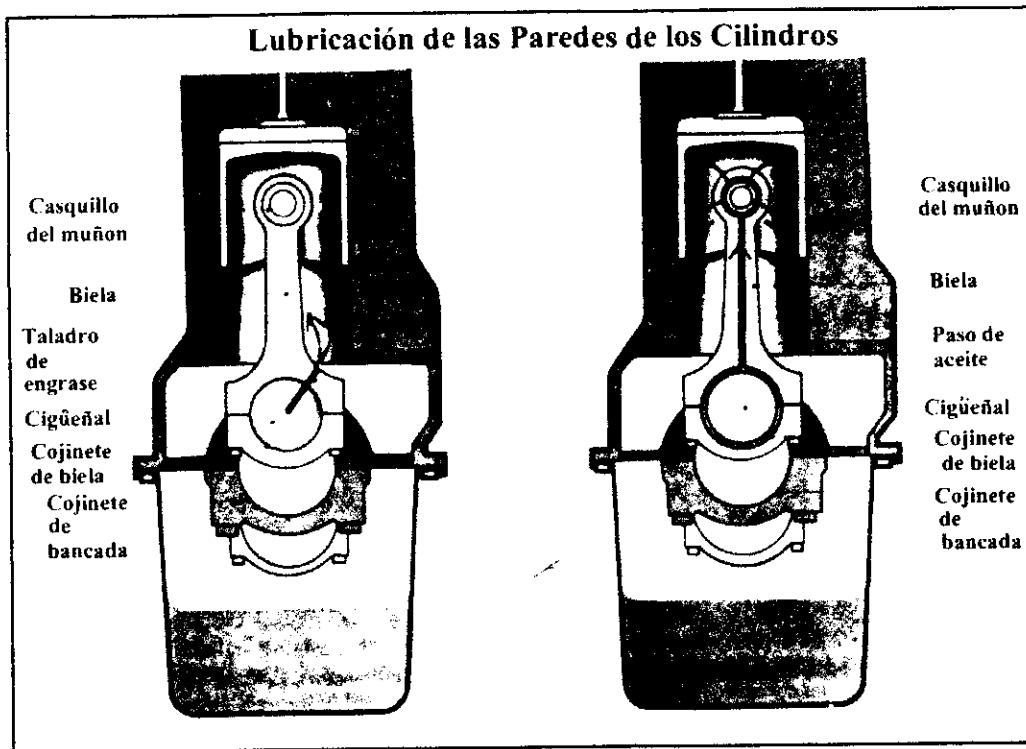


Figura 6.4. Lubricación de las paredes de los cilindros

3. Mantenimiento del Sistema. Los principios de lubricación en un motor de gasolina y un motor Diesel son los mismos, los sistemas de lubricación son prácticamente idénticos. La falta de lubricación se observa al tener un desgaste interno excesivo en piezas como los cilindros, anillos, y válvulas, notándose un marcado aumento en el consumo de aceite. Este desgaste puede provocar una fuga de compresión y el paso de aceite lubricante del cárter a la cámara de combustión. Esto contribuye a la emisión excesiva de humo por el escape, y de los gases por el respiradero del motor.

El mantenimiento de los sistemas de lubricación debe incluir lo siguiente:

1. Verificar la salida anormal de los gases de escape por el respiradero del motor.
2. Verificar el nivel de aceite en el cárter del motor por medio de la varilla de aceite.
3. Realizar los cambios de aceite y del filtro de aceite cuando el vehículo lo necesite.
4. Controlar la presión del aceite (si fuera posible). En los motores Diesel, debido a las mayores presiones y esfuerzos a los que está sujeto el motor, es de mayor importancia el monitoreo de la presión del aceite, por lo que es necesario tener instalado un indicador de presión para comprobar que efectivamente funcione bien.

5. Verificación del funcionamiento de la válvula de alivio del filtro.
6. Realizar una limpieza periódica del respiradero del cárter, sustituyendo la válvula PCV cada dos años (principalmente en motores Diesel, en motores de gasolina esto puede esperar un poco más).
7. Verificar la compresión del motor, y si fuese posible realizar prueba de fugas. Si se nota un marcado decaimiento en sus compresiones, es muy probable que sea necesario cambiar los anillos. Si se tiene este problema, seguramente el aceite logra ingresar a la cámara de combustión quemándose junto con el combustible.
8. Ajustar los tapones del sistema y comprobar el buen cierre de los empaques.
9. Correcta elección del aceite de motor con los aditivos necesarios según especificaciones.

Es de fundamental importancia el respeto a los períodos de tiempo y las distancias recorridas entre los cambios de aceite recomendados por el fabricante del automóvil. También, hay que utilizar un aceite que cumpla con las especificaciones recomendadas. Por regla general, el cambio de aceite en la mayoría de motores Diesel y de gasolina se hace cada 3000 millas (4000 a 5000 Kms.). Por las condiciones climáticas prevalecientes en la ciudad de Guatemala, un aceite con una especificación SAE 20W 50 - API SJ/SH es suficiente para un automóvil de gasolina usado. Un aceite SAE 10 W 30 ó un SAE 10W 40, que cumpla también con la especificación API SJ/SH será recomendable para vehículos nuevos, consultando primero las especificaciones del manual del fabricante.

Debido a la diversidad que se tiene entre los motores Diesel, no es tan sencillo escoger el tipo de lubricante, ya que las especificaciones pueden variar según el tipo de uso. Sin embargo se sugiere un aceite SAE 15W 40/API CF-4, para el transporte ordinario de carretera. Es preferible revisar las recomendaciones que cada fabricante haga para cada tipo de motor.

Como regla general, cada vez que se cambie el aceite de motor, se debe cambiar el filtro de aceite también. El dueño de un automóvil podrá ver inmediatamente las enormes ventajas en operación y rendimiento del motor, al incorporar esta costumbre en el cuidado del motor.

#### D. Verificación del Sistema de Enfriamiento

Las temperaturas que se generan durante la combustión dentro del motor son muy elevadas, y podrían alterar las dimensiones de sus componentes metálicos internos, que entorpecen su funcionamiento y acortan dramáticamente su tiempo de vida. Los motores tienen una temperatura de operación en donde su funcionamiento es óptimo, y la emisión de gases mínima.

Menos de una cuarta parte de la energía calorífica consumida en el motor de encendido por chispa se

transforma en fuerza útil, la fracción aprovechada es un poco mayor para el motor Diesel. Alrededor de un tercio del calor se disipa por los gases de escape, un segundo tercio se disipa por el sistema de enfriamiento, y una pequeña porción es debida a la fricción interna y calentamiento del aceite de lubricación. El cuidado del sistema de enfriamiento es parte vital para el buen mantenimiento del motor.

1. Componentes del Sistema. En los vehículos de uso actual se utiliza el sistema de enfriamiento por agua o refrigerante. En la figura 6.5 puede verse el ciclo de enfriamiento estándar de un motor de combustión interna para vehículos de carretera. Este sistema consta de los siguientes componentes:

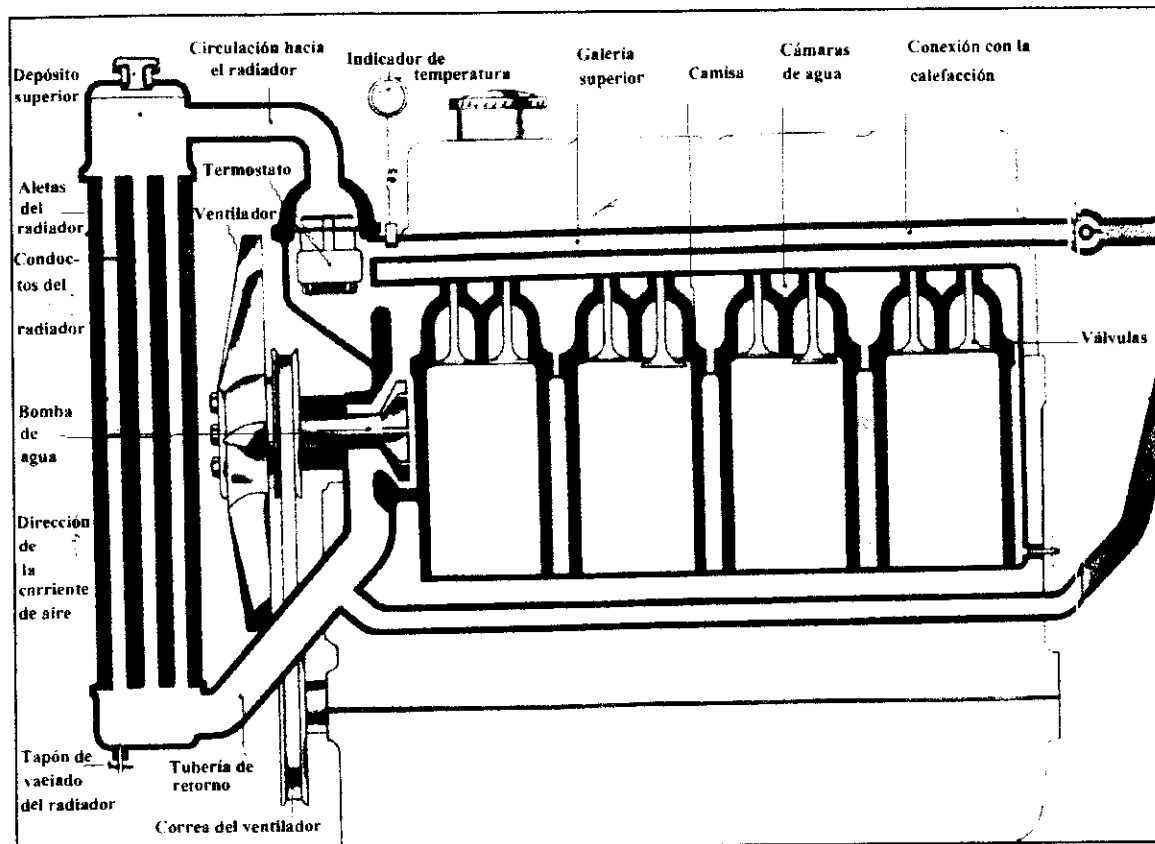


Figura 6.5. Sistema de enfriamiento del motor.

- Envoltura: es el sistema de irrigación que rodea las partes calientes del motor como los cilindros, cámaras de combustión, y conductos de escape. Gran parte de la envoltura se encuentra maquinada en el monobloque del motor.
- Radiador: es el dispositivo en el que ocurre la transferencia de calor entre el agua caliente que llega desde el motor hacia el aire exterior. Está compuesto de dos cámaras de almacenamiento de agua, y de una gran cantidad de tubos capilares por donde circula el líquido de enfriamiento. Los tubos suelen tener juegos de aletas para incrementar la rapidez de enfriamiento. El radiador es usualmente fabricado de cobre o latón.

- Termostato: es una válvula de control de flujo, sensible a la temperatura, localizada en una caja al frente del motor. Su función es mantener una determinada temperatura en el agua que recorre la envoltura; en los motores de gasolina por ejemplo, el termostato debe mantener la temperatura de operación normal del motor que es alrededor de 70 u 80 °C. El termostato permanece cerrado hasta que el motor alcanza su temperatura de operación, y se abre cuando ya ha aumentado la temperatura, y permite que circule el agua hacia el radiador.
- Bomba de agua: es la que fuerza la circulación del agua o refrigerante a través de todo el sistema de enfriamiento.
- Tapón del radiador: vienen presurizados, con ésto se permite que el agua en el interior del radiador tenga un punto de ebullición mayor a los 100°C, evitando la formación de bolsas de vapor en las proximidades de los cilindros. El tapón presurizado tiene una válvula de alivio y una válvula de vacío. Cuando el refrigerante aumenta su volumen y su temperatura, su presión aumenta también. Cuando la presión se eleva por encima del nivel estampado en el tapón, la válvula de alivio se abre conectando al depósito de reserva. Cuando la presión disminuye, el refrigerante es succionado a través de la válvula de vacío del tapón y mantiene el nivel del radiador.
- Ventilador: funciona mediante una faja que la conecta con alguna polea en el frente del motor, aunque puede estar acoplada con la polea misma. El ventilador fuerza al aire exterior a pasar por el radiador, disipando el calor del agua.

2. Funcionamiento del Sistema. La polea del cigüeñal mueve la bomba de agua por intermedio de la faja. La bomba circula el líquido a través de la envoltura del motor enfriándolo. De allí, el líquido refrigerante se hace pasar por el radiador, cediendo calor al aire que el ventilador hace pasar por la parte externa del radiador. Con ésto cumple su ciclo de operación.

El líquido refrigerante generalmente usado es agua (ó agua mezclada con refrigerante). El agua puede tener ciertos aditivos que tienen la única función de proteger al motor de la corrosión, pero sólo en casos de servicio extremos. También puede añadirse un anticongelante para permitir la circulación del refrigerante en climas demasiado fríos. En Guatemala no es necesaria esta medida.

El inicio de operación del motor es el instante crítico durante el ciclo de enfriamiento. Al iniciar la marcha en el vehículo, la temperatura del motor está muy por debajo de sus niveles normales de funcionamiento. El termostato impide el paso del agua que se encuentra en la envoltura del motor hacia el radiador, con lo que aumenta rápidamente la temperatura del motor. El resto del refrigerante que está en el radiador continúa en movimiento por un paso de derivación entre la bomba y el radiador. La disminución de la temperatura y de la presión al enfriarse el motor, forma un vacío dentro del radiador, que se compensa al

introducir líquido del depósito; a este sistema se le llama "circuito sellado". Este sistema no debiera permitir pérdidas de refrigerante, ya que cuando el motor ha alcanzado su temperatura el agua se dilata, devolviéndose al depósito. En condiciones reales parte del agua se devuelve, pero no toda. El termostato permite el circuito normal del líquido de enfriamiento.

Un termostato defectuoso que quede cerrado, o sólo parcialmente abierto, restringirá el flujo de agua y ocasionará el sobrecalentamiento del motor. Este sobrecalentamiento permitirá el incremento en las emisiones de óxidos nitrosos (NOx). Si el termostato no se encuentra instalado, o falla, pegándose en posición completamente abierta puede impedir que el motor alcance la temperatura normal de operación, lo que provocará un aumento en las emisiones de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos no quemados (HC), al producirse parcialmente la combustión dejando depósitos abundantes de carbón en los pistones, en los anillos y en las válvulas. Este problema se agrava en los motores modernos de alimentación por inyección, en los que hay un control computarizado del régimen de alimentación. En este caso, los sensores e interruptores térmicos seguirán enviando la señal de motor frío a la Unidad de Control, la cual asume que el motor no ha llegado a su temperatura de operación, manteniendo la proporción de mezcla rica que se da en el arranque, aumentando la cantidad de emisiones y el consumo de combustible. Un motor sin termostato consume más combustible.

Para una operación eficiente del motor son esenciales los termostatos en operación correcta. Si la temperatura de operación del motor rebasa a la normal, deben sacarse los termostatos, revisarse o cambiarse.

3. Mantenimiento del Sistema. El sistema de enfriamiento es esencialmente el mismo para motores de gasolina y motores Diesel, por lo que ambos requieren de los mismos cuidados:

1. Revise el termostato, debe estar en buen estado. Cámbielo si presenta daños obvios, si no es este el caso, pruébelo. Amarre el termostato a una varilla y suspéndalo dentro de un recipiente con agua y un termómetro (ni el termostato ni el termómetro deben tocar el fondo del recipiente). Caliente el agua. Si el termostato no se abre a en un intervalo de 5 o 10 grados de temperatura marcada en el, cámbielo. Al enfriarse, el termostato debe cerrarse nuevamente.
2. Los radiadores están normalmente con tapones presurizados que sellan herméticamente el radiador. Es muy difícil que éstos se dañen. Sólo es necesario asegurarse que se tenga colocado el tapón que le pertenece al vehículo. En su defecto, puede reemplazarse por uno que tenga estampada la presión estipulada.
3. En sistemas presurizados es importante mantener el nivel del refrigerante a su marca especificada, en frío el nivel se mantendrá en mínimo y en caliente subirá al máximo. Como parte del refrigerante se

consume durante el arranque del motor, es necesario revisar el nivel del agua en el depósito para evitar que se vacíe.

4. Realizar una limpieza externa de la parrilla del radiador.
5. Realizar una limpieza interna del radiador. Se recomienda hacer un lavado con un producto desincrustante (que es una mezcla de ácidos). Para realizar este proceso es necesario desmontar el radiador, con lo que se evitan daños en el motor. Después de un tiempo prudencial, debe lavarse el interior del radiador usando agua a presión.
6. Utilizar siempre agua desmineralizada con su debido refrigerante para llenar o rellenar el radiador. El refrigerante deberá contener elementos anticorrosivos, anticongelantes, y refrigerantes. Como sugerencia, se debe agregar agua en el depósito adicional hasta la marca que se indica, con lo que se evita el sobrecalentamiento del motor.
7. Verificar el buen estado de las mangueras. Si hay mangueras que conecten a la bomba de agua, éstas deberán de ser resistentes, si se pierde esta propiedad el vacío producido por la bomba la estrangulará, cortando el flujo del agua hacia la bomba.
8. Verificar que la tensión de la faja del ventilador sea la correcta. Es aceptable encontrar una flexión de entre  $\frac{3}{4}$  a 1 pulgada en el punto medio entre cada polea. Si está demasiado ajustada ocasionará pérdida de potencia, recalentamiento de la faja, y desgaste prematuro de los cojinetes de la bomba de agua. Si la faja está suelta, bajará la eficiencia del ventilador y de la bomba de agua.
9. El motor debe apagarse si se observa un aumento anormal de temperatura.

#### E. Verificación del Sistema de Encendido

A diferencia del motor Diesel que inicia la combustión por sus propios medios, el motor de gasolina necesita un sistema adicional para su encendido. Los sistemas de encendido son los encargados de generar la chispa que inicia la combustión en los motores de gasolina. El instante preciso en que se produce la chispa es de gran importancia para la eficiencia de su ciclo de operación. Si no se tiene un buen control que determine este momento óptimo, no se quemará toda la mezcla combustible dentro del cilindro, y dará como resultado un drástico aumento en las emisiones contaminantes del motor. Es por esta razón que los sistemas de encendido han sido objeto de un desarrollo continuo por parte de los fabricantes de automóviles.

En esta sección se describirá el desarrollo que han tenido los de sistemas de encendido, y se recomendarán las revisiones que es necesario realizar periódicamente.

1. Sistema Convencional: Componentes y Funcionamiento. Este es el sistema de encendido antiguo, sin embargo, en este sistema ya se hace evidente la estructura general que fundamenta el proceso de ignición, que se ha usado desde siempre en los vehículos de gasolina. Sus componentes y el sistema en conjunto pueden verse en la figura 6.6.

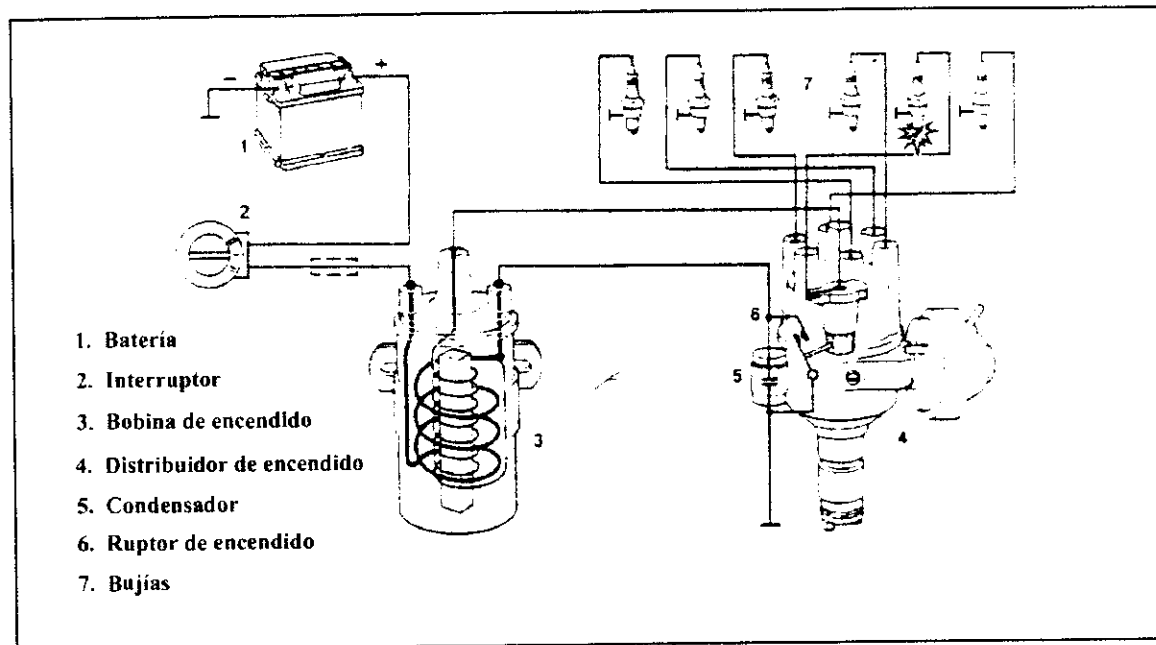


Figura 6.6. Sistema de Encendido Convencional

- Batería: es la que provee la energía necesaria para el sistema de ignición.
- Interruptor: es el que permite o restringe el paso de la corriente en el sistema de ignición.
- Resistencia: en el momento del arranque, el motor necesita de toda la energía que pueda generar la batería; sin embargo, si se dejara que toda esta energía fluyera indefinidamente por el sistema eléctrico, la vida útil de sus componentes se acortaría dramáticamente. Para impedir ésto, un momento después del arranque se habilita una resistencia que reduce el valor de la corriente en el circuito a una magnitud aceptable.
- Bobina de encendido: es un pequeño transformador de voltaje. El voltaje de la batería (que es alrededor de los 12 V) no es, por sí solo, lo suficientemente alto para satisfacer los requerimientos de encendido de la bujía. La bobina de encendido transforma el voltaje de la batería al voltaje necesario en la bujía (que es alrededor de los 20,000 V). Consta de un embobinado primario, embobinado secundario, un núcleo de hierro, varias capas de aislante, y terminales de conexión.
- Distribuidor de encendido: es el encargado de distribuir la tensión de encendido a las bujías de acuerdo al orden de encendido establecido por el fabricante. En él se encuentran incluidos los platinos y el condensador (ambos parte del circuito primario); y la tapa y el rotor (parte del circuito secundario). El distribuidor de encendido generalmente es accionado por el eje de levas.

- **Condensador:** se encuentra conectado entre los platinos del ruptor. El condensador está conformado por dos electrodos separados por un dieléctrico. Al aplicar un voltaje al circuito, el condensador se carga y almacena energía. Al retirar el voltaje, el condensador libera la energía almacenada. Su función dentro del sistema de encendido es la de proteger los platinos para evitar la formación de la chispa en el ruptor. A la vez, eleva el voltaje inducido, y permite el alargamiento de la chispa en la bujía. La capacidad del condensador depende de la forma geométrica de los electrodos, de su separación, y del material dieléctrico que los separa.
- **Ruptor de encendido:** está conformado por los platinos, su función es la de interrumpir cíclicamente la conexión entre el circuito primario y la bobina de encendido.

