

31  
29.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN

**“COMPORTAMIENTO EN EL MOTOR  
Y CONSECUENCIAS EN LAS EMISIONES  
DE ESCAPE AL MODIFICAR LAS PROPIEDADES  
DE LA GASOLINA”**

T E S I S  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERA MECÁNICA ELECTRICISTA  
P R E S E N T A:  
VERONICA CRUZ PACHECO

ASESORES: ING. BENJAMÍN CONTRERAS SANTACRUZ  
ING. MARIO VERA ACOSTA

CUCUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1998

2647 0

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAU  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA F.E.S.-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Q. María del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S.-C

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicarle a usted que revisamos la TESIS:

Comportamiento en el motor y consecuencias en las emisiones de escape al  
modificar las propiedades de la gasolina.

que presenta la pasante: Verónica Cruz Pacheco  
con número de cuenta: 8803678-8 para obtener el TITULO de:  
Ingeniera Mecánica Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 6 de mayo de 1998

PRESIDENTE	<u>Ing. Daniel Hernández Pecina</u>
VOCAL	<u>Ing. Benjamín Contreras Santacruz</u>
SECRETARIO	<u>Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez</u>
RIMERO SUPLENTE	<u>M. en I. Felipe Díaz Del Castillo Rodríguez</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Nicolás R. Balderas Reyes</u>

*Agradezco todo el cariño  
recibido por mis padres y hermanos  
pues por su apoyo, buen ejemplo y comprensión  
son el pilar de mi formación.*

*Agradezco a los señores:  
Ing. Benjamín Contreras S.  
Ing. Mario Vera Acosta  
por todas sus atenciones  
que fueron muy importantes  
para el logro de mi objetivo.*

*Agradezco también al  
Instituto Mexicano del Petróleo  
por todas las facilidades que me brindó  
durante el desarrollo de este trabajo.*

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVO .....	3

## CAPÍTULO 1 CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 Conceptos y definiciones.....	4
1.2 Dispositivos anticontaminantes.....	11
1.2.1 Otros componentes anticontaminantes.....	18
1.3 Características de La ZMVM.....	20
1.4 Inversión térmica.....	22
1.5 Contaminantes vehiculares.....	23
1.6 Los autos en la ciudad de México.....	25

## CAPÍTULO 2 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

2.1 Ciclos termodinámicos.....	27
2.2 Sistemas de un motor de combustión interna.....	31
2.2.1 Sistema de encendido.....	31
2.2.2 Sistema de enfriado.....	33
2.2.3 Sistema de lubricación .....	36
2.2.4 Sistema de combustible.....	38
2.2.5 Sistema de escape.....	39
2.3 Sistema de carburación.....	41
2.3.1 Sistema de marcha lenta .....	43
2.3.2 Sistema de baja velocidad.....	44
2.3.3 Sistema de medición principal.....	46
2.3.4 Sistema de enriquecimiento.....	48
2.3.5 Sistema de enriquecimiento mecánico.....	48
2.3.6 Sistema de enriquecimiento por vacío.....	49
2.3.7 Enriquecimiento combinado vacío/mecánico.....	51
2.3.8 Sistema de válvula de aceleración.....	52
2.3.9 Componentes auxiliares.....	54
2.3.10 Posicionadores de mariposa.....	56
2.3.11 Compensador de altura .....	57
2.3.12 Ahogador.....	58
2.3.13 Interruptores.....	59
2.4 Sistema de Inyección.....	61
2.4.1 Tipos de inyección de combustible.....	63
2.4.2 Inyección de combustible por tiempos.....	64
2.4.3 Inyección electrónica.....	64
2.4.4 Inyección continua de combustible.....	65