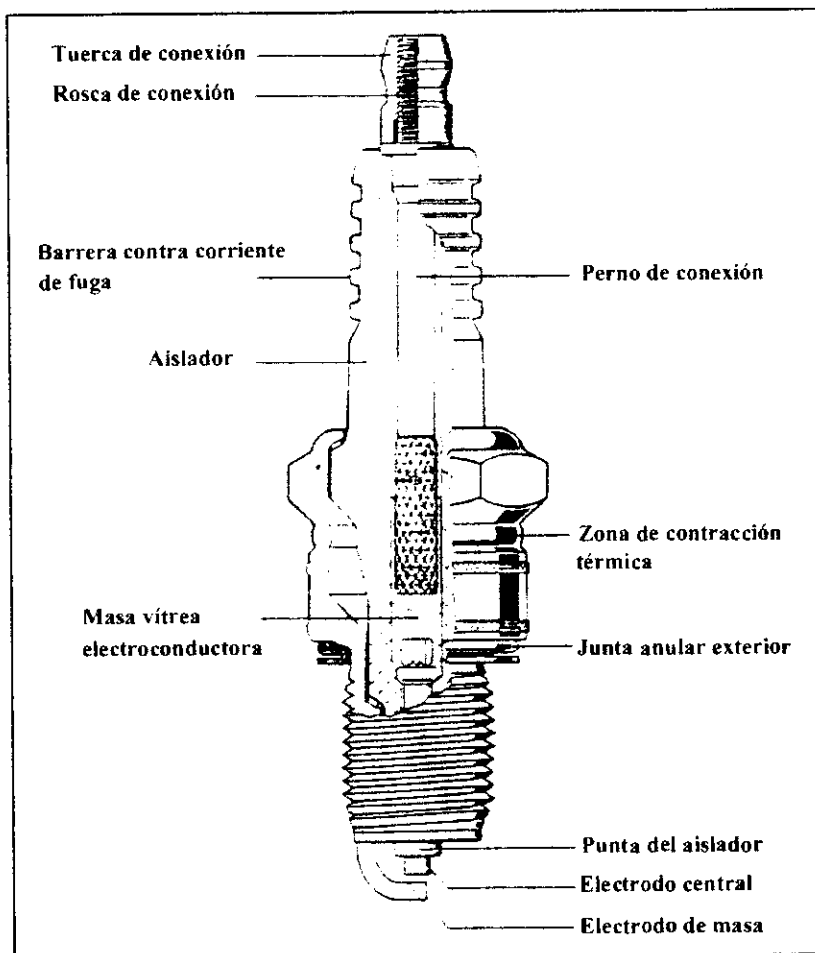


Figura 6.7. Estructura de la bujía de encendido

- **Bujías de encendido:** tienen la función de introducir la energía eléctrica a la cámara de combustión, y convertirla en la chispa que inicia la inflamación de la mezcla combustible. Sus componentes principales son dos electrodos ubicados en su punta, los que están separados una cierta distancia o calibre. El voltaje que el circuito secundario aplica a ambos electrodos de la bujía, es suficiente para vencer la

resistencia dieléctrica del espacio que los separa, produciéndose una descarga eléctrica (ó salto de chispa) desde el electrodo central al electrodo de masa. Esta chispa inicia la combustión de la mezcla aire/combustible. La bujía va enroscada en la culata del motor. La estructura de una bujía puede verse en la figura 6.7.

El sistema de encendido posee dos circuitos eléctricos integrados: el circuito primario y el circuito secundario. El circuito primario inicia con el embobinado primario de la bobina, y termina con el condensador y los platinos del ruptor. El circuito secundario inicia con el embobinado secundario de la bobina, y termina con el rotor del distribuidor y las bujías. A los platinos del ruptor se les hace abrir y cerrar el circuito primario en forma intermitente, por medio del rotor del distribuidor de encendido, el que a su vez es accionado por el eje de levas.

Al accionar manualmente el interruptor de encendido, teniéndose cerrados los platinos, la batería proveerá corriente directa al embobinado primario de la bobina de encendido, formándose un campo magnético en ella. Un instante después, el rotor del distribuidor de encendido abrirá bruscamente los platinos, cortando el circuito primario de la bobina. La variación en la intensidad original del campo magnético del embobinado primario, generará un voltaje autoinducido (de 200 V aproximadamente) en el embobinado primario de la bobina. Esta autoinducción es de muy corta duración, y equivale a un único pulso de corriente alterna de alta frecuencia, que por la relación de vueltas entre el embobinado primario y el secundario, causará a su vez una inducción de alto voltaje en el circuito secundario de la bobina (subiendo el voltaje a 20 000 V aproximadamente).

El condensador, se conecta a propósito entre los platinos, para que absorba parte de la energía formada por la interrupción de la corriente, elevando aún más el voltaje inducido y protegiendo a los platinos del ruptor.

La energía generada es distribuida por el rotor en el distribuidor de encendido, el que reparte la alta tensión a cada una de las bujías en el instante preciso. La bujía está enroscada en la culata del motor, haciéndose llegar hasta la cámara de combustión dentro del cilindro. En este momento, el voltaje al que se somete la bujía es lo suficientemente alto, por lo que se rompe la resistencia dieléctrica del espacio entre el electrodo central y el de tierra, formándose el arco eléctrico y la creación de la chispa.

Este sistema se usó por muchos años, pero tenía el inconveniente de que el amperaje que manejaba la bobina (generalmente 2 amperios) desgastaba los platinos rápidamente.

2. Sistema Transistorizado: Componentes y Funcionamiento. Los transistores fueron incorporados a los sistemas de encendido con el advenimiento de dispositivos semiconductores. Este sistema utiliza transistores, agrupados en un componente llamado amplificador, que efectúan la interrupción de la corriente

del embobinado primario de la bobina de encendido. Este sistema está basado en el sistema convencional, por lo que solamente se discutirán sus diferencias.

El funcionamiento del sistema es prácticamente idéntico al sistema convencional, los platinos del ruptor siguen abriéndose y cerrándose intermitentemente según sean accionados por el rotor del distribuidor de encendido. La diferencia radica en que en lugar de que el ruptor produzca directamente la autoinducción en el embobinado primario de la bobina de encendido, éste simplemente envía la señal de corte al amplificador. Un diagrama de este sistema puede verse en la figura 6.8.

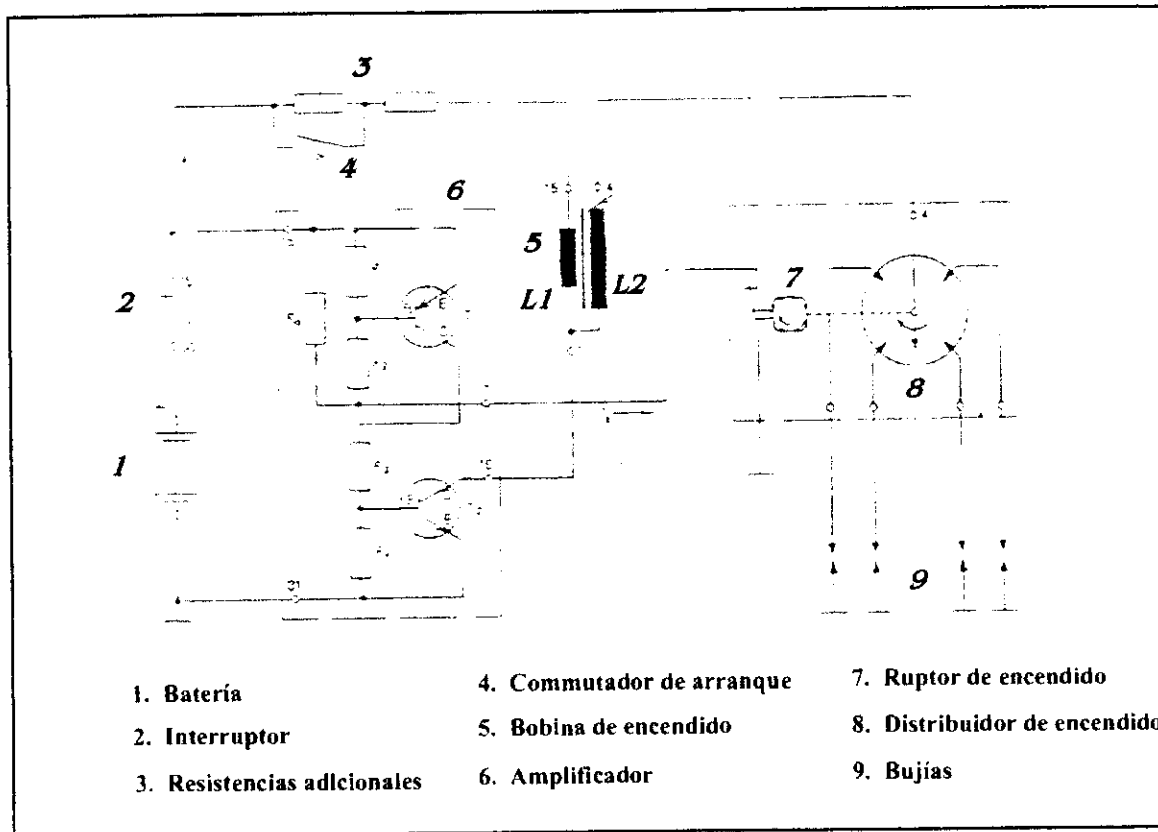


Figura 6.8. Sistema de Encendido Transistorizado

El funcionamiento es el siguiente: el ruptor está conectado en serie al transistor T1 del amplificador, por lo que la base de éste se hace negativa. El transistor T1 permite el paso de la señal positiva de su emisor a su colector. Esta señal sirve de base al transistor T2, por lo que T2 permite el paso de señal de su colector a su emisor. Como puede verse en la figura 6.8, el paso de corriente del colector al emisor en el transistor T2 cierra el circuito primario del sistema de encendido, permitiendo la formación del campo magnético en el embobinado primario de la bobina de encendido.

En el instante en que el ruptor se abre, se interrumpe la señal al transistor T1, el que a su vez bloquea al transistor T2, cortándose la corriente del primario, provocando su autoinducción, y la subsecuente

inducción del circuito secundario. Lo que resta del proceso es idéntico al sistema convencional.

La ventaja de este sistema respecto al convencional es que no necesita de un amperaje alto. Las resistencias R1, R2, R3, y R4 estabilizan la corriente, mientras que la R0 limita la corriente que llega al ruptor (0.3 A aproximadamente). Este sistema desgasta menos sus componentes, en especial los platinos del ruptor.

3. Sistema de Encendido por Inducción: Diferencias y Funcionamiento. El principio de operación sigue siendo el mismo: interrumpir el circuito primario en el instante preciso, para provocar una autoinducción en el embobinado primario de la bobina de encendido, que a su vez induzca un voltaje elevado en embobinado secundario que cumpla con los requerimientos de la bujía. Sus componentes son los siguientes:

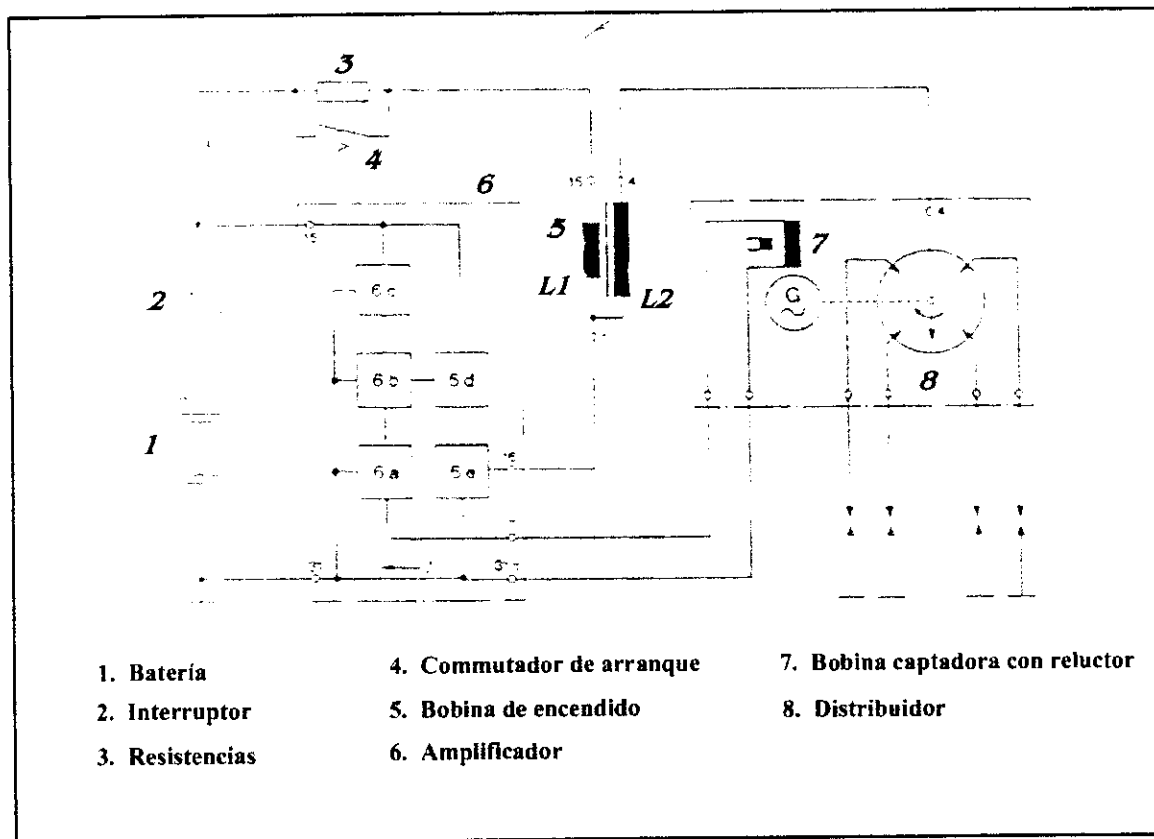


Figura 6.9. Sistema de Encendido por Inducción

En este sistema se utiliza un amplificador más desarrollado y sofisticado, el que controla la corriente del primario de la bobina. En el distribuidor de encendido se ha sustituido el ruptor de platinos por un sistema inductivo como el mostrado en la figura 6.10, que hace uso de la variación periódica del espacio (conocido como entrehierro) entre los dientes del devanado y los del reluctor, de modo que al variar este espacio, variará también el campo magnético entre ambos, induciendo un voltaje alterno. La señal así generada es transferida al amplificador, el cual interrumpe la corriente del embobinado primario de la bobina

de encendido.

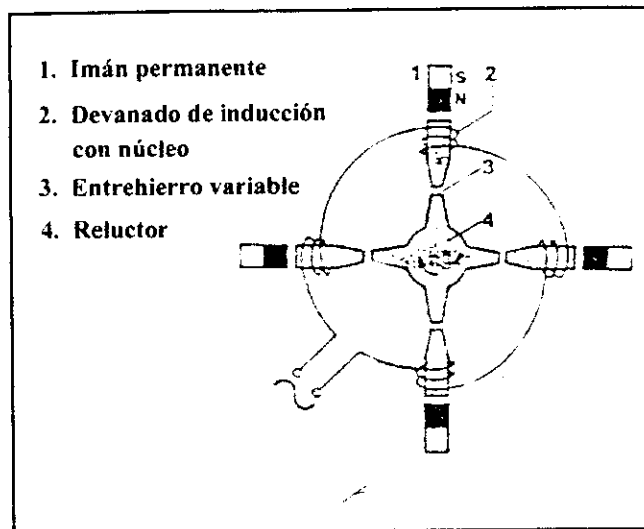


Figura 6.10. Sistema Inductivo en el Distribuidor de Encendido

Este sistema formó parte del equipo estándar en los vehículos de gasolina por algún tiempo. Hoy día ya ha sido casi totalmente reemplazado por sistemas más modernos.

4. Sistema de Encendido por Efecto Hall: Diferencias y Funcionamiento. Fue descubierto en 1879 por Edwin Hall. El efecto consiste en que cuando un conductor que lleva corriente se coloca en un campo magnético, se genera un voltaje en la dirección perpendicular tanto a la corriente como al campo magnético. Esta observación proviene de la desviación de los portadores de carga hacia uno de los lados del conductor como resultado de la fuerza magnética experimentada en ellos.

Como se muestra en la figura 6.11, el voltaje Hall aparecerá entre los extremos del conductor, debido a la diferencia de carga entre ambas partes. Este voltaje depende de la intensidad del campo magnético, por lo que si éste desaparece, también desaparecerá el voltaje Hall.

El captador (que es el nombre con que se conoce al ruptor de encendido en este sistema) mostrado en la figura 6.12, trabaja usando el efecto Hall, y sigue gobernado por el rotor del distribuidor. El sistema de encendido por efecto Hall es muy similar a los sistemas presentados con anterioridad.

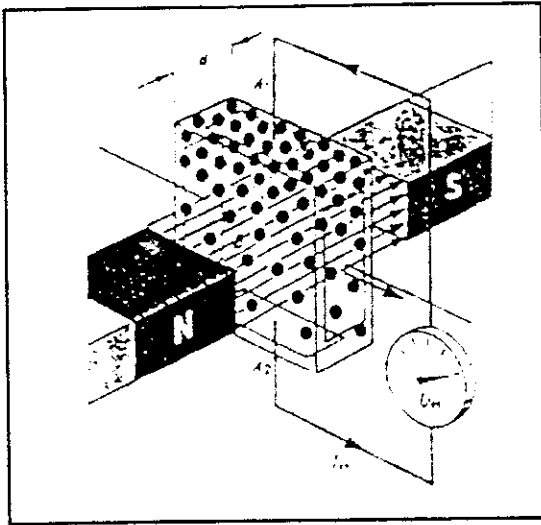


Figura 6.11  
Efecto Hall

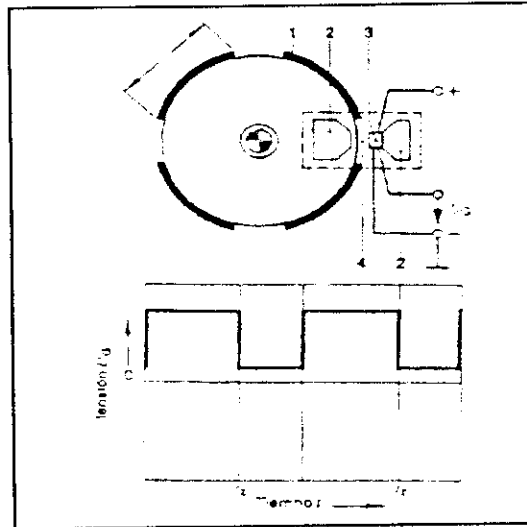


Figura 6.12  
Generador Hall

Un esquema del sistema se muestra en la figura 6.13, básicamente consta de las siguientes partes: Al cerrar el interruptor de encendido se alimenta la bobina y el amplificador, cerrando el circuito primario de la bobina de encendido. Al girar el motor, las pantallas en el captador (o generador Hall) giran sin efectuar contacto a través del entrehierro, anteponiéndose cíclicamente al flujo magnético y desviándolo, por lo que el voltaje Hall disminuye casi hasta llegar a cero. En el instante que el entrehierro se libre de la pantalla, el flujo magnético genera de nuevo el voltaje Hall. Con este voltaje se produce una señal que es mandada al amplificador, el que a su vez interrumpe el circuito primario, y se origina la inducción en el embobinado secundario de la bobina de encendido.

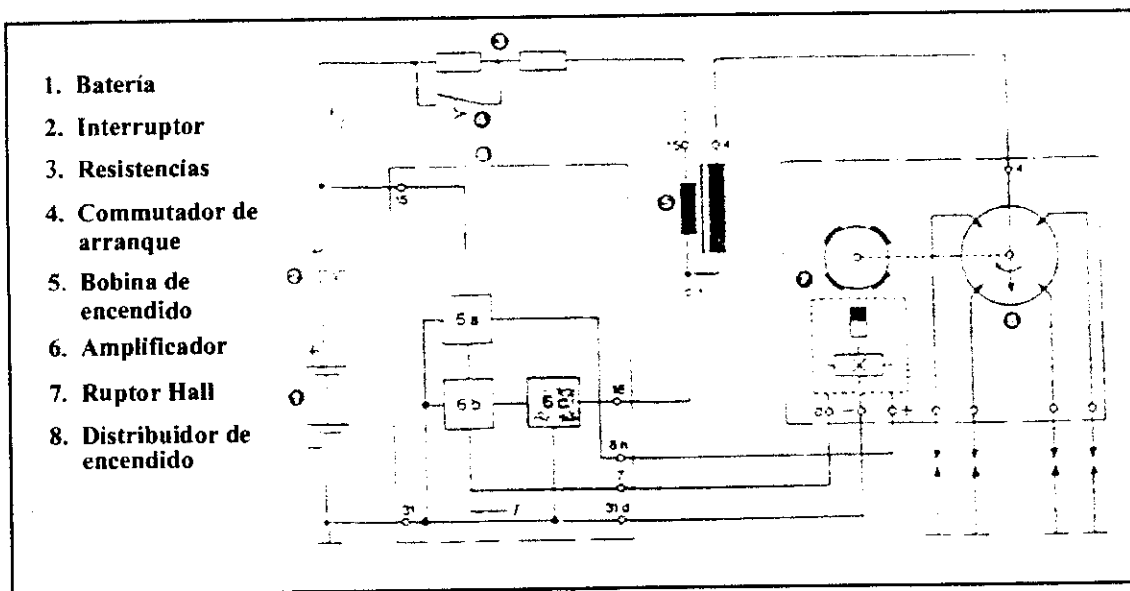


Figura 6.13. Sistema de Encendido por Efecto Hall

El sistema de encendido Hall es el de mayor uso en los vehículos de gasolina de modelos recientes. En este sistema puede verse la culminación de los adelantos necesarios que permitan un control más efectivo del instante de formación de la chispa. Además puesto que la interrupción del primario se realiza por un método magnético, el sistema utiliza señales con voltajes muy bajos, por lo que prácticamente no hay desgaste de piezas, ni la necesidad de verificar la correcta calibración de los componentes mecánicos.

5. Mantenimiento del Sistema. Como ha podido verse, el verdadero avance que han tenido los sistemas de encendido en las últimas décadas, ha sido enfocado en el desarrollo de mejores métodos para interrumpir la formación del campo magnético en el embobinado primario de la bobina de encendido. El principio del sistema sin embargo, sigue siendo el mismo.

Los platinos eran las piezas que requerían los mayores cuidados, había que revisarlos para verificar que estuviesen en buen estado. Cuando el condensador variaba un poco según su capacidad, los platinos presentaban abultamiento y erosión. Altas intensidades de corriente los inhabilitaban en poco tiempo, y requerían constantemente de una calibración de su ajuste.

En los nuevos sistemas de encendido se presentan muchas ventajas respecto de los antiguos sistemas, siendo las principales el que emplean medios magnéticos para la interrupción del primario y aumento del voltaje. El accionamiento de sus componentes se realiza por medio de señales electrónicas en donde el amperaje es muy bajo, de modo que no hay desgaste en los componentes; y la utilización de una Unidad Electrónica de Control que se encarga del adelanto óptimo de la chispa según los regímenes de carga del motor, sincronizando esta operación con todas las demás en las que interviene el motor. El mantenimiento de este sistema se vuelve muy simple y los cuidados a tener son:

1. Verificar que el sistema se encuentre conectado en todo momento, no debe haber cables conductores defectuosos o maltratados.
2. La batería debe tener suficiente carga, y verificar que el nivel del electrolito en su interior sea el adecuado. El líquido electrolítico por sí solo no va a incrementar la carga de la batería, por lo que deben respetarse los períodos de cambio. Si el nivel de carga de la batería no es el adecuado, afectará el voltaje desarrollado en el embobinado secundario de la bobina de encendido que repercute en la calidad de la chispa producida y reduce la eficiencia de la combustión dentro de los cilindros.
3. Verificar la perfecta sincronización y adelanto de la chispa. Este es uno de los puntos más importantes en lo referente al proceso de combustión: un retraso de la chispa ocasiona que no se cuente con el tiempo necesario para que la mezcla aire/combustible dentro del cilindro se quemara adecuadamente, generándose los problemas que acarrea tener una combustión incompleta; por otra parte, un adelanto innecesario de la chispa genera un aumento dañino de la temperatura dentro del cilindro, y se tienen

siempre problemas de emisiones. En los sistemas antiguos y en los que no tienen control electrónico, la sincronización del vehículo puede hacerse por métodos manuales. En los sistemas modernos de control electrónico es la Unidad de Control la que regula este proceso, por lo que para la verificación del punto de encendido es necesaria la ayuda de equipo especializado. La Unidad de Control debe estar instalada y en perfecto estado.

4. El estado de las bujías determina la buena o mala ignición de la mezcla combustible, de lo que resultan un funcionamiento impecable o uno deficiente. Para asegurar las buenas condiciones de la bujía es necesario hacerles una limpieza periódica, la cual puede ser con un paño seco. Nunca moje las bujías, propiciará la corrosión interna de sus componentes y acortamiento de su vida útil. También es necesario revisar la distancia entre los electrodos y verificar que sea la correcta. Las bujías se remueven utilizando una copa para ese fin, y se debe tener cuidado de no ejercer demasiada fuerza en el ajuste, ya que pueden dañarse fácilmente.
5. Los problemas en las bujías son causados por problemas de desajuste del motor, o una errónea proporción de oxígeno presente en la mezcla combustible. Es importante observar detenidamente el estado de las bujías al quitarlas del motor porque la apariencia que ellas tengan nos puede indicar qué tipos problemas están presentes. La tabla B 6.1 del apéndice B relaciona la apariencia de la bujía con los posibles problemas que se tengan durante la quema del combustible en el motor.