2.4.5	Inyección por el cuerpo del estrangulador.....	65
2.4.6	Descripción de los componentes.....	66
2.4.7	Microprocesadores y computadoras.....	66
2.4.8	Autodiagnóstico de la unidad de control electrónico.....	68
2.4.9	La computadora.....	69
2.4.10	Sensor de posición del estrangulador.....	70
2.4.11	Sensor de flujo de aire.....	70
2.4.12	Sensor de masa de aire.....	70
2.4.13	Sensor de oxígeno.....	71
2.4.14	Sensor de temperatura del motor.....	71
2.4.15	Sensor de temperatura del combustible.....	72
2.4.16	Sensor de detonación.....	72
2.4.17	Sensor de velocidad.....	73
2.4.18	Sensor de operación del turbocargador.....	73
2.4.19	Sensor de presión barométrica.....	73
2.4.20	Sensor de temperatura del aire en el sistema de admisión.....	73
2.4.21	Sensor de posición del cigüeñal.....	74
2.4.22	Regulador de presión.....	74
2.4.23	Válvula de control de aire.....	75
2.4.24	Inyector de gasolina.....	75
2.4.25	Válvula de encendido en frío.....	78
2.4.26	Regulador de calentamiento.....	79
2.4.27	Interruptor termo time.....	79
2.4.28	Regulador auxiliar de aire.....	79
2.4.29	Distribuidor de gasolina.....	80
2.4.30	Válvula de control de marcha mínima.....	80
2.4.31	Acumulador de combustible.....	81
2.4.32	Cuerpo del estrangulador.....	81

### CAPÍTULO 3 COMBUSTIBLES

3.1	Generalidades.....	82
3.2	Gasolina.....	85
3.3	Contenido de azufre.....	88
3.4	Corrosión en lámina de cobre.....	88
3.5	Destilación.....	89
3.6	Goma en la gasolina.....	90
3.7	Presión de vapor Reid.....	90
3.8	Número de octano.....	91
3.9	Combustibles alternos.....	92
3.9.1	Gas licuado de petróleo.....	92
3.9.2	Gas natural.....	93
3.9.3	Alcoholes.....	94

## **CAPÍTULO 4 PRUEBAS A DESARROLLAR**

4.1 Emisiones directas.....	96
4.2 Especificación de los niveles máximos permisibles de emisiones por el escape de vehículos en circulación en la ZMVM.....	98
4.3 HOT-505.....	100
4.4 Pruebas FTP-75.....	100
4.5 Especificación de hidrocarburos.....	106
4.6 Especificación de Aldehidos.....	107

## **CAPÍTULO 5 DESARROLLO EXPERIMENTAL**

5.1 Selección de combustibles.....	108
5.2 Vehículos de prueba.....	108
5.3 Estudio costo efectividad.....	110
5.4 Última etapa.....	116

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>150</b>
--------------------------	------------

<b>APÉNDICE A.....</b>	<b>152</b>
------------------------	------------

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>155</b>
--------------------------	------------

## INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es uno de los grandes problemas de la Ciudad de México cuyas fuentes, de origen humano, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Transporte: vehículos automotores, aviones, trenes, barcos, etc.

Combustión Estacionaria: hogares, comercios, etc.

Procesos Industriales: químicos, metalúrgicos, refinerías, etc.

Otros: derrames, incendios, basureros, fugas, etc.

La concentración de una población creciente trae como consecuencia un aumento en las necesidades de transporte, tanto público como privado, ocasionando un mayor consumo de combustibles y por lo tanto una mayor generación de contaminantes atmosféricos.

En esta Tesis se realiza una investigación desarrollada en las instalaciones del Instituto Mexicano del Petróleo, de una de las alternativas para reducir el deterioro ambiental como es la del mejoramiento de combustibles (Reformulación), además de su efecto y comportamiento en los vehículos automotores.

En el primer capítulo se mencionan conceptos básicos tales como definiciones, sistemas de unidades, y las características geográficas de la Ciudad de México.

El capítulo dos trata sobre el motor de combustión interna a gasolina en los dos sistemas de admisión de combustible que son: sistema de carburación y sistema de inyección de combustible.



El capítulo tres aborda el tema de los combustibles líquidos y gaseosos tales como la gasolina y los combustibles alternos además de mencionar sus características y especificaciones.

El capítulo cuatro explica las diferentes pruebas que les fueron realizadas a los vehículos, especificando los procedimientos y la secuencia de estos.

El capítulo cinco muestra el desarrollo experimental y los resultados obtenidos de las pruebas presentadas en tablas y gráficas.

## **OBJETIVO:**

Determinar el comportamiento de los internos del motor, y el efecto en el convertidor catalítico, al cambiar las características de las gasolinas y las consecuencias en las emisiones de escape.

# CAPÍTULO 1

## CONCEPTOS BÁSICOS

Para una mejor comprensión en el estudio de los vehículos automotores y de los combustibles es importante hacer mención de algunos conceptos y fundamentales más utilizadas y así comprender mejor el contenido de este trabajo.

### Desplazamiento.

Es la distancia dirigida en la que el punto se ha movido sobre una trayectoria geométrica, a partir de un origen conveniente. Se trata de un vector, que tiene tanto magnitud como dirección y que está sujeto a todas las leyes y características que se le atribuyen a los vectores.

### Velocidad.

La velocidad de un punto es la razón del desplazamiento, con respecto al tiempo, o sea,  $v = dS / dt$ .

### Desplazamiento angular.

Es el cambio en la posición angular de una línea dada, según se mida a partir de una línea conveniente de referencia.

### Velocidad angular.

Se define como la razón de cambio de desplazamiento angular con respecto al tiempo  $w = d\theta / dt$ . La velocidad angular también puede tener componentes con respecto a cualquiera de los tres ejes ortogonales.

### Par.

Dos fuerzas de igual magnitud que actúan en sentidos opuestos sobre rectas paralelas forman un par. Un par no puede ser reducido a una sola fuerza. Se pueden desplazar las fuerzas que forman un par y se puede modificar su

magnitud y su dirección siempre que se conserven paralelas entre sí, que se mantengan en el mismo plano original o en uno paralelo a él, que el producto de una de las fuerzas por la distancia entre las dos paralelas sea constante y que el sentido de rotación permanezca invariable.

### **Momento.**

Un esfuerzo giratorio constituye lo que se denomina momento (M) por la fuerza útil (kg) tangente en el extremo de dicho brazo. El momento es una importante característica de un motor y, aunque es independiente de la velocidad, determina lo que hay que construir en la transmisión entre el motor y las ruedas motoras, para poder ceder a estas ruedas el esfuerzo giratorio que interese. Por ejemplo, el momento de arranque (par de arranque) del motor de un automóvil es cero, y es preciso desconectar el motor de su carga, por medio de un embrague, para poderlo poner en marcha sirviéndose de un motor de arranque independiente.

### **Potencia.**

Es la razón con la cual se realiza un trabajo; también es el número de unidades de trabajo efectuadas por unidad de tiempo. Es la velocidad con la cual se realiza un trabajo.

### **Trabajo.**

Es una forma de energía y se define por el producto de una fuerza por la longitud de un camino en la dirección de dicha fuerza a lo largo del cual ésta actúa.

### **Punto Muerto Superior (PMS)**

Es la posición del pistón próxima a la culata.

### **Punto Muerto Inferior (PMI)**

Es la posición más alejada del pistón a la culata.

### **Carrera.**

Comprende la distancia entre el PMS y el PMI, es igual, salvo raras excepciones, al doble del radio de la manivela del eje del cigüeñal, se expresa generalmente en mm.

La parte superior del cilindro está cerrada por la culata. El volumen comprendido en el cilindro entre la culata y el pistón representa la cámara de combustión, en la cual se quema la mezcla de aire y combustible, es decir, el fluido activo.

### **Volumen Total del Cilindro ( $V_1$ )**

Es el espacio comprendido entre la culata y el pistón cuando este se halla en el PMI ( $\text{cm}^3$ ).

### **Volumen de la Cámara de Combustión ( $V_2$ ).**

Es el espacio comprendido entre la culata y el pistón cuando este se halla en el PMS ( $\text{cm}^3$ ).

### **Cilindrada ( $V_1-V_2$ ).**

Es la generada por los pistones en su movimiento alternativo desde el PMS hasta el PMI ( $\text{cm}^3$ ).