#### F. Verificación del Sistema de Alimentación

La alimentación del motor se realiza de diferente forma según se tenga un motor Diesel o uno de gasolina. Para el motor de gasolina, es necesario suministrar al cilindro una mezcla homogénea, exactamente proporcionada de aire y combustible. En el caso del motor Diesel, éste trabaja con un exceso de aire que ha sido previamente ingresado, por lo que únicamente se le agrega el combustible, atomizado en pequeñas gotitas, al cilindro.

Debido a los requerimientos que tiene cada motor, se han utilizado diferentes métodos para la alimentación del combustible. El sistema tradicional con que se han equipado los vehículos de gasolina para la alimentación de la mezcla combustible, ha sido el sistema de alimentación con carburador. El carburador es un dispositivo que se encarga de realizar la mezcla aire/combustible para posteriormente hacerla disponible al motor. La mezcla en el carburador se ha efectuado por medios puramente mecánicos, y es precisamente por esto que poco a poco está siendo reemplazado por modernos sistemas de control electrónico.

Los Sistemas de Inyección Electrónica son el nuevo método de alimentación de combustible que está siendo incorporado como parte del equipo estándar de un vehículo de gasolina. La inyección electrónica no

sólo ofrece una mayor exactitud en el control de la proporción de combustible en la mezcla suministrada al cilindro, sino que además, con la ayuda de sistemas adicionales (sonda lambda) le es posible modificar esta proporción en cualquier instante durante el funcionamiento del motor.

El motor Diesel siempre ha usado la inyección de combustible, pero con el tiempo, se han incluido controles electrónicos que, en términos muy generales, pueden ser comparados con los sistemas aplicados en motores de gasolina. Todos estos sistemas hacen una regulación más exacta de la cantidad de combustible inyectado, en un tiempo más preciso.

Este aumento en la exactitud requerida obedece a dos factores que van de la mano: el ahorro en el consumo de combustible, y la eficiencia en la combustión para reducir las emisiones vehiculares. Es de esperarse que en poco tiempo los modernos sistemas reemplazarán por completo al antiguo sistema por carburación en los motores de gasolina. En esta sección únicamente se hará referencia al sistema de inyección de combustible.

1. Sistema de Inyección en Motores de Gasolina: Componentes y Funcionamiento. Existen varios tipos de sistemas de inyección electrónicos de uso común en los motores de gasolina, estos varían en la complejidad de los componentes que regulan y monitorean el funcionamiento del motor. Se tomará como ejemplo el sistema L Jetronic (figura 6.14). Aunque este sistema puede variar respecto de otros, el cuidado en su mantenimiento, que es lo que nos interesa, es el mismo.

- Bomba de Combustible: mantiene alimentado el sistema durante todo régimen del motor aspirándolo desde el tanque de combustible. El tipo de bomba comúnmente usado es el de rodillos, accionada por un motor eléctrico. El disco del rotor está dispuesto excéntricamente, y porta rodillos metálicos periféricos que son impulsados por la fuerza centrífuga hacia la tubería. La bomba siempre alimentará más combustible del necesario para mantener la presión del sistema.
- Filtro de combustible: la misión del filtro es la de retener las impurezas existentes en el combustible. La calidad del filtro es decisiva para la duración de la bomba de inyección. El material filtrante puede ser fieltro o papel. Cuando el combustible fluye hacia el lado depurado, las partículas de suciedad quedan retenidas en el cartucho de filtro. Un mal filtrado puede provocar daños en émbolos, válvulas de presión, e inyectores. En consecuencia, los intervalos prescritos para los cambios de filtro deben respetarse, la limpieza del sistema garantiza su buen funcionamiento.
- Tubo distribuidor: va conectado con las válvulas de inyección y con el regulador de presión. Tiene una función de acumulación, encargándose de mantener siempre una presión uniforme en todas las válvulas de inyección, su volumen es lo suficientemente grande para abastecer todas las válvulas. En sistemas más sofisticados, éste es reemplazado por un distribuidor electrónico de combustible.

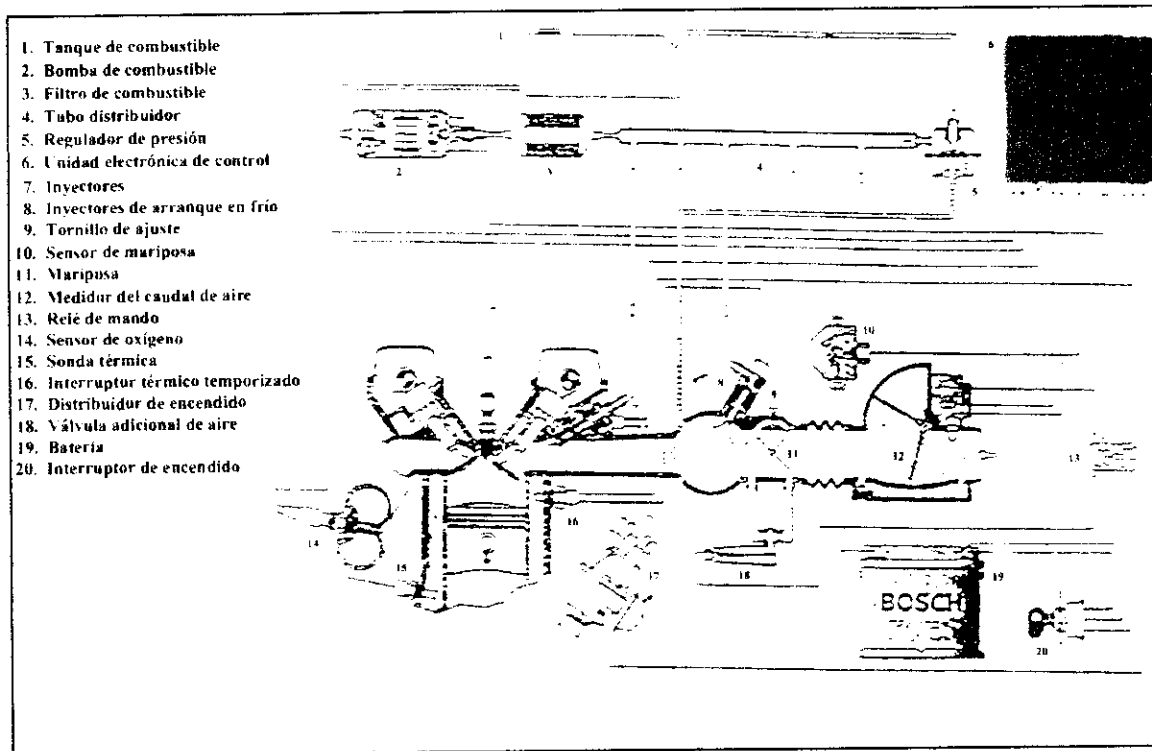


Figura 6.14. Sistema de Alimentación Electrónico L Jetronic

- Regulador de presión:** el regulador está conectado con el tubo distribuidor, con el retorno que va hacia el tanque de combustible, y con el colector de admisión. El regulador de presión mantiene la presión del sistema entre los límites aceptables, y mantiene el equilibrio entre la depresión en la admisión y el combustible suministrado.
- El Medidor del Caudal del Aire:** es el encargado de suministrar la cantidad necesaria de aire al motor. El medidor consta de una parte mecánica y otra electrónica. En su interior tiene instalada una aleta que se desplaza según la depresión producida por el motor. Según este desplazamiento, la aleta regula la cantidad de aire que ingresa al cilindro. Esta aleta tiene a su vez una conexión a un sensor electrónico, el cual, dependiendo de la posición de la aleta, envía una señal a la Unidad de Control para que regule la cantidad de combustible inyectada hacia las válvulas de inyección.
- Inyectores:** las válvulas de inyección se encargan de pulverizar el combustible, el cual se desliza mediante una aguja que está en su interior. A la salida del inyector, el combustible se mezcla con el flujo de aire que viene del Medidor de Caudal de Aire e ingresa al cilindro. El flujo de combustible que sale de la válvula de inyección es regulado constantemente mediante una señal eléctrica generada por la Unidad de Control. Las partes que forman una válvula de inyección son:

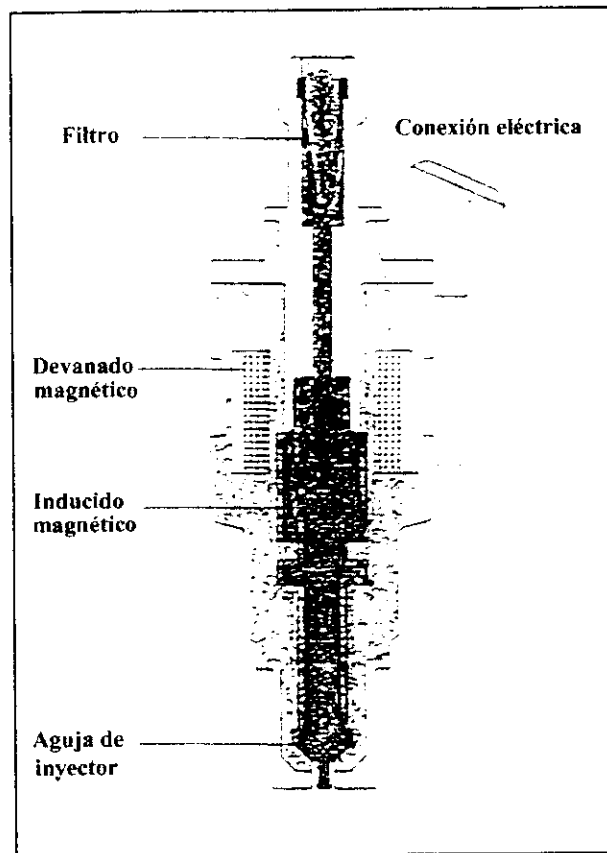


Figura 6.15. Válvula de Inyección

- Inyectores de arranque en frío: para cada cilindro en el motor existe un segundo inyector llamado inyector de arranque en frío. Este inyector proporciona una cantidad de combustible adicional, enriqueciendo la mezcla durante el encendido del motor. Luego de un tiempo, los sensores térmicos instalados en el motor la desconectan.
- Unidad de Control Electrónica: es el cerebro de un sistema de inyección. Este componente interpreta las señales suministradas por los sensores en relación con los diferentes estados de funcionamiento del motor, y con base en ellos genera una corriente de mando que regula las operaciones de alimentación de aire y combustible.
- Filtro de Aire: el filtro de aire no aparece representado en la figura 6.14, pero puede ubicarse con facilidad en el motor del vehículo. Se encuentra instalada antes del múltiple de admisión, es un componente bastante accesible para su inspección. El filtro de aire tiene la función de retener las partículas de polvo que vienen suspendidas en el aire. El elemento filtrante es poroso, fabricado generalmente de papel. Con el tiempo de uso, el filtro se obstruye, y comienza a actuar como una barrera contra el ingreso de aire. Debe tenerse cuidado al limpiar el filtro, porque puede dañarse el elemento filtrante. Si después de limpiarlo sigue obstruido, es mejor reemplazarlo, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

2. Mantenimiento del Sistema de Alimentación: Motores de Gasolina. Un sistema de inyección electrónica es un sistema altamente tecnificado, por lo que requiere de atención especializada, principalmente en lo concerniente a la Unidad de Control Electrónica, que es esencialmente un dispositivo computarizado. Es aconsejable dejar la supervisión de los componentes electrónicos del sistema de inyección a cargo de un taller profesional con equipo especializado.

Sin embargo, los componentes electrónicos del sistema no darán problemas siempre y cuando estén protegidos de sobrecargas, estén protegidos contra el agua y la humedad, y la batería esté en buen estado.

La gran mayoría de los problemas que se pudieran presentar en este sistema pueden evitarse si se le proporciona un mantenimiento adecuado a los componentes de recambio, entre estos tenemos:

1. Verificar que los sensores térmicos estén en buenas condiciones, de lo contrario la Unidad de Control no cesará el funcionamiento de los inyectores de arranque en frío, haciendo que el motor trabaje con una mezcla rica, aumentando el consumo de combustible y las emisiones contaminantes.
2. Cambiar filtro de combustible según recomendaciones del fabricante. La limpieza del sistema de inyección alarga la vida útil de los componentes.
3. Verificar que la bomba de combustible genere la presión necesaria.
4. Verificar que no haya fugas en el sistema.
5. Verificar el grado de obstrucción del filtro de aire. El filtro de aire puede limpiarse un determinado número de veces, pero eventualmente habrá que cambiarlo.
6. Verificar el estado de los inyectores, deben estar limpios y sin obstrucciones.
7. Nunca pasar corriente a otro vehículo porque daña la Unidad Electrónica de Control.

En la tabla B 6.2 del apéndice B se muestra la forma en que se diagnostican averías en un sistema de inyección electrónico controlado por computadora.

3. Sistema de Inyección en Motores Diesel: Componentes y Funcionamiento. El método de alimentación de combustible por inyección ha sido el sistema a utilizar por conveniencia en un motor Diesel. El método de inyección Diesel se diferencia del de gasolina en que el combustible es inyectado directamente a la cámara de combustión, en el momento que el cilindro se encuentra en compresión. Un sistema de alimentación Diesel puede variar bastante de un motor a otro, dependiendo del tipo de carga con que va a trabajar el motor, si tiene o no una Unidad Electrónica de Control, y del criterio del fabricante; sin embargo, los componentes siguientes siempre deberán encontrarse:

- Inyectores:** Los inyectores son los encargados de suministrar el combustible al motor, lo cual lo realizan conforme la presión del combustible vence la presión de apertura del inyector. El inyector se compone de cuerpo y válvula, ambos fabricados de acero de alta calidad. El inyector es gobernado por la presión del combustible diesel, y la presión de apertura es determinada según la tensión del muelle de presión dentro del portainyector. Se distinguen dos tipos de inyectores: los inyectores de orificios para motores de inyección directa, con presión de apertura de los 150 a 250 bar; y los inyectores de espiga para motores de antecámara, cámara de turbulencia y acumuladores de aire, con presión de apertura de 80 a 125 bar. Un esquema de un inyector Diesel de inyección directa se muestra en la figura 6.16.

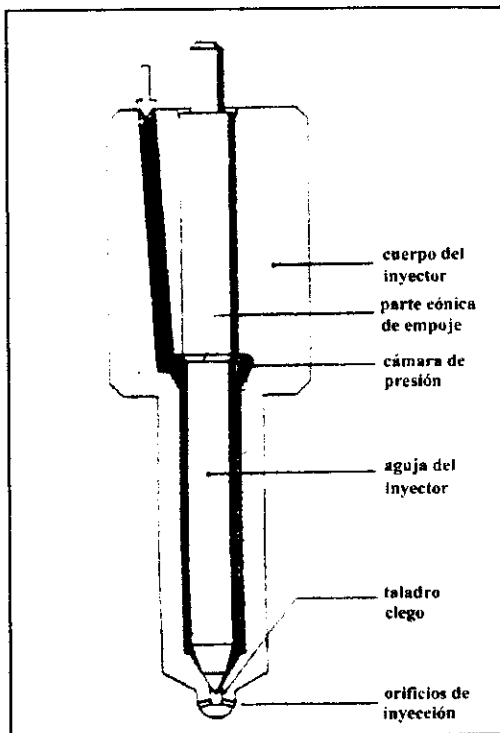


Figura 6.16

Inyector estándar para motores Diesel  
de inyección directa

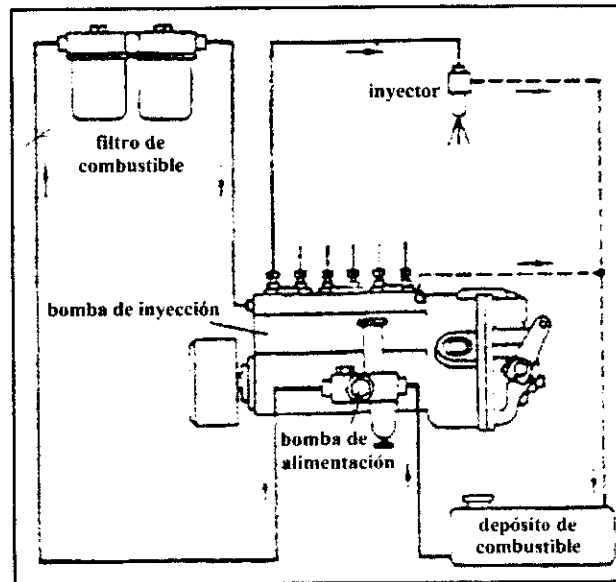


Figura 6.17

Sistema de Inyección Diesel usando  
Bombas en Línea

- Bombas de Alimentación:** la inyección Diesel siempre requerirá que el combustible sea alimentado a cierta presión. Esta presión la suministra la Bomba de Inyección, la cual en un sistema de inyección electrónico está gobernada por la Unidad Electrónica de Control. Los tipos de la(s) bomba(s) dependen de la disposición que tengan en el sistema de alimentación. Los dos tipos principales son las bombas en línea y las bombas rotativas. Las Bombas de Inyección en Línea, constan de varios émbolos que distribuyen el combustible a presión a los cilindros del motor. Para lograr esto se usa un arreglo de dos bombas, en el que la bomba de Alimentación debe mantener la cámara de la bomba de Inyección bajo

presión. Las Bombas de Inyección Rotativas disponen de un solo émbolo distribuidor, que alimenta una lumbrera de distribución que asegura que el combustible llegue a todos los cilindros a la presión deseada. En la figura 6.17, se muestra un sistema de inyección utilizando bombas de alimentación en línea de simple efecto.

4. Mantenimiento del Sistema de Alimentación: Motores Diesel. Las cantidades ideales de combustible y de aire a ser consumidos por el motor, ya han sido determinadas por el fabricante, por lo que darán un buen rendimiento con poco consumo de combustible y bajo índice de emisiones de contaminantes. Estas funciones son reguladas por la Unidad de Control, por lo que las condiciones de operación óptima pueden mantenerse teniendo los cuidados básicos siguientes:

1. No perturbar los componentes electrónicos desconectando la batería con el motor funcionando, evitar los cortocircuitos, y no mojar las partes eléctricas y electrónicas.
2. No altere el nivel máximo de inyección, si se aumenta el volumen máximo de inyección el vehículo emite más humo y consume más combustible. Además, deberá revisarse que los tubos que conectan los inyectores con la bomba de inyección, tengan la misma longitud.

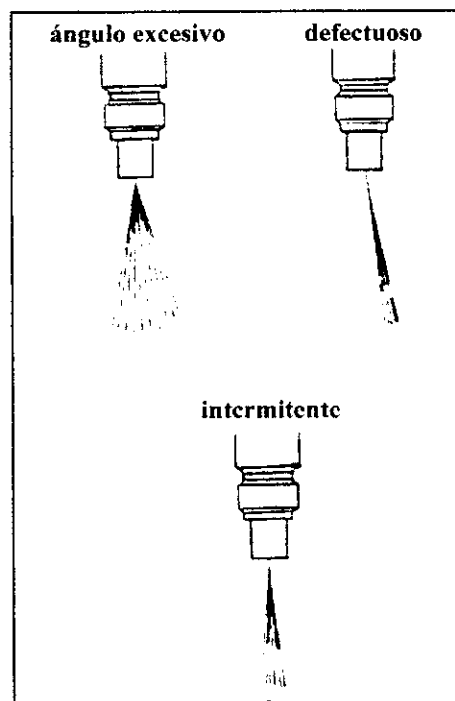


Figura 6.18. Inyección de combustible diesel

3. Mantenga los inyectores calibrados y en buen estado. La válvula del inyector deberá abrir bajo la presión que indica el fabricante, rociando el combustible uniforme e intermitentemente. No deberá

haber goteo en las boquillas de los inyectores. Deberá examinarse el extremo de la boquilla por posibles muestras de depósitos de carbón. Las boquillas y los inyectores deben lavarse periódicamente con gasolina, enjuagándose después con diesel. Se deberá reemplazar la boquilla, o todo el conjunto en caso de encontrar cualquier defecto permanente. Por lo general, los intervalos de mantenimiento o cambio oscilan entre los 100,000 y 150,000 Kms. En cualquier caso, seguir las recomendaciones del fabricante. En la figura 5.18 se muestra la forma correcta en la que un inyector diesel debe rociar el combustible.

4. Verifique el apriete de los portainyectores.

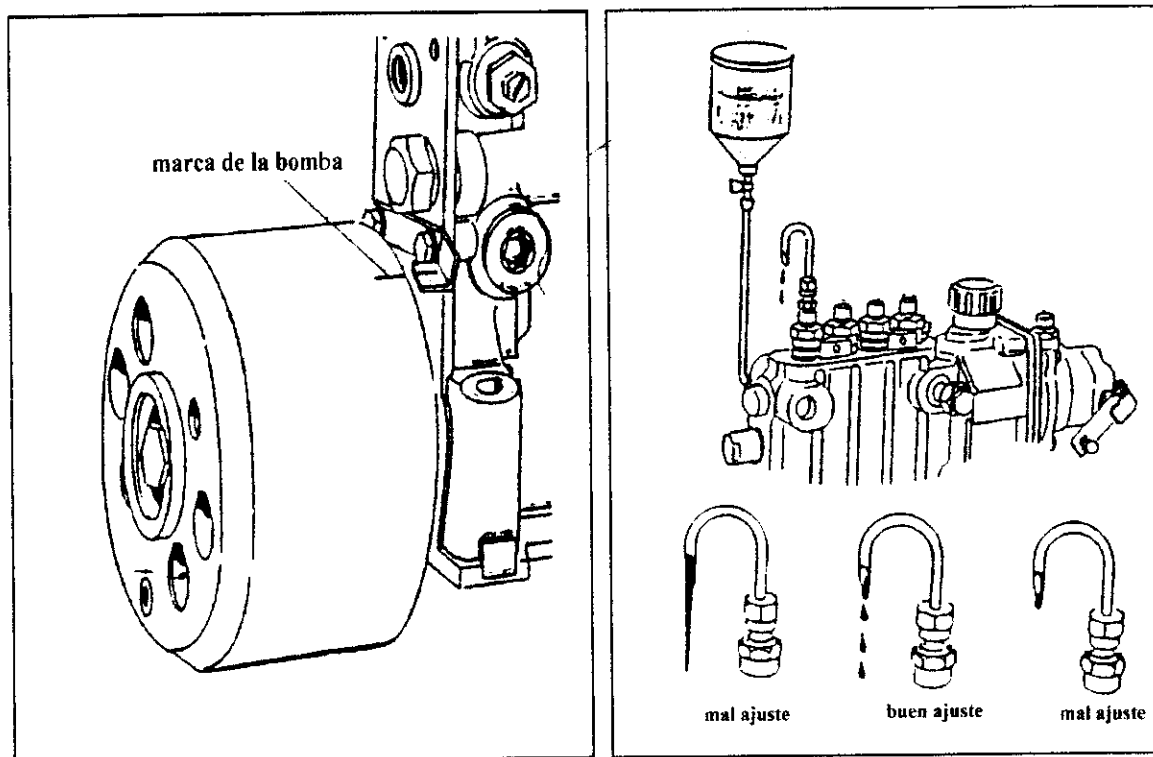


Figura 6.19. Sincronización de bomba de inyección.

5. Verifique la sincronización y el punto de encendido. La presión del sistema es regulada por la bomba de inyección, su funcionamiento y sincronización son de gran importancia. Las bombas de un motor Diesel se ponen a tiempo al alinear sus marcas, utilizando algunos de los métodos comunes de sincronización. En el método de goteo que se muestra en la figura 6.19, se conecta un depósito con combustible a la entrada de la bomba, se remueve la válvula de presión y se ajusta la entrega al máximo. Al girar el motor, se obtendrá un flujo continuo de unas cuantas gotas por segundo, en este momento las marcas deben estar alineadas, si no lo están deben alinearse manualmente.
6. Debido a que el motor Diesel trabaja con exceso de aire, es de gran importancia revisar el filtro de aire. El intervalo de servicio para el filtro de aire debe basarse en los valores reales de obstrucción. Los

elementos del filtro de aire deben ser objeto de servicio sólo cuando la obstrucción alcance el límite máximo permisible, normalmente establecido por los fabricantes de motor. La obstrucción o restricción es la resistencia al flujo de aire hacia el motor a través del sistema de filtro de aire. La obstrucción se registra mejor con un manómetro de agua, o con un indicador de servicio a filtros de aire. Las obstrucciones se miden en la toma (si la hay) de la salida del filtro, en una toma en el paso del aire o dentro del múltiple de admisión del motor. Como algunos usuarios no tienen manómetro de agua o de carátula disponible, se deberá pensar en el uso de indicadores de servicio montados permanentemente, en un lugar apartado donde el operador pueda vigilarlo constantemente. No se le deberá dar servicio al elemento en base a observación visual, porque ésta podrá dar lugar a servicio excesivo. El elemento filtrante deberá ser reemplazado después de 15,000 Kms. de recorrido o según indicaciones del fabricante.

7. Junto con la limpieza del motor debe cambiarse el filtro de gasolina para respetar las recomendaciones del fabricante.
8. Revisar buscando fugas en el sistema, verificar que todos los sellos y empaques estén bien instalados.
9. En un gran número de motores Diesel se utiliza una bujía, muy parecida en su apariencia física a la usada en motores de gasolina. Esta bujía tiene la función de precalentar el combustible Diesel antes de ingresarlo a la cámara de combustión. La bujía arde directamente sobre el combustible, y gracias a las características de flamabilidad del Diesel, éste no se quema. Al precalentar el combustible se consigue facilitar su combustión, aumentando la potencia extraída. Los cuidados para este tipo de bujía son prácticamente los mismos que para una bujía de gasolina. El principal problema que se da en esta bujía, es la fusión y rotura del tubo de calentamiento, las causas pueden ser las siguientes: inadecuada cantidad de combustible inyectado, por la entrada de aceite a la cámara de combustión, o por el uso de una bujía incorrecta.

En la tabla B 6.3 del apéndice B se encuentran detalladas las posibles fallas del sistema de inyección Diesel, en base a la observación visual de los gases de escape.

#### G. Ajuste de Válvulas

El eje de levas está conectado con el cigüeñal por medio de la faja en el frente del motor, de esta forma habrá sincronización entre el movimiento del pistón y la posición de las válvulas. El ajuste correcto del juego de válvulas proporciona la cantidad de aire necesaria para la combustión completa del combustible inyectado. Con el uso, la posición correcta de las válvulas podría variar. Si el ajuste es incorrecto o la válvula se encuentra dañada, hay alteración del volumen de aire admitido, se provocan alteraciones en la relación aire/combustible y la consecuente producción de gases nocivos.

Si esta condición no se corrige, podría a la larga ocasionar interferencia entre alguna válvula y la cabeza del pistón, creando un daño serio al motor. Para evitar ésto, es necesario incluir en el programa de mantenimiento un ajuste de válvulas.

Se llama ajuste o calibración de las válvulas al acto de verificar la distancia que hay entre la punta del vástago de la válvula y el mecanismo de la leva (figura 6.20), en el momento en que el cilindro se encuentra en compresión. En este momento el pistón se encuentra en el punto muerto superior de su carrera, ambas válvulas permanecen cerradas, y la distancia entre el vástago de la válvula y el mecanismo de la leva es máxima. Esta distancia (o calibre) debe ser la misma para la(s) válvula(s) de admisión y la(s) válvula(s) de escape del cilindro respectivo.

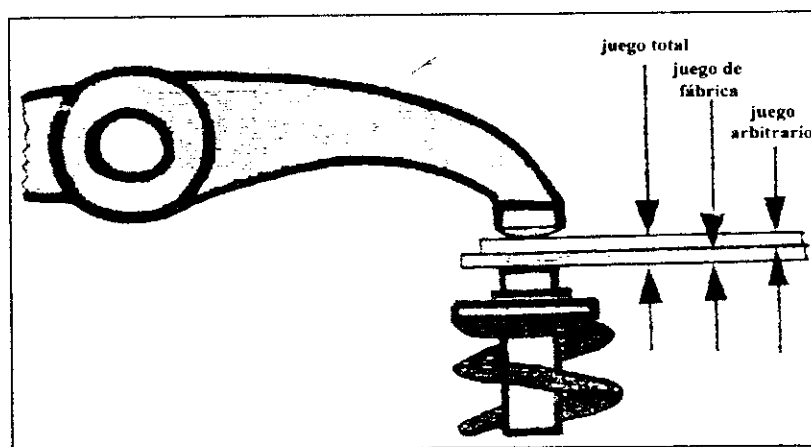


Figura 6.20. Calibre de Válvulas

Para calibrar las válvulas de motores Diesel y gasolina se utiliza un calibrador de hojas. El calibrador consta de un juego de varias láminas de metal con grosores distintos. Según sea el calibre de la válvula, así se deberá escoger la lámina con el grosor adecuado. La lámina se coloca entre el mecanismo de la leva y la punta del vástago, de manera que exista contacto entre las superficies y al mismo tiempo se pueda retirar o insertar la lámina nuevamente. Se retiene esta posición apretando el tornillo para calibrar. Todas las válvulas llevan el mismo calibre.

El calibre a utilizar es el calibre sugerido por el fabricante. Sin embargo, durante el ajuste de válvulas puede utilizarse un calibre mayor que es la suma entre el calibre sugerido por el fabricante y un calibre extra que se escoge a conveniencia. Este calibre extra por lo general es mucho menor que el calibre de fábrica, consiguiéndose reducir el traslape de válvulas. Pero esto sólo se hace para el ajuste de los motores Diesel.

## H. Verificación del Sistema de Control de Emisiones

La verificación del sistema de control de emisiones es el último eslabón en la larga cadena de sistemas y subsistemas que deben estar trabajando en perfecto estado y armonía. Esto garantizará que se tenga un óptimo funcionamiento del motor, y consecuentemente un mínimo de contaminación ambiental.

Los sistemas de control de emisiones ya fueron discutidos en el capítulo anterior. Estos sistemas fueron hechos para trabajar en conjunto, un sistema particular combate una parte del problema, mientras que el siguiente sistema se encarga de otra parte, y así sucesivamente. Para lograrlo, la mayoría de vehículos en la actualidad dependen de un sofisticado "sistema maestro" de control regido por la Unidad Electrónica de Control.

La Unidad de Control recibe información de muchos sensores instalados estratégicamente en el motor, y en sus sistemas de alimentación, enfriamiento, y encendido, ofrece valiosa información sobre: la posición de la mariposa del acelerador, la velocidad y posición angular del cigüeñal, la temperatura del motor, de la presión en el múltiple de admisión, y por su puesto del sensor de oxígeno y válvula EGR. Su misión es la de suministrar la correcta cantidad de aire/combustible según el estado de carga del motor, y la eficaz utilización de sus sistemas de control. Al lograr este delicado balance, se reducen al mínimo las emisiones vehiculares.

El mantenimiento del sistema de control de emisiones se fundamenta en la verificación de la correcta instalación y perfecto funcionamiento de las válvulas y sensores que lo componen. Si alguno de éstos llegara a fallar, la única solución es la de cambiarlo por uno nuevo. En general, si se le brinda un correcto mantenimiento preventivo al motor y sus otros sistemas, el sistema de control de emisiones no dará problema alguno, y sus componentes tendrán una larga vida útil.

La verificación del sistema consiste básicamente en lo siguiente:

1. Verificar con qué tipo de sistemas de control de emisiones viene equipado el vehículo.
2. Verificar que todos los sistemas, válvulas, y sensores con que viene equipado el vehículo, estén correctamente instalados.
3. Las válvulas y sensores de cada sistema deben responder según lo descrito en el capítulo 3. Si no lo hacen, es necesario reemplazarlos.
4. Verificar que el catalizador no esté obstruido. El catalizador funcionará por mucho tiempo, siempre y cuando se utilice el tipo correcto de gasolina en el vehículo.

5. Verificar que el tubo de escape sea el que el vehículo necesita, un tubo de escape de diámetro menor restringirá el egreso de los gases de escape del motor.
6. Verificar que el tubo de escape no tenga fugas antes del sensor de oxígeno. Si éste fuera el caso, la medición que realiza la sonda lambda no será la correcta porque se produciría una dilución de los gases de escape en aire del exterior, por lo que el motor incrementará sus emisiones contaminantes.

Los sistemas de control de emisiones fueron desarrollados en países donde la ciudadanía tiene una alta cultura ambiental, y sus gobiernos mantienen estrictas normas y criterios respecto del control de emisiones. Esto garantiza que los sistemas que adquirimos cumplen con la normativa vigente en esta nación.

### I. Factores Externos

A pesar de que el buen mantenimiento del vehículo garantiza un buen funcionamiento y baja emisión de gases contaminantes, éstos pueden no solamente deberse a los factores internos del motor, también existen factores externos que pueden llegar a influenciar la cantidad de emisiones de un vehículo. Estos factores se mencionarán brevemente:

- Modo de manejar (que incluye la topografía del terreno, y el tráfico)
- La resistencia del aire (depende de la velocidad y diseño del vehículo, velocidad del viento)
- La resistencia de rodamiento (estado de las llantas, peso del vehículo, superficie de la carretera)
- Peso Total (peso del vehículo y la carga en cualquier momento)
- Relación de caja
- Calidad del Combustible
- Tipo de aceite lubricante
- Equipo adicional (compresor, aire acondicionado)
- Temperatura ambiente

Una combinación desfavorable de los factores anteriores puede aumentar significativamente las emisiones contaminantes del motor de combustión interna.

## VII. PROGRAMA DE CONTROL DE EMISIÓN DE GASES

### A. Objetivos del Programa

Todo ser humano tiene el derecho de respirar aire puro. Actualmente este derecho está siendo prácticamente pisoteado en las principales ciudades de la nación por causa de la contaminación producida por los vehículos automotores, los cuales son los principales responsables del mal estado del aire urbano.

Los efectos de la contaminación en la salud y el ambiente son considerables. Todos nos vemos grandemente afectados por esta situación, el costo es pagado por la sociedad entera y no solamente por los contaminadores. La contaminación afecta más a los sectores pobres, siendo los niños y los ancianos los más vulnerables a las enfermedades respiratorias derivadas. El deterioro en la calidad de vida de todos los ciudadanos es incommensurable.

Por lo tanto, es necesario formular nuevas políticas y lineamientos que puedan ponerse en práctica, contando con un sistema eficiente que permita el control de emisiones en los vehículos que circulan en nuestras ciudades. De esta circunstancia, se origina el Programa de Control de Emisión de Gases que actualmente dirige la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).

Este capítulo describe la forma en que se ejecuta el Programa de Control de Emisión de Gases, las leyes y reglamento de vigencia actual, y cuál ha sido la trayectoria que se ha seguido para poder iniciarlo a nivel nacional.

### B. La Gasolina sin Plomo

El Programa de Control de Emisión de Gases no sería posible si no se hubieran dado las condiciones necesarias para implementarlo en Guatemala. El cambio de gasolina con plomo a gasolina sin plomo es el hecho trascendental que inicia la cadena de cambios en pro de un ambiente libre de las peligrosas emisiones vehiculares que afectan la salud y calidad de vida de todos los habitantes, y que daña nuestro medio ambiente.

El plomo, en forma de compuestos de tetraetilo de plomo y tetrametilo de plomo se ha agregado a la gasolina desde 1920. Esta es una forma sencilla y económica de mejorar el octanaje de la gasolina.

El plomo tiene propiedades benéficas para la gasolina, ya que además de ser un antidetonante, tiene la característica de formar una capa que lubrica y protege en forma directa los asientos de las válvulas de los motores. Sin embargo, el plomo es un contaminante demasiado peligroso para la salud, ya que desarrolla enfermedades respiratorias y cáncer pulmonar. La gasolina con plomo era el único tipo de gasolina disponible hasta antes de 1991.

El plomo también tiene otra peculiaridad: no es compatible con los catalizadores. El plomo reacciona químicamente con los metales nobles que forman parte del agente activo del catalizador, por lo que después de que un automóvil equipado con este dispositivo de control de emisiones consuma unos 4 o 5 tanques de gasolina con plomo, el catalizador se destruye por completo. Los catalizadores son el único dispositivo hoy en día capaz de controlar el monóxido de carbono, los hidrocarburos no quemados, y los óxidos nitrosos al mismo tiempo. El catalizador es el dispositivo clave para la reducción de las emisiones contaminantes. Esta es la razón por la que en muchos países industrializados, entre ellos los Estados Unidos, se ha prohibido el uso de gasolina con plomo en los vehículos automotores.

Por razones evidentemente ecológicas, Estados Unidos introdujo de nuevo la gasolina sin plomo en 1971. Desde entonces, la mayoría de fabricantes cambiaron el material de los asientos de las válvulas de sus motores de manera que no necesiten de la lubricación directa que ofrece el plomo. Por consiguiente, todos los vehículos fabricados para ese mercado son vehículos diseñados para utilizar gasolina sin plomo. En Guatemala la gasolina sin plomo era el único tipo de gasolina disponible hasta antes de 1991. Sin embargo, gracias a un profundo estudio dirigido por el Lic. José Toledo Ordoñez, con el patrocinio de varias entidades nacionales y extranjeras pudo comprobarse que en Guatemala se daban las condiciones necesarias para eliminar el plomo de la gasolina, convirtiendo de gasolina con plomo a gasolina sin plomo de un sólo golpe.

La gasolina sin plomo, los catalizadores y el control de emisión de gases van de la mano. No puede tenerse un programa de control de emisión de gases si no se dan los dos primeros. El cambio a gasolina sin plomo no sólo eliminó de forma directa el plomo como uno de los principales contaminantes de la gasolina, sino que también nos permitió usar motores equipados con controles de emisiones para así poder controlar el resto de los gases contaminantes.

El cambio a gasolina sin plomo fue el cambio necesario que permitió la creación de un programa de emisión de gases. Este logro permitió la accesibilidad a la tecnología moderna de control de emisiones, y marcó un precedente histórico por la preocupación del cuidado ambiental.

### C. Tipos de vehículos que se deben controlar

El objetivo general del Programa de Control de Emisiones es el de reducir las emisiones contaminantes presentes en el aire ambiental. Sabemos también que el aire ambiental de las ciudades es el más afectado, debido a la aglomeración de un gran número de vehículos en una extensión de terreno relativamente pequeña. Por lo tanto, debe reducirse la contaminación que recibe el aire ambiental controlando todos los vehículos que hagan uso de las calles y avenidas de una ciudad.

Según el último censo automovilístico proporcionado por el Departamento de Tránsito, se tiene que al inicio del año 1999 Guatemala cuenta con un parque vehicular de 780,500 vehículos en total, distribuidos de

la siguiente forma:

• Vehículos Particulares:	635,000
• Vehículos Comerciales:	105,000
• Vehículos Alquilados:	6,500
• Vehículos Oficiales:	9,000
• Vehículos de Transporte de Carga:	18,000
• Vehículos de Transporte Urbano:	5,000
• Vehículos del Cuerpo Diplomático y Misiones Internacionales:	2,000

De estos vehículos, 256,156 son de modelo 1980 o anterior. El tamaño de la flota recién se ha duplicado durante la segunda parte de esta década, y si el crecimiento se mantiene, se hace urgente el control de emisiones vehicular, más aún si consideramos que se tiene estimado (según Conama) que el 75% de este parque vehicular esta concentrado en la ciudad capital. Todos ellos deberán estar debajo de los límites establecidos.

Es necesario controlar por igual todos los vehículos de encendido por chispa (Gasolina), y todos los vehículos de encendido por compresión (Diesel), que sean utilizados para el transporte de personas o carga dentro del territorio nacional.

#### D. Conciencia Ambiental

Es imperativo educar a la población, creándoles una conciencia ambiental colectiva. Todos los ciudadanos deberán ser educados acerca del "por qué" es vital que todos cuidemos de la calidad del aire que respiramos. Si el ciudadano común reconoce la importancia de la calidad del aire, desarrollando una conciencia ambiental, los cambios y leyes que se pretende aplicar en materia de control de emisiones serán rápidamente aceptados y aprobados por la población en general. El programa se desenvolverá mejor si se hace conciencia sobre la población antes de obligarla a hacer algo de lo que no tiene ningún conocimiento sobre sus ventajas.

La publicidad es de gran importancia para este fin, una buena campaña para el conocimiento público es muy importante para un programa exitoso. Las personas necesitan saber por qué están haciendo esto, qué es lo que van a hacer, y qué pasará si no lo hacen. Esta educación puede llegar en varias formas: pueden usarse los medios de comunicación como radio, televisión, y periódicos, para lo que definitivamente se requiere de la disponibilidad de un mayor presupuesto. O pueden usarse medios más accesibles, como proporcionar carteles, afiches, y panfletos con la información relevante colocados en lugares visibles de almacenes, escuelas, instituciones estatales, y principalmente en las estaciones de inspección, con lo que se puede alcanzar a un gran número de personas sin hacer uso de un presupuesto desproporcionado. El logo

utilizado "AIRE PURO OXÍGENO PARA EL FUTURO" podrá ser identificado por todos, y relacionado con el programa.

La campaña de información debe enfocar el problema desde varios ángulos: la forma en la que la contaminación afecta la salud de todos, principalmente la de los ancianos y niños; en qué forma la reparación y correcta afinación de los vehículos no sólo reduce las emisiones, sino que al mismo tiempo se reduce el consumo de combustible, lo que implica un ahorro a los propietarios; y de la importancia de verificar que estén instalados y en óptimo funcionamiento los Sistemas de Control de Emisión de Gases, no dejándose engañar por mecánicos incompetentes y negligentes.

Debe también informarse a los propietarios de vehículos de la forma en la que se realiza la prueba, dónde se puede realizar, y el costo de la misma. Para que el Programa de Control de Emisión de Gases sea exitoso se requiere que al menos el 95% de los vehículos a controlar pasen la prueba. Como último incentivo para los no creyentes, es necesario dar a conocer la multa asociada con la falta de cumplimiento de la ley.

#### E. Lineamientos para Legislar

El programa está destinado a regular efectivamente, y por un tiempo indefinido, la problemática de la contaminación ambiental nacional, por lo que debe tener la fuerza que le permita radicarse definitivamente dentro de la conciencia nacional, y a la vez tener suficiente fluidez para que pueda crecer y mejorarse conforme se le da uso. Por lo tanto, la normativa para el control de emisiones deberá cumplir cierto número de rubros, que le permitan adaptarse y desarrollarse dentro de la realidad que se tiene dentro del país.

Según J. Toledo (refs. 17 y 18 ), una ley de este tipo debe ser lo siguiente:

- **Completa:** Debe normar combustibles y definir qué tipo de vehículos abarca. Se aconseja incluir a todos los vehículos terrestres accionados por motor de combustión interna (diesel, gasolina), de cuatro o más ruedas usados en las vías públicas.
- **Participativa:** Debe permitir la participación de todos los sectores involucrados: gobierno, compañías petroleras, distribuidores de automóviles, etc.
- **Viable:** Debe observar la constitución del país sin contradecirse con leyes existentes, y observando la jerarquía de la ley. Si en el país en que queremos legislar en materia de emisiones de gases existe una ley marco del Medio Ambiente, ésta es el lugar lógico para derivar un reglamento. Si no existe ley de medio ambiente pero si existe ley de tránsito, en el reglamento de esta ley debe insertarse lo referente al control de emisiones de gases. Si no existe ninguna ley, lo mejor es no esperar y trabajar en una ley individual para el control de las emisiones de gases con su propio reglamento; esta ley eventualmente

puede ser incorporada a una futura ley de medio ambiente o de tránsito. No debe ser retroactiva.

- Práctica: No deben copiarse leyes de países industrializados que serán difíciles o imposibles de aplicar en un país en desarrollo, en su lugar debe contener medidas congruentes con la realidad del país en donde se quiere aplicar.
- Gradual: Debe estipular plazos necesarios para su aplicación.
- Programada: Debe exigirse la obligatoriedad de controles de emisiones de gases, apoyándose mediante inspecciones periódicas a la flota existente y a la flota nueva (vehículos con motor de gasolina y motor Diesel aún no controlados).
- Específica: Debe tener las medidas máximas permisibles: contenido de plomo en la gasolina (máximo permisible 0.013 gramos por litro), contenido de azufre en el diesel (0.2%); porcentajes permitidos de monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, dióxido de carbono, y hollín.
- Efectiva: Debe exigir los siguientes controles periódicos y selectivos, controlando también la calidad del combustible para que éste se use según especificaciones.
- Drástica: El monto de las sanciones debe ser igual o mayor que el costo del mecanismo que se omite. Ejemplo: el costo de un catalizador como repuesto es de aproximadamente US \$400, por lo que la sanción mínima por eliminarlo debe ser la misma. La sanción debe ser coercitiva. A los vehículos que circulen sin el certificado vigente de control de emisiones de gases, se les debe recoger la placa de circulación y devolverla al propietario hasta que haya pagado la multa y pasado la inspección. Esta es la parte más importante de la ley. Pero sin una forma drástica de hacer que las multas se hagan efectivas, será letra muerta.
- Actualizable: El monto de las sanciones debe ser revisado anualmente, previniendo el desarrollo de nuevos combustibles o nuevos mecanismos

La estructura de la ley debe ser la siguiente: debe comenzar por establecer la prohibición y el campo de acción; luego debe definir los actores, con requisitos y sus funciones; siguen los límites permisibles para cada clase de equipo; se termina con las sanciones.

#### F. Propuesta del Reglamento de Control de Emisión de Gases

El Reglamento de Control de Emisión de Gases es el instrumento jurídico que establece los objetivos, los parámetros, los métodos, y las sanciones necesarias para desarrollar el Programa de Control de Emisión de Gases en Guatemala.

Este documento es de suma importancia, y no puede ser creado con base en circunstancias pasajeras, o de dudoso origen. El Reglamento de Control de Emisión de Gases tiene sus raíces en la Constitución Política de la República de Guatemala a través del Decreto Número 68-86, emitido por el Congreso de la República. En este decreto se crea la "Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente", en donde se acuerda emitir un "Reglamento para el Control de Emisiones de los Vehículos Automotores" que reduzca la contaminación atmosférica provocada por la emisión de gases de los automóviles, contaminación que actualmente sobrepasa los límites considerados como tolerables para la salud humana.

La primera propuesta del Reglamento de Emisiones se oficializó en el Acuerdo Gubernativo No. 14-97, publicado el 4 de febrero de 1997. Este reglamento contenía parámetros que aunque son necesarios, eran también muy estrictos, por lo que no fueron favorablemente aceptados por el núcleo de la población.

Este acuerdo fue derogado en 1998, a través del acuerdo gubernativo 930-98 del 21 de diciembre de ese mismo año. Debido a esto, la propuesta original fue modificada, ajustándola a la realidad e idiosincrasia guatemaltecas.

La nueva propuesta del Reglamento de Emisiones contiene (o debe contener) básicamente las mismas secciones que la propuesta anterior, estas son:

- Un capítulo referente a las Descripciones Generales.
- Un capítulo referente a los Niveles de Emisión.
- Un capítulo referente al Control de Emisiones.
- Un capítulo referente a la Certificación.
- Un capítulo referente a las Infracciones y Sanciones.

Todo lo anterior se complementa con un capítulo en que contenga el Glosario, Vigencia, y Disposiciones Finales del Reglamento.

La actual propuesta aún no se ha oficializado, sin embargo, el Programa se piensa implementar con mayor fuerza para inicios del año 2 000, utilizando como base la nueva propuesta de Reglamento.

#### G. Inspecciones Periódicas y Selectivas

El control del éxito del programa debe verificarse de dos formas. El primero con las inspecciones periódicas realizadas en los Centros Autorizados de Control de Emisiones. Todos los vehículos a controlar deben tener el certificado que se les entrega en el momento en que el vehículo cumpla con los parámetros de emisiones establecidos por la ley, y renovarlo dentro de los periodos de tiempo que la ley determine.

Previo a la certificación del vehículo se realiza una inspección del mismo, verificando la cantidad de emisiones respecto de su funcionamiento. Este procedimiento se conoce como Programa de Inspección y Mantenimiento (I/M).