### **Relación volumétrica de compresión ( $rc$ ).**

Es la relación que existe entre el volumen de la mezcla no comprimido y el comprimido dentro de los cilindros.

Se mantiene por tal la que hay entre el volumen total del cilindro  $V_1$  y el volumen de la cámara de combustión  $V_2$ . En general, es llamada relación de compresión ( $rc=V_1 / V_2$ ).

### **Aceites.**

Grupo de líquidos neutrales distribuidos en tres clases: a) aceites fijos, (grasos), de origen animal, vegetal o marino, formado principalmente por glicerinas y ésteres de ácidos grasos; b) aceites minerales, derivados del petróleo, del carbón

etc., consistentes en hidrocarburos, y c) aceites esenciales, productos volátiles, principalmente hidrocarburos con olores característicos, derivados de ciertas plantas.

#### **Aditivo.**

Material que se incorpora a los derivados del petróleo, con el fin de mejorar su rendimiento y utilidad.

#### **Aire atmosférico.**

La mezcla de gases que rodean a la Tierra y forman su atmósfera. Está compuesta, en volumen, por un 21% de oxígeno y un 78% de nitrógeno; por peso, aproximadamente el 23% de oxígeno y el 77% de nitrógeno. Contiene también aproximadamente un 0.03% de dióxido de carbono, algo de vapor de agua y argón.

#### **Cámara de combustión.**

Recipiente en el que tiene lugar la combustión de los productos gaseosos de un combustible con oxígeno.

#### **Catálisis.**

Modificación (con aumento en especial de la velocidad) de una reacción química inducida por material químicamente no alterado al final de la reacción.

#### **Catalizador.**

Sustancia que altera la velocidad de una reacción sin experimentar por su parte ningún cambio neto.

#### **Combustible.**

Cualquier sustancia que puede ser quemada para producir calor.

### **Combustión.**

Cualquier reacción química muy rápida en la que se produce calor y luz. Las más familiares entre las combustiones son las oxidaciones, es decir, las uniones con el oxígeno.

### **Combustión interna.**

Es la correspondiente a cualquier motor en el que la presión o el calor requeridos para producir energía se crean en el cilindro del motor por la combustión de una mezcla de aire y combustible, y es convertida en trabajo mecánico por medio de un émbolo.

### **Compensación altimétrica.**

Es un sistema por medio del cual los dispositivos de manejo de la mezcla aire-combustible (ya sea tipo carburación o inyección) mantienen la relación aire/combustible del nivel del mar a cualquier altitud.

### **Contaminación atmosférica.**

Es la presencia en el aire de toda materia (bióxido de azufre, los subproductos de los diversos tipos de combustión con combustibles fósiles, los polvos, tóxicos de humo de carbón y otras partículas) o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera modifican su composición.

### **Emisiones de gas de escape**

Son los productos de la combustión que son descargados a la atmósfera, a través de la tubería de escape del automóvil.

### **Convertidor catalítico de dos vías.**

Convertidor que sólo oxida HC y CO.

### **Convertidor catalítico de tres vías.**

Convertidor que además de oxidar HC y CO, reduce NOx, los tres contaminantes que son regulados en los vehículos automotores a gasolina.

### **Estándares de calidad del aire.**

Niveles prescritos de la calidad del aire que protegen la salud y bienestar públicos.

### **Estándar de emisión.**

Cantidad máxima de un contaminante que legalmente puede descargarse por una sola fuente.

### **Hidrocarburos.**

Cualquiera de una amplia clase de compuestos orgánicos formados por el carbono y el hidrógeno (HC) y que se encuentra en todos los productos derivados del petróleo. Los compuestos que tienen un número reducido de átomos de carbono y de hidrógeno son habitualmente gaseosos; los que cuentan con un gran número de átomos son líquidos y los compuestos con el mayor número de átomos son sólidos. La mayor parte de los HC no quemados (producto de cualquier combustión real) solo son venenosos en concentraciones superiores a varios cientos de partes por millón; sin embargo a la luz del sol y la temperatura ocasiona que éstos reaccionen con óxidos de nitrógeno, formando ozono (O<sub>3</sub>)

### **Monóxido de carbono.**

Compuesto de carbono y oxígeno (CO), generado por la combustión incompleta del carbono. Es emitido por todo proceso industrial y motor de combustión interna, que utiliza combustible fósil para su operación.