La meta de cada programa I/M es minimizar el deterioro en el funcionamiento del motor, minimizando la cantidad de emisiones de los vehículos en uso, ya que el incremento en las emisiones puede deberse a alguna(s) de las siguientes razones:

- Insuficiente mantenimiento y fallas de los principales componentes del control de emisión.
- Cambio en la cantidad de emisiones debido al tiempo de uso.
- Manipulación inadecuada, como la desactivación de los componentes relevantes en el control de emisiones.

Al usar el Programa de Inspección y Mantenimiento puede verificarse la cantidad de emisiones que genera el vehículo a la vez que se ejecutan las reparaciones pertinentes. El Programa (I/M) necesita del equipo necesario para el control de emisiones y de un paquete de Software adecuado, que hace posible ejecutar un análisis completo de los contaminantes del motor. Tablas de análisis de gases para motores de gasolina pueden encontrarse en el apéndice C.

El segundo método de control son las inspecciones selectivas, éstas se realizan en las vías públicas. Cualquier tipo de vehículo a controlar puede ser detenido, al propietario puede exigírsele el certificado extendido por el Centro Autorizado, y puede realizársele al vehículo una prueba de emisión de gases para verificar la autenticidad del certificado, y controlar la corrupción en los Centros Autorizados. La infracción de la ley debe ser penalizada en el instante.

Solamente utilizando este método puede garantizarse la eficiencia del Programa.

#### H. Equipos utilizados en el Control de Emisiones de Gases Contaminantes

1. Motores de Gasolina. El equipo de prueba que se ha vuelto estándar en todos los Centros Autorizados de Control es el BAR 97 (basado en las normas del Bureau of Automotive Repair), que es el más moderno y comparable al sistema utilizado en los Estados Unidos. Este equipo utiliza el método de flujo parcial, lo que significa que únicamente se necesita recolectar una muestra del total de los gases de escape expulsados por el motor para efectuar el control.

El sistema hace uso de una sonda que se coloca en el tubo de escape del vehículo, y de un sensor externo que mide en todo instante la velocidad del motor. Un banco de cuatro gases conectado con la sonda determina el nivel de gases contaminantes del vehículo. Al sistema se le incorpora una computadora a la que se le instala el software adecuado, y se utiliza para monitorear el proceso, recolectar resultados grabándolos

en el disco duro, y extender certificados cuando el vehículo ha cumplido satisfactoriamente los parámetros de emisión. El software es diseñado especialmente para evitar engaños y minimizar la corrupción.

Los bancos de gases actuales tienen la capacidad de medir los gases monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y oxígeno (O<sub>2</sub>). Los sistemas utilizados en Guatemala no tienen aún la capacidad de medir los óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>), este contaminante actualmente sólo puede ser determinado en pruebas con equipo más sofisticado (ver Capítulo 8) que se realizan en las instalaciones de los fabricantes de vehículos. La prueba que se realiza actualmente en Guatemala se conoce como Prueba Estática.

El procedimiento para realizar la prueba de emisiones es sencillo, y básicamente es el siguiente:

- Se arranca el motor y se permite que logre la temperatura normal de funcionamiento.
- Se asegura que no existan fugas en el tubo de escape, esto se hace observando los valores de la medición del oxígeno (O<sub>2</sub>) o del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se aprecian en la pantalla del equipo.
- Se conecta correctamente el analizador de cuatro gases, según lo especifica el fabricante.
- Se asegura que el aire acondicionado esté apagado, que las llantas estén en línea recta, que la palanca de velocidades esté en neutro, o si es automático que esté en posición P o N, y que el freno sea aplicado.
- Se introduce la sonda por lo menos 30 centímetros en el tubo de escape.
- Con el motor en marcha Ralentí (700 a 1000 RPM), se observa en la pantalla de la computadora los valores de CO, HC y CO<sub>2</sub> hasta que se estabilicen. Se realiza el mismo procedimiento con el motor a Alta Velocidad (2200 a 2700 RPM). Los valores obtenidos con el motor acelerado pueden ser mayores que los obtenidos en marcha ralentí.

Según los parámetros dictados por la ley, y que han sido previamente ingresados a la computadora, ésta extiende el certificado de aprobación, o se da por rechazado el vehículo.

Los hidrocarburos HC se miden partículas por millón (ppm), mientras que el resto de gases se mide en porcentaje de flujo (%).

El uso del banco de cuatro gases es el método más eficaz para la correcta afinación de un vehículo de gasolina, ya que instantáneamente puede rectificarse la graduación de la alimentación, al observar los cambios de valor de los gases de escape que se despliegan en la pantalla de la computadora.

Los analizadores tienen un gas que es usado para calibrarlo. Los analizadores requieren de calibración periódicamente, que podría ser de una o dos veces al mes.

2. Motores Diesel. En los motores Diesel se mide únicamente la emanación de humo que tengan. Por las características de operación del motor Diesel no se hace necesario medir el monóxido de carbono (CO) ni los hidrocarburos no quemados (HC), por su bajo contenido en los gases de escape.

Se utiliza un opacímetro de flujo parcial, mediante una sonda que se coloca dentro del tubo de escape, y de un sensor magnético que mide las revoluciones del motor en todo instante. El sistema medirá la opacidad de los gases de escape. Si la combustión es incorrecta el grado de opacidad en los gases de escape aumentará, si por el contrario la combustión es buena y los sistemas del motor están en buen estado, el grado de opacidad de los gases de escape se reducirá. La muestra recolectada por la sonda se hace pasar a través de un sensor óptico láser, y según el grado de obstrucción que encuentre la luz al pasar por la muestra recolectada, así será el grado de opacidad que tenga. Este sensor es necesario calibrarlo periódicamente con la ayuda de un lente al que se le ha graduado la opacidad de referencia. Este lente debe ser muy bien cuidado para evitar errores de calibración.

El procedimiento para la prueba de opacidad Diesel se conoce como "Aceleración Libre", y está regido por varias normas internacionales. En general consiste de lo siguiente:

- Se calienta el motor a su temperatura de funcionamiento.
- Se coloca la sonda de medición en el escape y el sensor magnético en el motor.
- Se acelera el motor de velocidad de ralenti a velocidades máximas. El proceso de aceleración debe durar de 1 a 1.5 segundos, una pequeña variación de este periodo de tiempo afectará significativamente la medición. El acelerador se mantiene al fondo hasta que el sistema efectúe la medición.

Se realizan cuatro pruebas y se calcula su promedio aritmético. Según el parámetro establecido por la ley, la computadora emitirá el certificado de aprobación ó rechazará al vehículo. En este punto el proceso es el mismo que para el sistema de motores de gasolina.

#### I. Especificación de los Niveles Permisibles.

1. Motores de Gasolina. Como fue descrito en una sección anterior de este capítulo, la propuesta del Reglamento de Emisiones original contenía la especificación de los niveles permisibles. Estos niveles se tomaban haciendo uso de dos normas. Dependiendo del año en que el vehículo halla ingresado a territorio nacional, se le incluía en una o en otra norma.

Este procedimiento trajo mucho descontento entre la población. Muchos de los vehículos importados al país son de modelos antiguos, de segunda mano, y con un alto kilometraje recorrido. Al entrar al país bajo el reglamento anterior, se hacía muy difícil que pudieran pasar la prueba.

Otra razón importante, es que la mayor parte de la ciudadanía se encuentra actualmente conduciendo vehículos de modelo antiguo, y los niveles permisibles estipulados en el reglamento original eran muy altos

para el grado de conciencia ambiental que tiene la población.

En la nueva propuesta de Reglamento de Emisiones se hacen las correcciones pertinentes. Primero se cambia la forma de asignar los vehículos, ya no por fecha de ingreso al país, sino que asignándolos según sea su modelo. Segundo, ahora se utilizan tres normativas en vez de dos. Las normativas actuales especifican los niveles permisibles, éstas son:

- Vehículos Modelo/Año 2 000 y posteriores.

Monóxido de Carbono CO: 0.5 % máximo.  
 Hidrocarburos HC: 125 ppm máximo.  
 Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>: 12.0 % mínimo.

- Vehículos Modelo/Año 1981 a 1999.

Monóxido de Carbono CO: 4.5 % máximo.  
 Hidrocarburos HC: 600 ppm máximo.  
 Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>: 10.5 % mínimo.

- Vehículos Modelo/Año 1980 y anteriores.

Monóxido de Carbono CO: 6.0 % máximo.  
 Hidrocarburos HC: 1200 ppm máximo.  
 Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>: 8.0 % mínimo.

Es necesario hacer notar que la tercera normativa no se mide en ninguna otra parte del mundo, la razón por la que se implementó en Guatemala fue debido a los requisitos de operación de algunos vehículos viejos (por ejemplo VW de carburador) que aún se encuentran en uso.

2. Motores Diesel. Según la propuesta del nuevo Reglamento de Emisiones, se prohíbe la circulación de vehículos que utilicen combustible diesel y emitan humo (partículas) que excedan los siguientes límites:

- Vehículos Livianos y Pesados con motor Modelo/Año 2 001 y posteriores.

No exceder el 70 % de opacidad.

- Vehículos Livianos y Pesados con motor Modelo/Año 2 000 y anteriores.

No exceder el 80 % de opacidad.

Lo anterior se aplica a todo motor Diesel incluyendo los turbocargados. Estos valores ya contemplan compensación por altura hasta los 2,500 m sobre el nivel del mar.

El parámetro reglamentario para motores Diesel, en el que se especifica un 80 % de opacidad como

máximo, significa que solamente un 20 % del halo de luz es visible en el sensor óptico. Este es un parámetro muy alto, pero es adecuado en estas primeras fases del Programa de Control de Emisiones.

## VIII. ESTUDIOS DEL CONTROL DE EMISIÓN DE GASES EN GUATEMALA Y LAS ESPECTATIVAS PARA EL FUTURO

En este capítulo se presentan los datos sobresalientes del Programa de Control de Emisiones en Guatemala, dirigido por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), durante el año de 1998. Fue durante este año que el Programa de Control de Emisiones pudo entrar con suficiente fuerza, permitiéndole recolectar la respuesta pública obtenida, y con ésto hacer las correcciones pertinentes para el nuevo milenio. Examinaremos brevemente en qué consistieron.

Parte del reto es también saber reconocer y saber adaptarse a los cambios tecnológicos que se han venido desarrollando en materia de control de emisiones, y que indudablemente ocurrirán a corto y mediano plazo, por lo que mencionaremos los más importantes.

### A. Centros de Control de Emisiones.

Uno de los pilares del Control de Emisiones en Guatemala se construyó al privatizar el programa. Al privatizar el servicio de control se motivó al sector privado, abriéndose más de setenta Centros Autorizados en la capital y en el interior de la república, los cuales están distribuidos en la siguiente forma:

- Ciudad Capital

Centros Autorizados de Control de Emisiones para vehículos de Gasolina y Diesel:	22
Centros Autorizados de Control de Emisiones para vehículos de Gasolina solamente:	41
Centros Autorizados de Control de Emisiones para vehículos Diesel solamente:	2

- Interior de la República

Centros Autorizados de Control de Emisiones para vehículos de Gasolina y Diesel:	4
Centros Autorizados de Control de Emisiones para vehículos de Gasolina solamente:	8
Centros Autorizados de Control de Emisiones para vehículos Diesel solamente:	1

Como puede verse, el 80 % de los Centros de Control Autorizados se encuentran en la ciudad capital, lo que a su vez es congruente con la fracción de automóviles que transita a diario por esta ciudad. Esta medida permitió reducir costos y evitar largas colas, otorgando a los propietarios de los automotores la elección del taller de su conveniencia.

La mayoría de los talleres se fueron incorporando a medida que proseguía el programa. Los datos completos de los vehículos aprobados, así como el número de rechazados, son enviados periódicamente a CONAMA. Un listado detallado de los Centros Autorizados de Guatemala actualmente en operación puede encontrarse en el apéndice D.

## B. Vehículos Automotores sometidos al Control de Emisiones durante 1998.

Durante 1998 se certificaron más de 50,000 vehículos de gasolina y diesel en total. Durante la primera parte del año los vehículos de modelos 1995 o más recientes podían ser certificados sin ninguna dificultad. Sin embargo, conforme el vehículo fuera siendo de un modelo más antiguo, sus posibilidades de ser certificados se reducían gradualmente, al incrementar sus costos de mantenimiento. Esta circunstancia ya fue discutida en el capítulo VI de este trabajo. Al modificar los límites permisibles, haciéndolos más accesibles, logró cerrarse el año al tener una paridad entre vehículos de modelo antiguo y reciente que fueron certificados en el mismo período de tiempo.

1. Motores de Gasolina. En la Gráfica 8.1 se muestran los vehículos que usan gasolina y que fueron sometidos a la prueba de control de emisiones durante 1998. Los resultados se muestran mes a mes.

2. Motores Diesel. En la Gráfica 8.2 se muestran los vehículos que usan combustible diesel y que fueron sometidos a la prueba de control de emisiones durante 1998. Los resultados se muestran mes a mes.

3. Total de Motores Certificados. En la Gráfica 8.3 se muestra el total de vehículos (gasolina y diesel) que fueron sometidos a la prueba de control de emisiones durante 1998. Como puede verse, solamente una pequeña fracción de la totalidad del Parque Vehicular de Guatemala fue certificado durante ese año, el porcentaje de vehículos certificados debe subir mucho más para que el Programa cumpla con los objetivos trazados. El listado general de vehículos sometidos al control de emisiones se da en detalle en la tabla D 8.1 del apéndice D.

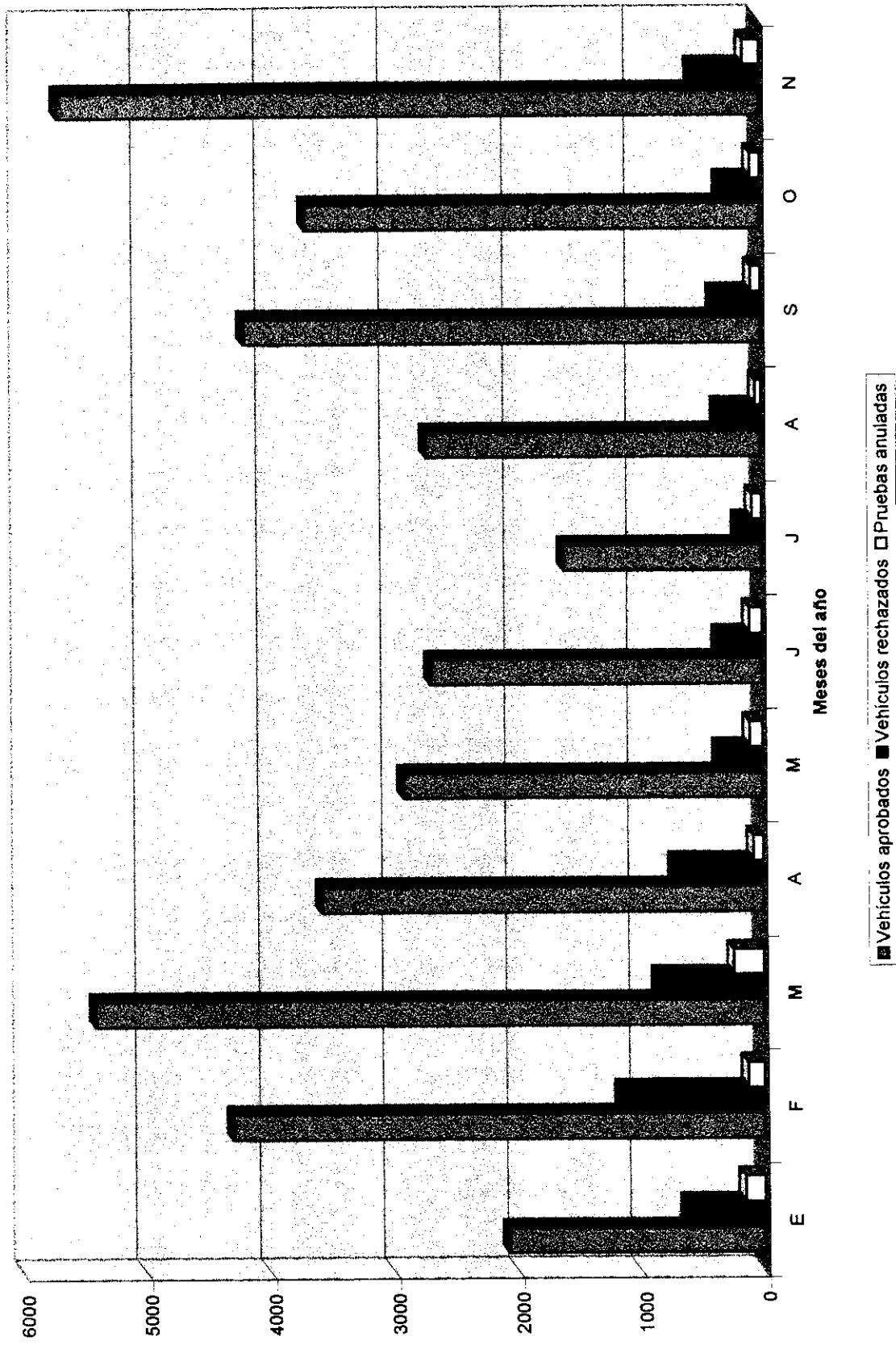
## C. Diseño del Certificado y la Calcomanía.

Los Certificados y las Calcomanías del Programa de Control de Emisión de Gases son extendidos por los Centros Autorizados en el momento que un vehículo pasa favorablemente los estándares de emisión correspondientes, constituyéndose en el único comprobante aceptado ante la ley. Ambos son fabricados con tecnología especial para evitar la falsificación. Los certificados tienen impreso el nombre de la "Comisión Nacional del Medio Ambiente" en letras diminutas en todo el contorno. Además llevan un sello de agua que solo puede ser visto al usar lámparas infrarrojas. Ejemplos del diseño de los certificados para vehículos de Gasolina y Diesel, junto con el diseño de la calcomanía correspondiente se muestran en las figuras 8.1, 8.2, y 8.3 respectivamente.

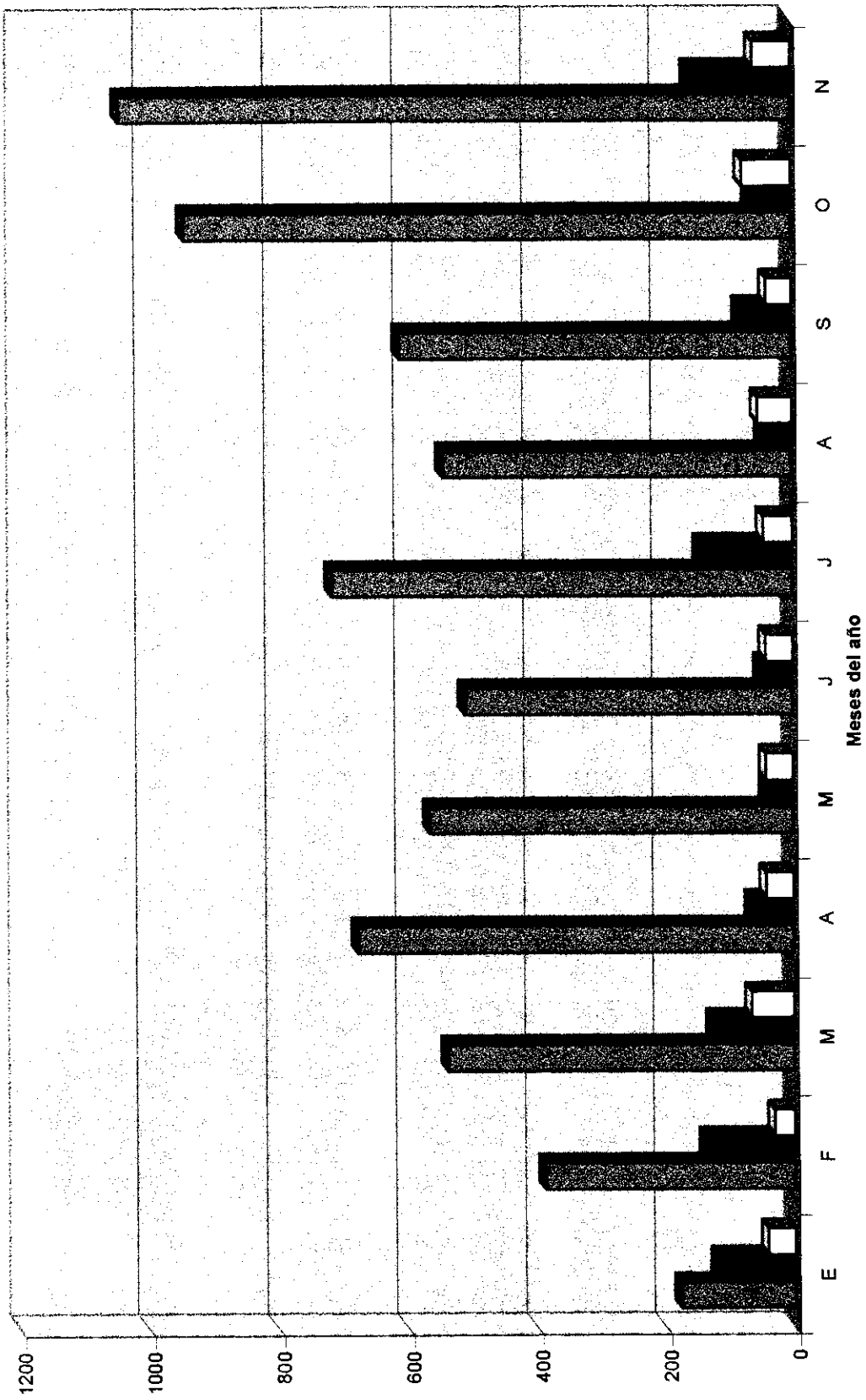
## D. Proyección futura del Control de Emisiones en Guatemala.

El éxito del Programa de Control de Emisión de Gases depende grandemente del nivel de información y conscientización que se le inculque a la población. A través de una campaña publicitaria a nivel nacional utilizando la radio, la prensa, y la televisión, la Comisión Nacional del Medio Ambiente tiene proyectado

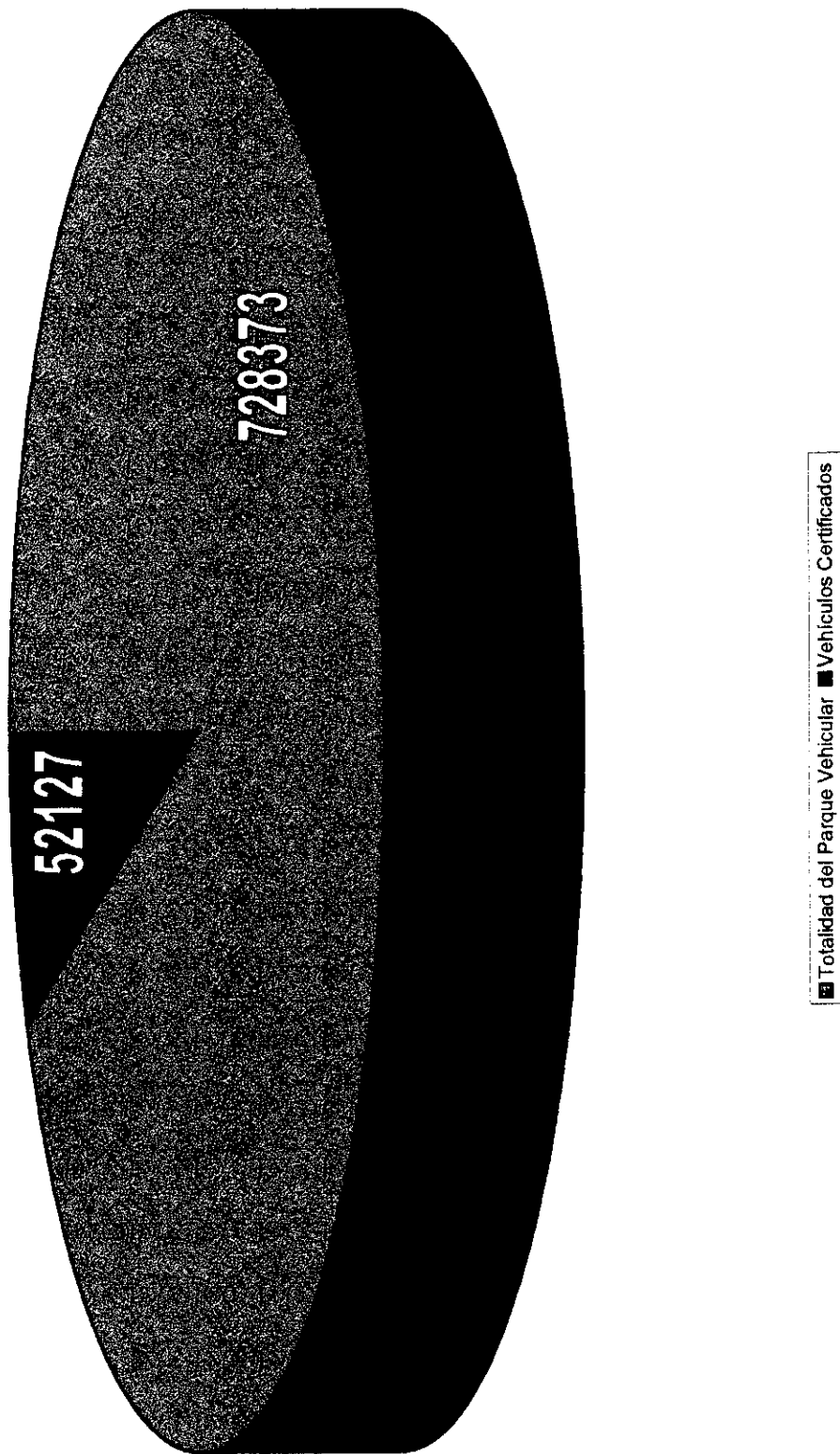
Gráfica 8.1. Vehículos a Gasolina sometidos al Control de Emisión de Gases durante 1998



Gráfica 8.2. Vehículos Diesel sometidos al Control de Emisión de Gases durante 1998



Gráfica 8.3. Fracción de Vehículos Certificados durante 1998 de la totalidad del Parque Vehicular de Guatemala



que para el año 2 000 puede llegarse a la meta de un 75% de conscientización ciudadana, obteniéndose la certificación de un 50% de la totalidad del parque vehicular existente en Guatemala. Esto marcaría el arraigo definitivo de la cultura ecológica entre la población guatemalteca.

CERTIFICADO DE CONTROL DE EMISIONES				CONAMA	
Nombre	MIGUEL ANGEL	Apellido	ORELLANA ROSALES	No. 085877	
Dirección	AVENIDA MARISCAL 20-15 Z.11	Ciudad	GUATEMALA		
Placa	P-423246	Marca	GMC	Año	1995
Uso	Privado	Tipo	Privado	Fecha de ingreso	1995
Motor #	YSK523743	Combustible	Gasolina	Kilometraje	58570
Chasis #	1GTCS1445SK523743				
<b>RESULTADO EMISIONES</b>				<b>APROBADO</b>	
Resultados	Marcha Mínima	Espec. Marcha Mínima	Resultados Vel. Alta	Espec. Vel. Alta	
HC PPM	26	125	11	125	
CO-%	0.04	0.5	0.01	0.5	
CO2 %	14.26	12	44.4	12	
RPM	930		# 2400		
Fecha de Prueba	3/30/99	Fecha de vencimiento	3/30/00	Numero de Calcomanía	AGUA-000C10647
Nombre Estación	RAYO ELECTRICO, S.A.	No. de Registro	4661238	Resultados Inspección	APROBADO
Nombre Operador	JULIO JUAREZ	Firma			
Código de Centro	GUA-000				

Figura 7.1. Diseño de un Certificado para motores a Gasolina.

CERTIFICADO DE CONTROL DE EMISIONES				CONAMA	
Nombre	ARAUZ	Apellido	FABRICA DE PISOS	No. 088309	
Dirección	CALZ. ROOSEVELT 12-43 ZONA 11	Ciudad	GUATEMALA		
Placa	P-278532	Marca	ISUZU	Año	1985
Uso	Privado	Tipo	Privado	Fecha de ingreso	1985
Motor #	813187	Combustible	Diesel	Kilometraje	220451
Chasis #	JAAF0721333				
<b>RESULTADO EMISIONES</b>				<b>APROBADO</b>	
	Opacidad	RPM	Prueba de Opacidad	64.68	
Prueba 1	64.3	4671	Promedio		
Prueba 2	66.5	4652			
Prueba 3	67.5	4665	Prueba de Opacidad	70	
Prueba 4	58.4	4679	Máxima		
Fecha de Prueba	3/2/99	Fecha de vencimiento	3/2/00	Numero de Calcomanía	AGUA-045C04648
Nombre Estación	Tecnidiesel S.A.	No. de Registro	4802846		
Nombre Operador	Jurgen Bauer	Firma			
Código de Centro	GUA-045				
				<b>TECNIDIESEL, S. A.</b>	
				2a. Calle 4-31 Zona 9	
				Tels. 331-6157 331-6755	

Figura 7.2. Diseño de un Certificado para motores Diesel.

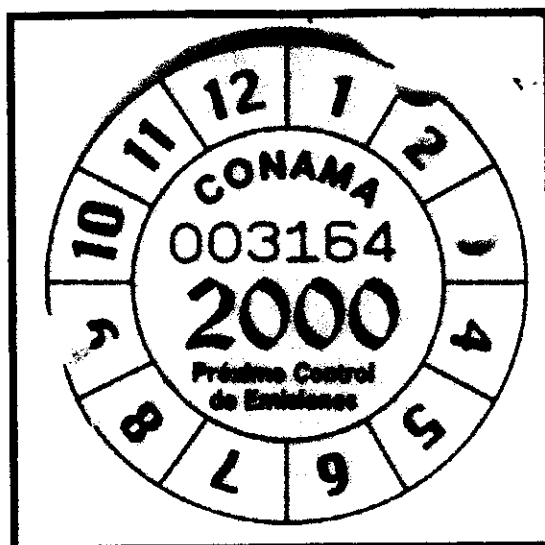


Figura 7.3. Diseño de la Calcomanía.

#### E. Avances Tecnológicos en Materia de Control de Emisiones: Pruebas Dinámicas.

Se conocen como pruebas dinámicas aquellas en las que las ruedas de tracción del vehículo están colocadas sobre un dinamómetro, de manera que el motor del auto pueda funcionar en condiciones de aceleración con diferentes posiciones en la marcha, y no sólo en neutro como es necesario en las pruebas estáticas. Con este procedimiento pueden simularse mejor las condiciones de operación del motor en la calle. Este tipo de prueba arroja resultados más exactos que los que se obtienen al utilizar las pruebas estáticas que actualmente se utilizan para la certificación de vehículos en Guatemala.

Para simular las pendientes en la carretera o la carga del vehículo, los dinamómetros suelen también oponer cierta resistencia al movimiento de las ruedas del automóvil, logrando así que el motor imprima mayor potencia, siendo posible medir las emisiones de gases de escape en las diferentes etapas de manejo del motor.

En las pruebas dinámicas es posible simular casi cualquier condición de manejo a las que se ve sometido un vehículo; sin embargo, para que sea una prueba válida de un programa de Control de Emisión de Gases, todos los autos deben ser sometidos a iguales condiciones de prueba. Para esto, se han creado ciclos de manejo estandarizados, los cuales definen condiciones muy específicas de tiempo, velocidad, y carga por lo que deben pasar los autos al momento de efectuar las mediciones.

Los principales sistemas dinámicos de certificación para gases de escape en la actualidad son los United States Federal Test Procedures (FTP), los de United Nations Economic Commission for Europe (ECE), y los Japanese Test Procedures.

1. Prueba FTP 75 para Vehículos Nuevos con Motor a Gasolina. Originalmente, los ciclos de prueba dinámicos no fueron creados para el control de emisiones de gases para vehículos en circulación, sino para vehículos nuevos, un ejemplo de esto es la prueba FTP 75. Esta prueba es bastante exacta, efectúa una medición en concentración de contaminante por unidad de distancia recorrida o potencia entregada, ofreciendo un dato muy real del nivel de emisiones del vehículo.

La calidad de las emisiones de un vehículo se ven afectadas por diferentes factores tales como la forma de conducir, la velocidad, la carga del vehículo, el tráfico vehicular, la altitud, la temperatura, etc.; por esta razón, las autoridades estadounidenses crearon un ciclo de simulación en el cual se recrean las condiciones reales en la calle. Este ciclo puede ser reproducido las veces que se desee y en el transcurso de éste se efectúan las mediciones, las cuales son siempre efectuadas de la misma manera, con variación únicamente de las condiciones de simulación para las diferentes categorías de vehículos.

El FTP 75 es un ciclo empleado para vehículos livianos con motor de gasolina y que simula una ruta urbana con rangos de velocidad que oscilan entre 0 y 91.2 Km/hr, tiene una duración de 2,475 segundos (41 minutos con 15 segundos), durante los cuales se pueden distinguir tres diferentes etapas: una de arranque en frío (después de mantener el motor apagado por un mínimo de 12 horas), otra de temperatura estabilizada, y otra de arranque en caliente (después de enfriar durante sólo diez minutos). Durante cada una de estas etapas, hay periodos en los que el vehículo se está acelerando, otros en los que se va a velocidad constante, otros frenado, y otros en los que el vehículo permanece en neutro (para simular los altos en los semáforos). En la figura 8.4 a continuación se puede observar una gráfica que representa el ciclo FTP 75 en función de la velocidad y el tiempo "recorridos" por el vehículo, y donde se pueden observar estas etapas.

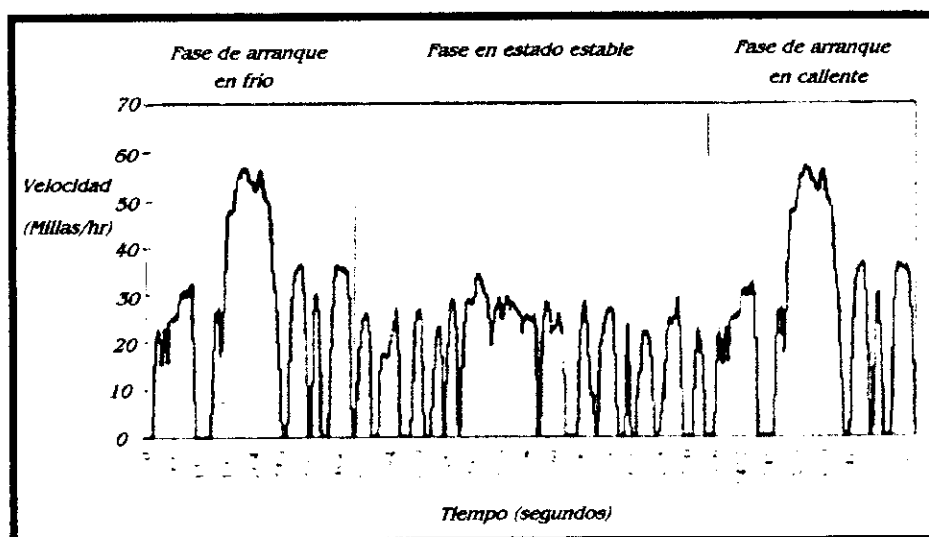


Figura 8.4. Representación gráfica del ciclo FTP 75.

Para efectuar la simulación se emplea un dinamómetro sobre el que se colocan las ruedas de tracción del vehículo. El tubo de escape se conecta a una sonda que succiona los gases, los diluye y enfría, y luego los recolecta en un sistema de muestreo a volumen constante para después ser analizados por un equipo electrónico. Los resultados obtenidos no se expresan en concentración, sino en masa de contaminantes por unidad de distancia recorrida (gr/milla).

A pesar de que la prueba 75 es muy completa, se le critica el hecho de no cubrir condiciones de operación superiores a los 91.2 Km/hr, pues se argumenta que la mayoría de los usuarios conduce a velocidades superiores. También existen fabricantes de autos que se han aprovechado de esta situación para crear motores que a velocidades superiores a éstas, alteran la proporción de la mezcla aire/combustible para aumentar la potencia, pero aumentando también las emisiones.

El uso de esta prueba para el control de los vehículos en circulación no es factible debido a que el equipo empleado es muy caro y el tiempo de duración de la prueba demasiado largo, sin contar el tiempo de enfriamiento de 12 horas previo a la etapa de arranque en frío. De hecho, para realizar esta prueba a un lote de autos nuevos, no se efectúa con todos los autos, sino que se toma una muestra aleatoria según métodos estadísticos de control de calidad reconocidos. Si el lote de vehículos pasa la prueba, se emite el certificado de homologación para que los vehículos puedan ser importados o sacados de las fábricas y puestos en el mercado.

Para solventar esta situación, se han creado pruebas dinámicas de muy corta duración basadas en la FTP 75 y que pretenden dar resultados igual de válidos que los de ésta.

2. Prueba ASM. La primera de las pruebas dinámicas creadas para la inspección de vehículos en circulación fue la "Acceleration Simulation Mode" (ASM), la cual funciona operado el automóvil a una velocidad constante durante un período mínimo de 30 segundos, durante los cuales se efectúa una medición de contaminantes en términos de concentración. El aparato de medición relaciona luego dicha lectura de concentración con el desplazamiento realizado por el vehículo para aproximar el resultado a unidades de masa. Además de los parámetros medidos en las pruebas estáticas, también se mide NOx.

Esta prueba se encuentra en uso en muchos lugares, sin embargo, se le critican dos aspectos: primero que no cubre un ciclo completo representativo de todas las etapas de manejo que se tienen en la calle, y segundo, que los resultados expresados en masa por unidad de distancia recorrida son sólo una aproximación.

3. Prueba IM240. Para solventar las deficiencias de la prueba ASM se ideó un ciclo completo representativo de la forma como se conduce en un ambiente urbano (como lo hace la FTP) pero de corta duración. Para lograr esto, se tomaron como base los primeros 240 segundos de la prueba FTP creándose así la IM240. Durante este período de 240 segundos de duración, se dan etapas de aceleración, frenado,

velocidad constante, y períodos con la marcha en neutro (simulando semáforos). El dinamómetro empleado posee un dispositivo que simula el efecto de la inercia durante el frenado y la aceleración. También se emplea un equipo de medición similar al FTP, que recolecta gases con un muestreador de volumen constante que expresa el resultado en masa de contaminante por unidad de distancia recorrida. Adicionalmente, la prueba IM240 incluye la medición de las evaporaciones del tanque de combustible y del cárter.

Esta prueba proporciona un grado de correlación con la FTP muy bueno. La desventaja de la IM240 es el alto costo del equipo empleado, que oscila entre los US\$80,000 y US\$140,000. En comparación, el costo del equipo empleado para la prueba ASM es de US\$40,000, y el empleado en la prueba estática de Ralenti/2500 rpm (que es la prueba que se lleva a cabo actualmente en Guatemala) oscila entre los US\$5,000 y US\$12,000, lo cual explica que en muchos lugares se siga utilizando la prueba estática a pesar de su inexactitud frente a una prueba dinámica. Los Centros Autorizados en Guatemala para la Certificación de Gases de Escape pueden invertir en un equipo para realizar la prueba estática, pero muy pocos centros tendrían la capacidad de adquirir los equipos necesarios para realizar la prueba IM240.

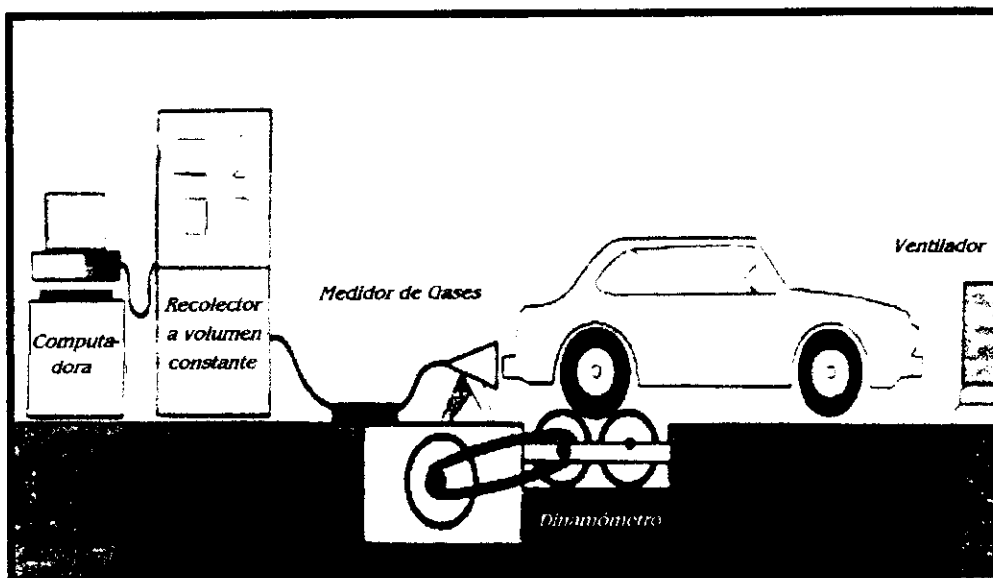


Figura 8.5. Esquema del equipo empleado para realizar la prueba IM240.

4. Prueba RG240. Para solucionar en parte el problema del alto costo del equipo IM240, se han creado equipos clasificados como "Repair Grade" (Calidad para Reparación), diseñados para realizar las funciones del IM240, pero a un precio más bajo. La prueba empleando este equipo se conoce como RG240, teniendo los mismos ciclos de manejo que la IM240.

Al igual que el IM240, el equipo RG240 posee un analizador para CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>. Cuenta también con el medidor de combustible evaporado del tanque y cárter, y con el recolector de gases a

volumen constante. La diferencia básica entre ambos equipos es que el RG240 no mide la masa de contaminantes, sino que sólo proporciona un cálculo estimado que no tiene el grado de exactitud logrado con el otro equipo.

El precio del equipo RG240 oscila entre US\$30,000 y US\$70,000 lo cual podría hacerlo accesible para los Centros Autorizados una vez el Programa de Control de Emisión de Gases alcance el nivel de aceptación deseado entre la población.

#### F. Vehículos Limpios.

La tecnología de los motores de combustión interna se ha mantenido en uso desde el nacimiento de la industria automotriz, se ha experimentado cierta evolución en cuanto al control de las emisiones de gases de escape. Sin embargo, existe un límite que nunca se podrá sobrepasar mientras se emplee este tipo de vehículos, ya que aunque se lograra una combustión perfecta del diesel y la gasolina, siempre se generaría una cantidad de contaminantes inherentes a la naturaleza misma de la combustión de los hidrocarburos. Simplemente se ha tenido que aceptar que la contaminación del aire es un precio obligatorio que se debe pagar por el uso de la tecnología de motores de combustión interna.

La limitación de las reservas naturales de petróleo, como el deterioro de la calidad del aire, han motivado a muchos de los fabricantes de autos a invertir cantidades de dinero apreciables en el desarrollo de nuevas tecnologías para vehículos y combustibles, buscando un equilibrio entre economía, funcionalidad y eficiencia para crear una nueva generación de "vehículos limpios" que sean capaces de prestar la misma calidad de servicio que los autos convencionales, pero a un costo ecológico más bajo.

En la actualidad ninguno de los vehículos limpios es de uso generalizado, pero algunos de ellos muestran un gran potencial para serlo en plazos no muy lejanos. A continuación se presentan los principales.

1. Vehículos LEV con Motor de Combustión Interna. El estado de California en Estados Unidos ha sido el precursor en muchos aspectos relacionados con la contaminación del aire, ya que algunas de sus ciudades se encuentran entre las que presentan mayores problemas en esta rama. Es por esto que tras haber llevado su legislación de aire a ser probablemente la más estricta del mundo, las autoridades de California apuestan en el futuro a la eliminación total de los vehículos de combustión interna, promoviendo programas de investigación y desarrollo de vehículos limpios. En este sentido, y en proyección a un plazo inmediato, se creó en su legislación el concepto de "Vehículos de Bajas Emisiones" (Low Emission Vehicle, LEV). Estos vehículos, a pesar de poseer motores de combustión interna, deben cumplir con restricciones de emisiones gaseosas más estrictas que las estándar.

Según la ley de California, para que un vehículo pueda ser considerado LEV debe cumplir al menos uno de los siguientes requisitos:

- Que sea capaz de operar con metanol como combustible y que el impacto negativo que genere en cuanto a la formación de ozono a nivel del suelo no sea mayor que el de los vehículos de gasolina convencional.
- Que sea capaz de operar con cualquier tipo de combustible diferente de la gasolina o el diesel, y que el impacto negativo que genere en relación a la formación de ozono a nivel del suelo no sea mayor que el de los vehículos que operan con metanol.
- Que opere exclusivamente con gasolina y que sea capaz de cumplir con un estándar de emisiones de hidrocarburos que sea al menos el doble de estricto de los estándares que se aplican a los vehículos de gasolina del mismo año y tipo.

Para los vehículos pesados de motor diesel, que sea capaz de cumplir con estándares, ya sea para Nox o partículas, que sean al menos el doble de estrictos que los que se aplican para el resto de vehículos similares.

Que haya sufrido modificaciones según su diseño original, para la instalación de equipo de control de emisiones totales de productos químicos precursores del ozono al menos en un 30%.

Actualmente existe la tecnología capaz de hacer que un vehículo de combustión interna cumpla por lo menos con una de estas condiciones, y el estado de California otorga ciertos beneficios fiscales a los propietarios de dichos autos.

Posterior a este concepto también se crearon los conceptos de "Vehículos de Ultra-Bajas Emisiones" (Ultra-Low Emissions Vehicle, ULEV), "Vehículos de Super-Ultra-Bajas Emisiones" (Super-Ultra-Low Emission Vehicle, SULEV), y "Vehículos con Cero Emisiones" (Zero Emission Vehicle, ZEV). Todos estos conceptos han sido creados para vehículos que generan menos contaminantes que los LEV, pero emplean tecnologías cuyo uso todavía no puede generalizarse, por lo que forman parte de las proyecciones a mediano y largo plazo. Por ejemplo, las autoridades de California tienen previsto que para el año 2003, el 10% de las ventas de vehículos livianos sean vehículos ZEV, completamente limpios.

2. Vehículos Eléctricos. Los vehículos eléctricos para el transporte público ya han sido empleados durante años en muchos países en la forma de tranvías. Esta tecnología busca aplicarse a autobuses y vehículos privados. Este tipo de vehículos funciona con motores eléctricos impulsados con energía proveniente de baterías, las cuales se necesita recargar periódicamente conectándose a una fuente de energía eléctrica tradicional. Desde el punto de vista ecológico, este tipo de vehículo es ideal, clasificándose en la categoría ZEV ya que no producen ninguna emisión de gases. Por otro lado, esta tecnología presenta muchos problemas operacionales y económicos.

La autonomía de estos automóviles es muy limitada, ya que los periodos de funcionamiento entre una carga y otra son relativamente cortos, y el tiempo de recarga bastante largo. La potencia y los límites de velocidad que puede alcanzar son más bajos que los de los autos convencionales. Para recargar las baterías se consume mucha energía eléctrica, y si ésta es producida quemando combustibles fósiles, se produce igual o mayor cantidad de contaminantes por cada vehículo de esta forma.

El problema más grande de estos autos es el precio de las baterías que utilizan, el cual oscila entre los US\$3,000 y US\$4,000, teniendo que ser reemplazadas cada cierto tiempo. Mientras no se logre bajar ese precio, los vehículos eléctricos difícilmente podrán ser una opción real para sustituir a los de combustión interna.

3. Vehículos con Celdas de Combustible. La tecnología de las celdas de combustible surgió a finales del siglo pasado en Inglaterra, pero nunca tuvo aplicación práctica hasta principios de los 60's, cuando la agencia espacial de Estados Unidos (NASA) la comenzó a desarrollar como una posible fuente de energía en las naves espaciales.

El principio de una celda de combustible es similar al de una batería eléctrica. Consta de dos electrodos separados por un electrolito, en uno de los cuales pasa oxígeno y en el otro pasa hidrógeno. Cuando este último es ionizado, pierde un electrón, el cual emigra hacia el otro electrodo por medio de un conductor. Todo el proceso produce energía eléctrica, calor y agua 100% pura. A diferencia de las baterías convencionales, las celdas de combustible no se agotan ni requieren recarga, continuando la producción de energía mientras se le provea de oxígeno (del aire) e hidrógeno (combustible).