### **Octanaje.**

Escala de clasificación usada para graduar la gasolina de acuerdo con sus propiedades antidetonantes.



### **Oxidos de nitrógeno.**

Compuestos de nitrógeno y oxígeno que son peligrosos para la salud en altas concentraciones, y contribuyen a la formación de "smog", su fórmula química es el NOx.

### **Ozono.**

Molécula que contiene tres átomos de oxígeno (O<sub>3</sub>). Está presente en pequeñas cantidades en el aire cerca de la superficie de la Tierra, y en grandes cantidades en la atmósfera, como resultado de la acción de los rayos ultravioleta de corta longitud de onda sobre el oxígeno (O<sub>2</sub>). En la capa superior de la atmósfera actúa como protección que absorbe la radiación ultravioleta y por lo tanto puede considerarse como un elemento favorable para el ser humano y la naturaleza. Sin embargo en la atmósfera que respiramos es nocivo para la salud en altas concentraciones (es irritante). Se produce en la reacción fotoquímica que involucra HC y NOx, con la temperatura y la luz solar.

### **Recirculación de gases de escape (EGR)**

Sistema anticontaminante que a través de recircular una cierta cantidad del gas de escape nuevamente al motor en ciertos modos de operación (principalmente cuando la demanda de potencia no es alta), reduce los NOx, precursor del O<sub>3</sub>. Su funcionamiento se afecta severamente al usar gasolina con plomo, pues las válvulas del EGR se van tapando con dicho elemento.

### **Relación aire/combustible.**

Relación de peso entre el aire y el combustible de entrada al motor. Por ejemplo, un valor 14.3/1 indica que la mezcla contiene 14.3 partes de aire por cada parte de combustible.

### **Sistema anticontaminante con retroalimentación (closed loop) y convertidor catalítico.**

Sistema computarizado por medio del cual se procura mantener la óptima dosificación aire/combustible al motor (cerca a la relación estequiométrica), para obtener la máxima eficiencia anticontaminante del convertidor.

### **Sistema de control de emisiones evaporativas.**

Es el sistema existente en vehículos automotores a gasolina que captura y almacena los gases de combustible que se generan en el depósito y sistema de combustible (carburación o inyección), para recircularlos hacia el motor a través del filtro de aire o múltiple de admisión, evitando así su emisión a la atmósfera.

### **Ventilación positiva del cárter.**

Es un sistema por medio del cual aquellos gases productos de la combustión que pasan al cárter, son recirculados hacia la cámara de combustión, evitando así su emisión a la atmósfera.

## **1.2 DISPOSITIVOS ANTICONTAMINANTES**

La preocupación de Autoridades e Industria Automotriz mexicanas por combatir la contaminación ambiental proveniente de los vehículos automotores, data de los años setentas.

En 1971 la Industria Automotriz, de común acuerdo con las autoridades, incorporó la Ventilación Positiva del Cárter (PCV), en todos los automóviles y camiones a gasolina, como primera medida anticontaminante. Con esta acción se redujo un 20% la emisión de Hidrocarburos no quemados a la atmósfera.

En 1972 fue incorporado el sistema de Control de Emisiones Evaporativas provenientes del tanque de combustible y el carburador en los automóviles, reduciéndose otro 20% la emisión de HC a la atmósfera.

A partir de 1974, la Industria comenzó a incorporar sistemas de reducción de contaminantes provenientes por el escape. Estos contaminantes son, además de los ya mencionados, el Monóxido de Carbono (CO) y los Oxidos de Nitrógeno (NOx). Los sistemas mencionados incluían mezclas más pobres y chispas de encendido optimadas, para combustiones más completas en todo el rango de operación del motor.