Las celdas de combustible han sido objeto de mucha investigación en los últimos años para poder emplearlas en la industria automotriz, con lo que se llegarían a producir vehículos SULEV o incluso ZEV. Los vehículos que emplean esta tecnología son superiores a los eléctricos, pues son igual de limpios, pero con mayor rango de operación y menor tiempo de recarga. Existen prototipos que tienen un alcance con el tanque lleno de 500 Kms (superior a cualquier vehículo convencional).

El problema por el cual no se puede de momento generalizar el uso de esta tecnología, es principalmente el combustible, pues el hidrógeno puro resulta difícil de distribuir. Para solucionar este aspecto, se ha desarrollado un proceso llamado reformado, mediante el cual los combustibles convencionales son modificados a través de catalizadores, para que el hidrógeno contenido en ellos pueda ser utilizado en la celda de combustible. Los combustibles más prometedores para este proceso son el metanol y el etanol, cuyas moléculas contienen bastante hidrógeno.

Finalmente, los costos de producción de los prototipos han sido altos, pero esto siempre ha sido así con toda nueva tecnología, y es de esperar que con el paso del tiempo esta situación cambiará y las celdas de combustible puedan llegar a sustituir a los motores de combustión interna.

## IX. CONCLUSIONES

Basado en lo que ha sido expuesto a lo largo de este trabajo, doy a continuación las siguientes conclusiones:

1. El desarrollo del motor de combustión interna fue la invención tecnológica que permitió el desarrollo de la industria del transporte tal como la conocemos hoy. Para trabajar, este motor necesita de combustible, el cual se quema internamente en el motor (de allí su nombre). Al ingresar el combustible suministrado a la cámara de combustión del motor, éste debe ir mezclado con la cantidad necesaria de oxígeno, y dar un tiempo mínimo requerido para que se produzca la Combustión Completa del mismo. Cuando se produce la Combustión Completa del combustible dentro del motor, se aprovecha al máximo el combustible suministrado, y los productos resultantes del proceso serán gases no contaminantes. Cuando no se cumplen estas condiciones se producirá una Combustión Incompleta, en la que no se aprovechará al máximo el combustible suministrado, y se tendrán gases contaminantes entre los gases residuales del proceso de combustión.
2. La combustión completa rara vez sucede en el motor. El proceso de combustión depende de muchos factores, muchos de los cuales dependen a su vez de los criterios de diseño con que se fabrique el motor. Por lo que aún en condiciones ideales (logradas únicamente en laboratorios de prueba), es muy difícil que a la mezcla se le de el tiempo óptimo de quemado. Es por esto que decimos que el motor de combustión interna es una tecnología inherentemente contaminante, causado por las limitantes tecnológicas de nuestra era. Los contaminantes como el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos no quemados (HC), y los óxidos nitrosos (NOx) se producen por esta razón.
3. Además de las limitantes tecnológicas de nuestra era, existe otro factor que tiene aún mas trascendencia en la producción vehicular de emisiones contaminantes, este es el tipo de combustible que usamos. Los vehículos de carretera de Guatemala usan ya sea gasolina, o combustible diesel. Estos combustibles son básicamente una mezcla de hidrocarburos que les otorgan características propias. Ambos son productos de varias etapas de refinamiento por las que ha pasado el petróleo. Sin embargo, la gasolina y en especial el combustible diesel, llevan disueltos pequeñas cantidades de otras sustancias, por ejemplo, residuos de carbón y azufre en el caso del combustible diesel. Estas sustancias están presentes en el proceso de combustión y en los gases de escape. Los contaminantes como el material particulado en suspensión (PMS) y el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) se producen por esta razón.
4. Los efectos de la contaminación en el aire ambiental, especialmente el de la ciudad capital, son claramente visibles. La contaminación por la quema de combustibles fósiles hace grandes estragos en la salud de todos los ciudadanos, especialmente en los niños y los ancianos. Disminuye nuestra resistencia y nos hace vulnerables a enfermedades respiratorias. La contaminación del aire contribuye a destruir

nuestros recursos (naturales como humanos), disminuyendo la productividad de la nación. Esta circunstancia por sí sola debería ser suficiente para motivar un cambio de actitud en la conducta ambiental de la población, que permita implementar leyes estrictas en lo que respecta al Control de Emisión de Gases Contaminantes.

5. Mientras utilicemos al motor de combustión interna y la quema de combustibles fósiles como la tecnología de preferencia en la rama de transporte, no podemos ser congruentes y decir que se pretende eliminar la contaminación de la atmósfera. Lo que podemos hacer es reducirla. Por lo que el objetivo general de todo programa de control de emisiones es el de reducir la contaminación del aire en los Centros Urbanos, dentro de los lineamientos de la calidad del aire sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).
6. El aire limpio incrementa la salud de la población, reduciendo sustancialmente los gastos médicos asociados con la contaminación del aire. Está a nuestro alcance tomar los siguientes métodos de Prevención: Monitorear la calidad del aire, crear un Reglamento de control de emisiones vehiculares, ejecutar Programas de Inspección y Mantenimiento en los motores, utilizar Métodos de Control de Emisiones, dar un entrenamiento específico en el área automotriz para talleres mecánicos, ejecutar un control por azar en las carreteras, reorganizar el flujo vehicular en la ciudad de Guatemala, y crear un Sistema de Alerta Metropolitano. Estos procedimientos servirán de solución mientras hacemos accesible la utilización de una tecnología más ecológica, que seguramente vendrá en la forma de vehículos más limpios y combustibles alternativos y reformulados.
7. Una medida que puede tomarse para reducir la emisión de gases contaminantes que producen nuestros vehículos, es hacer que las autoridades competentes impongan una norma más estricta en lo que respecta a la formulación de los combustibles, al elevar sus estándares de importación y producción. Estos cambios deben incluir el aumento del octanaje de las gasolinas. La gasolina regular debe tener entre 93 y 95 octanos, y la gasolina superior entre 95 y 98. El contenido de aditivos oxigenados como MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) y ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether) en la gasolina contribuyen a reducir las emisiones, principalmente las de monóxido de carbono, por lo que pueden utilizarse. Además, el contenido de azufre en el combustible diesel debe ser disminuido; en Europa y los Estados Unidos se utiliza combustible diesel con un porcentaje de azufre menor que el 0.05%. El cetanaje del combustible diesel debe de aumentarse, la cantidad óptima es de entre 53 y 55 cetanos, no bajando de un mínimo de entre 45 a 48 cetanos. Estas medidas propiciarán una quema óptima del combustible dentro del motor, lo cual es necesario debido al nivel de altura que se tiene en Guatemala. Al implementar estas medidas, nuestro combustible puede ser considerado como un "combustible ecológico". Es necesario agregar en este punto el hecho de que esta medida no es fácil, mucho del combustible que se vende en Guatemala es el mismo que usa el resto de Centroamérica, por lo que un

acuerdo en conjunto entre los países de la región podría ser necesario.

8. Mientras los grandes fabricantes de vehículos de transporte se preocupan por mejorar los motores que producen, y nuestras autoridades obligan a las grandes petroleras a mejorar el tipo de combustible empleado, existe una medida que podemos implementar hoy mismo, esa es la de Inspección y Mantenimiento (I/M) de nuestros vehículos. Esta es una medida en la que podemos ver beneficios inmediatos. Al tener nuestro vehículo funcionando en óptimas condiciones, no solamente reducimos la contaminación ambiental (de la que definitivamente cada uno de nosotros es responsable aunque sea en una pequeña medida), si no que también alargamos la vida útil de nuestro motor, al ahorrar en combustible y en piezas de repuesto que se gastaron prematuramente, estas cantidades de dinero a la larga son considerables. Este es uno de los puntos clave que pueden utilizarse para crear una conciencia ambiental entre la población. Definitivamente los gastos de operación y mantenimiento de un vehículo altamente contaminante son proporcionalmente más altos. Con esta medida se reduce fácilmente la contaminación del vehículo entre un 30 y 40 %, y se disminuye el consumo de combustible entre un 5 y 10%.
9. Una parte importante de la Inspección y Mantenimiento del motor es la verificación del sistema de control de emisiones del vehículo. Como fue expuesto con anterioridad, sin importar en qué estado esté el motor, éste contaminará. Conscientes de esta realidad, se han desarrollado tecnologías que ayudan a reducir la contaminación, estos son los llamados Sistemas de Control de Emisiones. Estos sistemas trabajan en equipo, pudiendo encontrarse todos, o al menos una buena parte de ellos instalados en nuestro vehículo. Estos sistemas llevan décadas de desarrollo (principalmente los usados en motores a gasolina, en el cual el catalizador es fundamental), por lo que si estos sistemas de control se combinan con los nuevos sistemas de control electrónico de las funciones del motor (por medio de una computadora), la emisión de gases que tendrá ese vehículo es prácticamente despreciable. Lo que debemos hacer nosotros, es estar conscientes de su existencia y necesidad en nuestro vehículo, exigir a nuestro taller de reparaciones predilecto que verifique la correcta instalación y funcionamiento de los mismos, no dejándonos engañar por personas negligentes.
10. Al iniciar el año de 1998 el Reglamento de Control de Emisión de Gases Contaminantes tenía estándares de emisión basados en la fecha de ingreso del vehículo al país. Estos estándares de emisión se hacían más estrictos para los vehículos que habían ingresado al país durante los últimos años. En Guatemala muchos de los vehículos que ingresan al país son usados, y la gran mayoría de éstos vienen conducidos por carretera desde los Estados Unidos. Debido a las estrictas leyes que tiene ese país, estos vehículos comúnmente ya vienen equipados con un equipo de control de emisión, pero es altamente probable que ya no sirvan debido al alto kilometraje que tienen. Por consiguiente, durante buena parte del año no era difícil encontrar un automóvil modelo 87 (por ejemplo) ingresado en 1995, al

cual sin importar qué mejoras se le hicieran, no pasaba la prueba de emisiones (los modelos 80's son por lo general motores carburados, que por la fecha de ingreso, se clasificaban junto a los motores último modelo de los 90's que por lo general son inyectados, de control electrónico, y con un sistema de emisiones en mejor estado). Esta circunstancia originó un gran descontento y rechazo de la población hacia el Programa de Control de Emisiones. Se llegó a tal punto que se derogó el acuerdo 14-97 por parte del ejecutivo. El Programa es en sí muy positivo y necesario, pero la forma de implantarlo no fue la adecuada, porque nadie se preocupó por educar a la población acerca de los objetivos del programa, divulgándolos por medio de una publicidad adecuada y con suficiente anticipación. La ciudadanía tiene que saber qué está haciendo, y por qué lo está haciendo, y por sobre todo es necesario implementar el programa de acuerdo a nuestra realidad. Con esto en mente, la nueva propuesta para el reglamento de control de emisiones vehiculares (que fue elaborada por representantes del Ministerio de Gobernación, del Ministerio de Finanzas Públicas, y de Conama) ya no clasifica los vehículos de acuerdo a la fecha de ingreso al país, ahora se toma el año/modelo del automóvil. También se modificó la normativa, al contar con tres normas en vez de dos. Ahora es más fácil pasar la prueba que antes. Claro, esto no es muy ecológico que digamos, pero se llegan a cumplir varios objetivos eminentemente sociales que no se tomaron en cuenta con anterioridad, estos son: que el Programa tenga aceptación entre la población, acostumbrar a las personas al control y certificación de sus vehículos, y dar un poco de tiempo mientras se educa correctamente a la ciudadanía y se renueva la flota vehicular de Guatemala, los nuevos vehículos ya entrarán con normas más estrictas.

11. El éxito de un Programa de Control de Emisiones descansa en la concientización que se haga en la población. Esta concientización solo se demuestra mediante la certificación masiva de los vehículos en el territorio nacional (certificando al menos 95% de ellos). Esto no va a ocurrir de la noche a la mañana, por lo que de momento debe educarse a la población mediante una campaña de información adecuada.
12. Para ejecutar el Programa de Control de Emisiones se necesitan métodos y equipos especializados. En la actualidad el Control de Emisiones utiliza una de las dos pruebas siguientes: La Prueba Dinámica ó la Prueba Estática. La prueba Dinámica simula las condiciones reales del manejo en ambientes urbanos de una manera más exacta que lo que lo hace la prueba Estática. Por lo tanto, los resultados obtenidos de la prueba Dinámica son mucho más confiables que los obtenidos usando la prueba Estática. En Guatemala sin embargo, se ha optado por utilizar la prueba Estática para el Control de Emisiones Vehiculares. La razón de esto es muy simple: el precio del equipo necesario en la prueba Estática es sólo una fracción del valor del equipo utilizado para la prueba Dinámica. Esto dejaría el Control de Emisiones Vehiculares de Guatemala en las manos de unos pocos talleres, que puedan costear esta clase de equipo.

13. Es necesario promover y exigir el uso generalizado de gasolinas reformuladas en Guatemala. Las gasolinas reformuladas tienen lineamientos más estrictos en torno a los constituyentes tóxicos que tienen las gasolinas normales. Esta reforma puede realizarse únicamente a nivel Centroamericano. La razón de esto es de que la gasolina que se importa hacia Guatemala viene en buques petroleros junto con la que se destina hacia los otros países de la región, por lo que requerirá un esfuerzo conjunto del Parlamento Centroamericano.
14. Desde un punto de vista totalmente ambiental, se debería reorganizar el flujo vehicular de la ciudad capital. El aumento de la población hacia la ciudad capital agudiza el problema de contaminación. Debería promoverse y utilizarse el transporte público como medio de transporte menos contaminante que el transporte individual.
15. Es necesaria la creación en Guatemala de un Consejo Nacional del Aire, que es una organización oficial que velará por la calidad del aire a nivel nacional. Ya existen consejos similares para la protección de otros recursos naturales, por lo que el seguir ese ejemplo, se podría mejorar el Programa si éste está a cargo de una entidad con mayor autonomía.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- Faiz, A.; Weaver, C.S.; Walsh, M.P. Air Pollution from Motor Vehicles. Standards and Technologies for Controlling Emissions. The World Bank. Washington, D.C. U.S.A. 45 pp.  
1996
- Fitzgerald, A. Manual de Mantenimiento del Motor del Automóvil. México. Fuentes Hnos. 1984 192 pp.
- Garoz, J. "Consecuencias de la combustión incompleta en la contaminación del aire". Revista de la Universidad del Valle de Guatemala. 1 - 7.  
1997
- Gilardi, J. Motores de Combustión Interna. San José (Costa Rica), Editorial IICA. 133 pp.  
1978
- Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Proyecto monitoreo emisiones automotores ciudad Guatemala - Informe anual 1998. 18 pp.  
1999
- Heywood, J. B.; J. R. Heywood. Internal Combustion Engine Fundamentals. 2nd. ed. New York, 1988 McGraw-Hill. 930 pp.
- Koenigsberger, R. Ingeniería eléctrica 2. Guatemala. 137 pp.  
1986
- Manual Swisscontact: alimentación de combustible por inyección en motores a gasolina.  
1993 Programa Ecológico para Centroamérica. Guatemala. 22 pp.
- Manual Swisscontact: aspectos relacionados con gases y ambiente. Programa Ecológico para  
1993 Centroamérica. Guatemala. 11 pp.
- Manual Swisscontact: bombas de alimentación. Programa Ecológico para Centroamérica.  
1993 Guatemala. 10 pp.
- Manual Swisscontact: filtros. Programa Ecológico para Centroamérica. Guatemala. 5 pp.  
1993
- Manual Swisscontact: inyectores diesel. Programa Ecológico para Centroamérica. Guatemala.  
1993 2 pp.
- Manual Swisscontact: lubricantes. Programa Ecológico para Centroamérica. Guatemala. 10 pp.  
1993
- Manual Swisscontact: motor diesel, funcionamiento. Programa Ecológico para Centroamérica.  
1993 Guatemala. 6 pp.
- Manual Swisscontact: poner a tiempo bombas. Programa Ecológico para Centroamérica.  
1993 Guatemala. 5 pp.
- Manual Swisscontact: precalentamiento. Programa Ecológico para Centroamérica. Guatemala.  
1993 10 pp.
- Manual Swisscontact: sistemas de emisión de gases. Programa Ecológico para Centroamérica.  
1993 Guatemala. 114 pp.

- Manual Swisscontact: sistemas de encendido. Programa Ecológico para Centroamérica.  
1993 Guatemala. 16 pp.
- Onursal, B; Gautam, S.P. Vehicular Air Pollution. Experiences from Seven Latin American Urban Centers. The World Bank. Washington, D.C.; U.S.A. 37 pp.  
1997
- Perkins, H. Air Pollution. New York. McGraw-Hill. 407 pp.  
1974
- Toledo, J. La Gasolina sin plomo, el medio ambiente, y la economía. Prólogo de Jürg Grütter.  
1993 Guatemala. Patrocinado por el Programa Ecológico para Centroamérica (Pro Eco) de Swisscontact. 219 pp.
- \_\_\_\_\_; Control de la contaminación del aire. Prólogo de Jürg Grütter. Guatemala.  
Patrocinado  
1996 por el Programa Ecológico para Centroamérica (Pro Eco) de Swisscontact. 104 pp.
- Stern, A. Air Pollution. Volume II: The Effects of Air Pollution. Third edition. New York.  
1977 Academic Press. 684 pp.
- Suiza. Fundación Suiza de Cooperación al Desarrollo Técnico SWISSCONTACT. Manual de control de emisión de gases - motores a gasolina. Prólogo de Jürg Grütter. 25 PP.  
1994
- Suiza. Fundación Suiza de Cooperación al Desarrollo Técnico SWISSCONTACT. Manual de control de emisión de gases - motores diesel. Prólogo de Jürg Grütter. 25 PP.  
1994
- United States of America. California Environment Protection Agency. California Reformulated Gasoline Project. Air Resources Board, Sacramento, California. 43 pp.  
1994
- World-Wide Fuel Charter. American Automobile Manufacturers Association (AAMA),  
1998 European Automobile Manufacturers Association (ACEA), Japan Automobile Manufacturers Association (JAMA). September 3. 21 pp.

## APÉNDICE A

Tablas de propiedades de los combustibles Gasolina y Diesel  
usados en Guatemala.

Tabla A 3.1  
Requisitos físicos y químicos del combustible diesel.

Requisito	Especificación	Método ASTM
Gravedad (grados) API, a 15.56 °C (60 °F), mínimo	30	D-287/D-1298
Viscosidad cinemática, en milímetros cuadrados por segundo (segundo saybolt universal) a 37.78°C (100°F), mínimo - máximo	1.99-4.29 (32.6-40.1)	D-88/D445
Corrosión de la tira de cobre, 3 h a 50 °C (122 °F) número de clasificación, máximo	No. 3	D-130
Número de Cetano mínimo	40*	D-613
Índice de Cetano, calculado, mínimo	45**	D-976
Punto de Turbidez, en grados Celsius (grados Fahrenheit), máximo	-3.0 (26.6)	D-2500/D3117
Punto de derrame o de fluidez, en grados Celsius (grado Fahrenheit), máximo	-6.67 (20.0)	D-97
Punto de Inflamabilidad, en grados Celsius (grado Fahrenheit), mínimo	51.67 (125)	D-93

Contenido de agua y sedimento, en porcentaje en volumen, máximo	0.05	D-2709
Contenido de azufre, en porcentaje en masa, máximo	0.5***	D-2622/D-1266/D-129
Residuo de carbón, Ramsbottom determinado en el 10% del residuo de destilación, en porcentaje en masa, máximo	0.35	D-524
Cenizas, en porcentaje en masa, máximo	0.01	D-482
Características de destilación del producto a una presión de 101.325 KPa (760 mm de Hg.): a) Temperatura al recuperar el destilado 90%, en grados Celsius (grado Fahrenheit) mínimo-máximo	282.22-350 (540-662)****	D-86

\* Valor modificado en 1996.

\*\* Podrá aceptarse un valor de 40 previa autorización de la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas.

\*\*\* En circunstancias especiales, este valor podrá ser mayor de 0.5%, previa autorización de la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas.

\*\*\*\* Este valor podrá llegar hasta 350°C (662°F) previa autorización de la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas.

Fuente: Especificaciones mínimas de Calidad según acuerdo 180-85 del Ministerio de Energía y Minas.

Tabla A 3.2  
Requisitos físicos y químicos de la gasolina superior

Requisito	Especificación	Método ASTM
Color	Rojo	Visual
Gravedad (grados) API, a 15.56°C (60°F), mínima.	55.0	D-1298/D-287
Número de octano (RON), mínimo.	95.0	D-2699
Presión de vapor Reid a 37.78°C (100°F), en Kilopascuales (libras por pulgada cuadrada), máxima.	68.948 (10)	D-323
Estabilidad a la oxidación, en minutos, mínima.	240.0	D-525
Corrosión de la tira de cobre 3 h a 50°C (122°F), número de clasificación, máximo.	No. 1	D-130
Prueba doctor.	Negativa	D-484
Gomas existentes, en miligramos por cada 100 ml, máximo.	4.0	D-381
Contenido de tetraetilo de plomo, en gramos por litro, máximo.	0.013*	D-3341/D-2547/D2599
Contenido de azufre, en porcentaje en masa, máximo.	0.15	D-1266/D-2622
Contenido de azufre, como mercaptano, en porcentaje en masa, máximo.	0.005	D-3227
Características de destilación del producto a una presión de 101.325 KPa (760 mm):		
a) Temperatura al haberse evaporado un 10%, en grados Celsius (grados Fahrenheit), mínima-máxima.	50.0-66.67 (122-152)	D-86

\* Máximo permitido según acuerdo gubernativo OM. 082-91

Fuente: Especificaciones mínimas de Calidad según acuerdo 180-85 del Ministerio de Energía y Minas.

Tabla A.3.3  
Requisitos físicos y químicos de la gasolina regular

Requisito	Especificación	Método ASTM
Color	Anaranjado	Visual
Gravedad (grados) API, a 15.56°C (60°F), mínimo.	55.0	D-1298/D-287
Número de octano (RON), mínimo.	87.0	D-2699
Presión de vapor Reid a 37.78°C (100°F), en Kilopascuales (libras por pulgada cuadrada), máxima.	68.948 (10)	D-323
Estabilidad a la oxidación, en minutos, mínima.	240.0	D-525
Corrosión de la tira de cobre 3 h a 50°C (122°F), número de clasificación, máximo.	No. 1	D-130
Prueba doctor.	Negativa	D-484
Gomas existentes, en miligramos por cada 100 ml, máximo.	4.0	D-381
Contenido de tetraetilo de plomo, en gramos por litro, máximo.	0.013*	D-3341/D-2547/D2599
Contenido de azufre, en porcentaje en masa, máximo.	0.15	D-1266/D-2622
Contenido de azufre, como mercaptano, en porcentaje en masa, máximo.	0.005	D-3227
Características de destilación del producto a una presión de 101.325 KPa (760 mm):		
a) Temperatura al haberse evaporado un 10%, en grados Celsius (grados Fahrenheit), mínima-máxima.	50.0-66.67 (122-152)	D-86

\* Máximo permitido según acuerdo gubernativo OM 082-91

Fuente: Especificaciones mínimas de Calidad según acuerdo 180-85 del Ministerio de Energía y Minas.

## APÉNDICE B

## Tablas de Fallas y Averías de los Motores de Combustión Interna.

Tabla B 6.1  
Problemas de Combustión según la apariencia de las Bujías.

Apariencia	Descripción	Causas
Uso Normal	En el electrodo de la bujía se encuentran residuos de coloración marrón claro.	Es la indicación de que la bujía ha estado operando correctamente. Aunque aplique las bujías correctamente, poco a poco se forman estos sedimentos que reducen el rendimiento de la bujía. Estos sedimentos pueden ser limpiados.
Carbonizado	Se acumula carbón (color negro) en la punta del electrodo, por lo que en el aislador ocurrirán fugas de voltaje lo que origina problemas en el tiempo y la marcha. Cuando se presenta este caso el motor ha estado operando por debajo de los 450°C.	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Mezcla aire/combustible muy rica debido a un ajuste incorrecto de la alimentación en el carburador o sistema de inyección.</li> <li>&gt;Sistema de inyección defectuoso.</li> <li>&gt;Se da una marcha en vacío prolongada.</li> <li>&gt;La bujía se mantiene demasiado fría.</li> </ul>
Sobre calentamiento	La superficie del aislador en la punta del electrodo tiene una coloración blanca con sedimentos moteados. Cuando la temperatura de la bujía excede los 870°C, la punta actúa como fuente de calor, encendiendo la mezcla antes de la chispa, se ocasiona así una combustión anormal y se daña el motor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;El tiempo de encendido está muy adelantado.</li> <li>&gt;La mezcla aire/combustible es demasiado pobre.</li> <li>&gt;El sistema de inyección de combustible está defectuoso.</li> <li>&gt;Insuficiencia de agua de enfriamiento y/o lubricantes.</li> <li>&gt;Insuficiente apriete en las bujías.</li> <li>&gt;Sedimentos acumulados en la cámara de combustión.</li> <li>&gt;Bujías demasiado calientes.</li> </ul>
Depósitos	Si se acumulan depósitos de coloración distinta en la punta del electrodo de encendido, la temperatura de ignición se elevará demasiado, iniciando prematuramente el encendido y dañando el pistón.	>Mal ajuste de la mezcla combustible.
Vida Normal	Tiene una apariencia desgastada, con una moderada sedimentación en la punta del electrodo. Las bujías tienen dificultad de producir la chispa, con lo que no se mantendrá la potencia desarrollada por el motor, incrementando el gasto de combustible.	>Las bujías tienen un tiempo normal de vida de aproximadamente 10,000 Kms. Después de este tiempo es necesario reemplazarlas.

Tabla B 6.2  
Localización de defectos del Sistema de Alimentación por Inyección L/LE-Jetronic

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Causa	Medida de Corrección
•	•								combinación de relé defectuosa	pruebe las conexiones de tensión
•									la bomba de combustible no gira	fusible defectuoso, pruebe los potenciales de las conexiones, cambie la bomba
•									válvula de arranque no abre	pruebe la resistencia debe ser de aproximadamente 4 ohmios
•		•			•		•		válvula de arranque mal ajustada	pruebe la impermeabilidad con ayuda de presión
•									termointerruptor temporizado defectuoso	pruebe la conexión
•	•		•						válvula de aire adicional no abre	pruebe motor caliente, y motor frío con el diafragma cerrado
		•							válvula de aire adicional no cierra	pruebe el motor caliente - diafragma cerrado
•			•		•	•	•	•	medidor de caudal de aire defectuoso	pruebe la facilidad de movimiento de la aleta de la sonda
	•								contacto de bomba en el medidor de caudal de aire defectuoso	pruebe la resistencia
•		•	•					•	sistema de aspiración mal ajustado	pruebe todas las conexiones de los agregados y de los tubos con vistas a la impermeabilidad
•		•			•	•		•	válvulas de inyección defectuosas	pruebe las vibraciones de las válvulas sondeando con las manos
•		•				•		•	presión del combustible más bajo ó cero	pruebe la presión, el filtro, los tubos de combustible y el regulador de presión
					•		•		presión del combustible más alto	pruebe la conexión entre el regulador de presión y el tubo de aspiración; el tubo al depósito está obstruido, regulador defectuoso

•	•				•		•		sonda térmica defectuosa	prueba la resistencia
		•							mariposa no cierra	elimine la inmovilidad y ajuste la mariposa
						•			mariposa no abre completamente	véase más arriba
				•					masa mala, contactos están flojos, conexiones defectuosas	elimine las fallas
•	•	•	•	•	•	•	•	•	interrupción de los cables	elimine las fallas
			•		•	•			interruptor de mariposa defectuoso	pruebe el ajuste y el contacto de ralenti y el contacto de plena carga
					•		•		mezcla muy rica	ajuste la mezcla de aire y combustible con ayuda del tornillo de ajuste de la mezcla en ralenti
		•						•	mezcla muy pobre	ajuste la mezcla de aire y combustible con ayuda del tornillo de ajuste de la mezcla en ralenti.

1. El motor no arranca
2. El motor arranca y para después
3. Ralenti inestable
4. Mala aceptación de la mezcla
5. Interrupciones de motor para toda carga
6. Cantidad de combustible muy elevado
7. No hay una potencia final
8. El valor de CO en ralenti es muy elevado
9. El valor de CO en ralenti es muy bajo

Tabla B 6.3  
Tabla de Diagnóstico Visual de Fallas en la Combustión del Motor Diesel.

Color de Humo	Anomalia	Causas Probables
Negro	Combustión Incompleta	<b>FILTRO DE AIRE</b> Limpieza o cambio Verificar funcionamiento del indicador de obstrucción <b>TURBO ALIMENTADOR</b> Verificar estado de funcionamiento Pérdida en la tubería que une el turbo a los cilindros Estanqueidad del post-enfriador <b>ESCAPE</b> Dimensionamiento no original Obstrucciones Fugas <b>FRENO MOTOR</b> Verificar funcionamiento <b>VÁLVULAS</b> Ajuste de juegos Revisar guía de válvulas <b>INYECTORES</b> Calibración Pulverización Estanqueidad Apriete de porta-inyectores <b>BOMBA INYECTORA</b> Verificar valores de reglaje conforme tablas Controlar las conexiones del compensador de altura <b>SINCRONIZACIÓN DE LA INYECCIÓN</b> Verificar punto de inicio de inyección <b>COMPRESIÓN</b> Verificar la presión mínima recomendada
Azul	Exceso de Aceite en la Cámara de Combustión	<b>NIVEL DE ACEITE</b> Verificar nivel correcto <b>CILINDRO DE MOTOR/ANILLOS</b> Verificar estado de anillos <b>COMPRESIÓN</b> Prueba de fugas
Blanco	Combustible no quemado o Agua en la Cámara	<b>TEMPERATURA BAJA DEL MOTOR</b> Verificar funcionamiento de la válvula termostática <b>ENTRADA DE AGUA A LOS CILINDROS</b> Verificar si no hay fisuras de fallas en las juntas de sello <b>COMBUSTIBLE CONTAMINADO</b> Drenar el tanque de combustible Limpiar el filtro de combustible <b>SINCRONIZACIÓN DE LA INYECCIÓN</b> Verificar el punto de inicio de inyección <b>COMPRESIÓN</b> Verificar la presión mínima recomendada

## APÉNDICE C

## Tablas de Análisis de Gases.

Tabla C 7.1  
Análisis de Monóxido de Carbono

Condición	Contenido de CO	Contenido demasiado alto	Contenido demasiado bajo
Ralenti	Si no hay indicaciones del fabricante, rige lo siguiente: 0.5%-3.0% vol. Para vehículos con catalizador.	Ajuste incorrecto de la mezcla, la presión del combustible puede ser demasiado alta, el motor no está caliente aún, o las condiciones de ensayo prescritas no están siendo cumplidas.	Se tiene un ajuste incorrecto de la mezcla, la presión de combustible es demasiado baja, las condiciones de ensayo prescritas no están siendo cumplidas, o se tiene un error en la medición.
		Carburación: El filtro de aire está demasiado sucio, el nivel del flotador está demasiado alto, motor de arranque defectuoso.	Carburación: Nivel del flotador demasiado bajo.
		Inyección Electrónica: Sonda térmica dañada, el codificador/interruptor está colocado incorrectamente, o el medidor del caudal de aire está defectuoso.	Inyección Electrónica: Las válvulas de inyección están sucias, el codificador/interruptor está colocado incorrectamente.
Carga Parcial	Si no hay indicaciones del fabricante, rige lo siguiente: 0.1-1.5% vol. Para vehículos con catalizador.	La presión del combustible está demasiado alta, el motor no está a la temperatura de servicio.	La presión del combustible está demasiado baja. Si se tienen fallos del motor estando en marcha, es por cuerpos extraños en el depósito de combustible, el sistema de ventilación del depósito de combustible podría estar defectuoso.
		Carburación: El filtro de aire está muy sucio, el nivel del flotador demasiado alto, válvula de enriquecimiento defectuosa, o el motor de arranque defectuoso.	Carburación: El nivel del flotador está demasiado bajo.
		Inyección Electrónica: Sonda térmica defectuosa, regulador para la marcha de calentamiento defectuoso, el codificador/interruptor colocado incorrectamente.	Inyección Electrónica: Válvulas de inyección sucias, regulador para la marcha de calentamiento defectuoso.

A plena Carga	Si no hay indicaciones del fabricante rige lo siguiente: 1.0-6.0% vol. Para vehiculos con catalizador.		El filtro de combustible está sucio, puede tenerse un cuerpo extraño en el depósito de combustible, el sistema de ventilación del depósito de combustible podría estar defectuoso.
		Carburación: Presión del combustible demasiado alta, nivel del flotador demasiado alto, motor de arranque defectuoso, filtro de aire sucio, tiempos de control de válvula ajustados incorrectamente.	Carburación: Presión de combustible demasiado baja, nivel del flotador demasiado bajo.
		Inyección Electrónica: Presión del sistema muy alta, sonda térmica defectuosa, regulador para la marcha de calentamiento defectuoso, codificador/interruptor colocado incorrectamente.	Inyección Electrónica: Presión del sistema demasiado baja, válvulas de inyección sucias, regulador de la fase de calentamiento defectuoso, codificador/interruptor colocado incorrectamente, el enriquecimiento a plena carga no funciona.
Aceleración	Si no hay indicaciones del fabricante, rige lo siguiente: 1.0-3.0% vol.	Carburación: Bomba de aceleración ajustada incorrectamente o defectuosa, aceite muy espeso en el motor.	
	Para vehiculos con catalizador.		Inyección Electrónica: Potenciómetro de la sonda volumétrica de aire o potenciómetro de la mariposa defectuoso, la sonda del medidor del caudal de aire defectuoso.

Tabla C 7.2  
Análisis de Gases

Valor CO <sub>2</sub>	Valor CO	Valor HC	Resultado	Información
Muy elevado	Escaso	Muy escaso	Combustión óptima de la mezcla, sistema de escape obstruido.	Revise el tubo de escape con los silenciadores y el catalizador.
Escaso	Muy escaso	Elevado	Combustión mala, mezcla demasiado pobre.	Ajuste la mezcla, colector múltiple de admisión con entrada de aire.
Escaso	Escaso	Escaso	Combustión correcta, sistema de escape con fugas.	Revise el tubo de escape.
Escaso	Escaso	Muy elevado	Fallas de encendido. (utilizar el osciloscopio) Éxcesivo escape de gases de los cilindros.	Revisar el sistema de encendido, medir compresiones.
Escaso	Elevado	Elevado	Combustión mala, mezcla demasiado rica.	Ajuste la mezcla, revise el sistema de admisión, excesiva pérdida de compresiones.
Escaso	Elevado	Muy elevado	Combustión mala, mezcla demasiado rica.	Revisar el sistema de admisión.

Tabla C 7.3  
Comprobación del Funcionamiento del Catalizador

Función del Catalizador			
muy alta	cero	Extremadamente baja	Motor en orden, regulación lambda funcionando, catalizador en orden.
marcadamente bajo el valor límite	sobre cero	sobre el valor límite	El motor tiene fallos o la regulación lambda no funciona; catalizador defectuoso o el motor y el catalizador no están a la temperatura de servicio.

## APÉNDICE D

Tablas de los listados generales del Control de Emisiones en Guatemala proporcionados por la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Tabla D 8.1  
Tabla de la cantidad total de Vehículos (Gasolina y Diesel) sometidos al Control de Emisiones previo a la obtención del Certificado durante los meses de Enero a Diciembre de 1998.

No.	TALLER	APROBADOS	RECHAZADOS	ANULADOS
1	SERVIAUTOS SAN JUAN	42	63	8
2	A.T.S. S.A.	1080	342	53
3	CANELLA S.A.	1877	30	185
4	COFAL REFORMA S.A.	1450	37	72
5	COFAL CENTRAL S.A.	3272	99	99
6	TALLER LAS AMERICAS	1268	523	6
7	REPARAUTOS	1635	10	14
8	SIEBOLD	2263	332	12
9	CENTRO DE SERVICIOS HERNANDEZ	158	79	6
10	TUNE-UP ELECTRONICO	720	173	3
11	DIVISA	508	12	8
12	TALLER DE MECANICA VALDEZ	1364	41	58
13	AUTOPIEZAS	1052	4	41
14	R. A. NICOL	471	206	16
15	Mr. MAGIC CAR WASH	743	124	23
16	MECANICA GENERAL AVANZADA	209	0	17
17	DICORSA 1	1007	13	41
18	DICORSA 2	907	0	28
19	LLANTERA GIGANTE	576	91	9
20	CIASA (CIDEA)	3309	102	48
21	FUERTEQUIPO	613	70	13
22	SERVICOLT, S.A.	2085	169	58
23	DISFRAL/ECOAUTO	905	176	16
24	TALLERES VELASQUEZ	28	10	0
25	TECNIDIESEL S.A.	899	80	44
26	SERMANSÁ	318	104	55
27	LUBRIAUTOS	506	20	3
28	DIVEMO	1340	56	19
29	CONTINENTAL MOTORS	1542	159	8
30	MOTOR BODY	465	135	21
31	PAMPLONA	993	81	20
32	RAYO ELECTRICO	1343	185	8
33	DIDEA S.A.	2101	294	52
34	TALLER EL ESFUERZO	511	106	9
35	SERVICIO TECNICO AUTOMOTRIZ (STA)	442	64	10

36	DONALD EXPRESS	121	31	1
37	ASERCO	118	20	12
38	MULTIKAR	846	175	47
39	DOSIVELOZ	1109	45	11
40	FAENCASA	643	349	35
41	DICASA	281	9	17
42	SEREGUA	1498	211	20
43	SERVICIOS GOLIAT	386	154	19
44	PLAZA AUTOMOTRIZ	365	61	8
45	RESCATEL	64	29	1
46	AUTOMECANICA CALDERON	426	154	27
47	VIMECO	334	27	11
48	CARIBE MOTORES	440	9	5
49	OL MOTORS	521	236	24
50	SERVICIO MECANICO MAJUPANY	300	58	5
51	TALLERES URRUTIA (Zacapa)	276	77	7
52	SERGIOS S.A. (San Marcos)	25	5	1
53	FISHER Y CIA, S.A.	516	34	2
54	AUTOBEL	215	32	3
55	AUTOMARINA, S.A.	120	16	6
56	WEN CAR	91	13	5
57	ESTACION MORJAN	383	49	3
58	AUTOSERVICIOS PROFESIONALES S.A.	222	26	15
59	PROFRENO	706	262	54
60	TATO'S STATION	1253	175	7
61	LULO'S (Quetzaltenango)	159	29	2
62	COMERCIAL RC	140	33	26
63	COMERCIAL AMERICA	647	90	10
64	SERVINISSAN, S.A.	504	45	22
65	SERVICAR GUDIEL	385	111	3
66	PUENTE NUEVO	403	78	13
67	AUTOPOWER	29	10	1
68	ECONOLLANTAS SARAT	246	34	2
69	SERVIFAST	41	1	1
70	ESTACION SHELL CAMPO ALEGRE	34	0	2
71	CIMA	68	36	2
72	PROLIMSER	210	1	2
	TOTAL	52127	6715	1515

Tabla D 8.2  
Listado General de los Centros Autorizados para el  
Control de Emisión de Gases en Guatemala

El aire es un bien de todos, protejámoslo



**CONAMA**

Comisión Nacional del Medio Ambiente



Oxígeno para el futuro

**LISTADO DE CENTROS DE CONTROL DE EMISIONES**

No.	TALLER	DIRECCION	TEL.	COMBUST
0	AUTOMOTRIZ R.A. NICOL, S.A.	4a. Avenida 14-55 Zona 1	2301937	Gasolina
1	CORPORACION RESCATEL	2a. Avenida 4-05 Zona 2 El Zapote	2202846	Gasolina
2	CENTRO DE SERVICIO HERNANDEZ	20 Calle 3a. Avenida Zona 3	2321365	Diesel y Gasolina
3	CENTRO DE SERVICIO SIEBOLD	7a. Avenida 2-30 Zona 4	3323031	Gasolina
4	MOTOR BODY AUTOMOTIVE	Ruta 5 2-55 Zcna 4	3320634	Gasolina
5	SERVICIOS GOLIAT	6a. Avenida 9-69 Zona 4	3344622	Gasolina
6	VIMECO	Ruta 6 (Calle Mariscal Cruz) 9-04 Zona 4	3310084	Gasolina
7	COFAL S.A.	10 Avenida 31-71 Zona 5	3314222	Diesel y Gasolina
8	AUTOMECANICA CIDEA	11 Avenida 30-30 Zona 5	3327705	Diesel y Gasolina
9	TALLERES TOLEDO	11 Avenida 32-04 Zona 5	3327291	Gasolina
10	DIVEMO	10a. Avenida 30-11 Zona 5	3348164	Diesel y Gasolina
11	TALLERES VELASQUEZ	30 Calle 13-34 Zona 5	3320742	Gasolina
12	AUTOSERVICIOS COFAL, S.A.	10a. Avenida 31-71 Zona 5	3314222	Gasolina
13	TUNE UP ELECTRONICO	Calz. San Juan 32-07 Zona 7	5924723	Gasolina
14	FAENCASA (HINO)	Calz. San Juan 11-95 Zona 7	4735867	Diesel
15	FUERTE EQUIPO 2	Calz. Roosevelt 13-66 Zona 7	4713660	Diesel y Gasolina
16	AUTOSERVICIOS PROFESIONALES	12 Avenida "A" 0-43 Zona 7 Int. 79	4400849	Gasolina
17	TALLER DE MECANICA VALDEZ	8a. Calle 22-85 Zona 7	4741558	Gasolina
18	SERVICAR GUDIEL	Antigua Carretera a Mixco 48-32 Zona 7	5976845	Gasolina
19	AUTOARSA	8a. Calle "A" 3-64 Zona 7 Tikal II	5934033	Gasolina
20	LLANTERA GIGANTE	8a. Avenida 32-01 Zona 8	4403686	Gasolina
21	A.T.S.	4a. Avenida 8-10 Zona 9	3340207	Diesel y Gasolina
22	DIDEA	1a. Calle 7-69 Zona 9	3346329	Diesel y Gasolina
23	SERVICOLT S.A.	1a. Avenida 9-18 Zona 9	3342858	Diesel y Gasolina
24	DICORSA	6a. Calle 6-47 Zona 9	3343417	Gasolina
25	CONTINENTAL MOTORES	Blvd. Liberación 5-45 Zona 9	3320548	Gasolina

26	TECNIDIESEL	2a. Calle 4-31 Zona 9	3312894	Diesel y Gasolina
27	COMERCIAL AMERICA	4a. Calle 1-22 Zona 9	3604249	Gasolina
28	AUTOPOWER S.A.	5a. Avenida 14-14 Zona 9	3343885	Gasolina
29	AUTOLASER	5a. Avenida 4-10 Zona 9	3326622	Gasolina
30	OL MOTORS S.A.	19 Avenida 14-53 Zona 10	3655113	Gasolina
31	PROLIMSER S.A.	20 Calle 8-47 Zona 10	3373404	Gasolina
32	AUTOBEL	15 Sv. 17-34 Zona 10	3372623	Gasolina
33	FUERTE EQUIPO 3	Bvld. Los Próceres 17-66 Zona 10	3635090	Diesel y Gasolina
34	SERVICIOS Y MANTENIMIENTOS	Bvld. Liberación 1-87 Zona 10	3602670	Gasolina
35	TALLER LUBRIAUTOS	7a. Calle 4-76 Zona 10	3617961	Gasolina
36	ASERCO	Bvld. Los Próceres 19-24 Zona 10	3374288	Diesel y Gasolina
37	REPARAUTO, S.A.	46 Avenida "A" Km. 14 Calz. Roosevelt Zona 11	5922060	Diesel y Gasolina
38	AUTOPIEZAS S.A.	19 Avenida 5-32 Zona 11	4714977	Gasolina
39	FUERTE EQUIPO 1	Calz. Aguilar Batres y 48 Calle Zona 11	4773250	Diesel y Gasolina
40	FISCHER Y CIA. S.A.	Calz. Aguilar Batres 32-00 Zona 11	4763671	Diesel y Gasolina
41	DISAGRO	Anillo Periférico 17-36 Zona 11	4733314	Diesel y Gasolina
42	SEREGUA	Calle Mercedes Benz 7-19 Zona 11	4765786	Diesel y Gasolina
43	AUTOMECANICA CIDEA	12 Avenida 13-27 Zona 11	4733305	Gasolina
44	AUTOMECANICA CALDERON	14 Avenida 0-34 Zona 11 Carabanchel	4403681	Gasolina
45	MR. MAGIC SERVICE CENTER	Calz. Aguilar Batres 41-06 Zona 11	4771030	Diesel y Gasolina
46	PLAZA AUTOMOTRIZ	Calz. Roosevelt 18-23 Zona 11	4743127	Diesel y Gasolina
47	CARIBE MOTORES S.A.	17 Avenida 25-29 Zona 11	4768236	Gasolina
48	DICORSA	8a. Calle 17-51 Zona 12	4717591	Diesel y Gasolina
49	DOSIVELOZ	4a. Avenida 13-05 Zona 12	4744475	Diesel
50	PROFRENO	Aguilar Batres 29-51 Zona 12	4762839	Gasolina
51	ECOAUTO	Avenida Petapa 35-01 Zona 12	4765080	Gasolina
52	AUTO TALLER EL ESFUERZO	13 Avenida 16-46 Zona 12	4733932	Gasolina
53	AUTO SERVICIO EPIME	14 Avenida 20-01 Zona 12	4733225	Gasolina
54	S.T.A.	9a. Calle 19-63 Zona 13	3683129	Gasolina
55	TALLERES PAMPLONA S.A.	3a. Calle 5-36 Zona 13	4715371	Diesel y Gasolina
56	RAYO ELECTRICO	7a. Avenida 2-12 Zona 13	4720124	Gasolina
57	CANELLA MAUTO	10a. Avenida 26-70 Zona 13	3332270	Diesel y Gasolina
58	HONDA	10 Avenida 26-30 Zona 13	3322421	Gasolina
59	MECANICA GENERAL AVANZADA	5a. Calle 6-35 Zona 13	4736318	Gasolina
60	TALLER LAS AMERICAS	Avenida Hincapié 1-63 Zona 13	3323668	Gasolina
61	SERVIFAST	18 Avenida "A" 1-65 Zona 15 V.H. II	3657280	Gasolina
62	COMERCIAL R.C.	1a. Avenida 8-92 Zona 21, Col. Covi-Hode	4493252	Gasolina
63	MAJUPANY	Calz. San Juan 2-43 Zona 4 de Mixco Col. Monteverde	5924792	Gasolina
64	TALLERES URRUTIA	16 Avenida 9-30 Zona 1 Zacapa	9410395	Diesel y Gasolina
65	TATO STATION	17 Avenida 1-48 Zona 4 Mixco, Valle de Sol	5973645	Gasolina
66	WENCAR	8a. Avenida "A" 0-56 Zona 2 Mixco	5954462	Gasolina
67	AUTOMARINA S.A.	Km. 15 Carretera al Pacifico 1064 Villa Nueva	6312034	Gasolina
68	ESTACION SHELL CAMPO ALEGRE	2a. Avenida 17-01 Zona 4 Santa Cruz del Quiché	7551089	Diesel y Gasolina
69	ESTACION MORJAN	4a. Calle 1a. Avenida Antigua Guatemala	8322940	Gasolina
70	TALLERES LULOS	Av. Jesús Castillo y Calle "B" 1-12 Z. 1 Quetzaltenango	7650601	Diesel y Gasolina
71	LLANTAS PUENTE NUEVO S.A.	1a. Calle 15-11 Zona 1 Cobán Alta Verapaz	9513016	Diesel y Gasolina
72	DICASA	Km. 15.5 Carretera al Pacifico Villa Nueva	6360725	Diesel
73	SERVIAUTOS SAN JUAN	7a. Avenida 0-26 Zona 2 San Juan Sacatepéquez	3602131	Diesel y Gasolina
74	ECONOLLANTAS SARAT	Calz. San Juan 48-79 Zona 3 de Mixco Col. El Rosario	5933612	Gasolina
75	MULTIKAR	Km. 13.7 Carretera a El Salvador Puerta Parada	6346411	Diesel y Gasolina
76	SERCASA	Lote 11 "A" Sector LB-6 Ciudad San Cristóbal	3354661	Gasolina
77	AUTOSPRINT/MSA	Carretera Roosevelt Km. 14 No. 5-70 Zona 2 Mixco	5954903	Gasolina
78	SERVICIOS PARA AUTOS EN GENERAL	5a. Calle 3-60 Zona 2 Malacatán San Marcos	7769241	Gasolina