Los primeros niveles máximos permisibles de los contaminantes mencionados fueron fijados en México a partir de 1975 y paulatinamente fueron haciéndose más estrictos en los siguientes años.

A partir de 1991, los niveles permisibles en el país nuevamente se reducen al punto de requerir sistemas anticontaminantes de alta tecnología como lo son los convertidores catalíticos y otros, para llegar en 1993 (en automóviles) y en 1994 (en camiones), a alcanzar los niveles permisibles actuales de emisiones que rigen en Estados Unidos.

Durante todo este período, el abatimiento de los contaminantes se fue llevando a cabo a través de rediseños globales en las unidades. Entre ellos se encuentran: reducción en los tamaños y pesos de los vehículos, carrocerías más aerodinámicas, motores más pequeños y eficientes con cámaras de combustión rediseñadas para mejorar la combustión y la propagación de la flama, sistemas de manejo de combustible y encendidos computarizados que proporcionan una dosificación en la relación aire/combustible más precisa y eficiente, introducción de compensadores altimétricos y sensores de detonación, menores relaciones de ejes, y otras.

La aplicación en México de todos los conceptos anteriores, ha significado un reto mayor para la industria automotriz nacional, debido a las características topográficas del país, al combustible disponible y a los hábitos de manejo y mantenimiento de los vehículos. Se considera que más del 50% del parque vehicular en la República Mexicana se encuentra en el altiplano, donde por las condiciones de la atmósfera (lo cual implica una menor cantidad de oxígeno), los vehículos operan con menor eficiencia. La gasolina 100% disponible en todo el país ha sido la NOVA de solo 81 octanos RON (Research Octane Number) que se traduce en un octanaje inferior a 77 octanos, si se aplica el método internacional de cálculo de octanaje  $(RON+MON)/2$  (que es el índice de antidetonancia). Por primera vez PEMEX utiliza este procedimiento para determinar el octanaje de la MAGNA SIN (87 octanos). Esto significa que la industria ha tenido que adaptar los diseños originales de las casas matrices para poder operar en México, degradando los tiempos de encendido óptimos, las reducciones de compresión etc., lo que a su vez ocasiona ineficiencias, pérdidas de potencia y menores rendimientos que incrementan los consumos de combustible y las emisiones. No hay que olvidar que a partir de 1982 los automóviles nacionales han tenido que cumplir también con un reglamento de consumo de combustible paulatinamente más estricto, que en 1991 se asemeja al requerido por la Legislación Americana actualmente donde, por razón del mejor octanaje utilizado y su uso al nivel del mar, es menos riguroso cumplir con él (México: 11.0 km/lt., E.U.: 11.69 km/lt., Promedios corporativos).

Para estimular el mantenimiento adecuado de las unidades, la industria procuró, mientras fue posible, mantener la máxima simplicidad en los componentes del motor. Sin embargo ha llegado el momento en que para poder cumplir con los niveles máximos permisibles de emisiones de gas de escape y mínimos de consumo de combustible, la industria incorpora sistemas anticontaminantes de la más alta tecnología como son los Convertidores Catalíticos.

Existen fundamentalmente 2 tipos de Convertidores Catalíticos para los vehículos automotores propulsados a gasolina: los oxidativos o de dos vías que oxidan HC y CO, y los de tres vías TWC (Three Way Catalyst), que además de oxidar HC y CO reducen también los NOx.

Su carcasa exterior puede considerarse similar a la de un típico silenciador; sin embargo, su forma es ligeramente diferente y generalmente lleva una sobrecubierta de aluminio para una mejor disipación de calor y protección. El convertidor va colocado también en la tubería de escape.

El material de la carcasa exterior es de acero inoxidable y en su interior se encuentra un substrato de cerámica recubierto con alúmina, donde se depositan metales preciosos tales como platino (Pt), Paladio (Pd) y Rhodio (Rh).

El gas de escape al pasar a través de las celdillas del substrato, como se muestra en la figura 1.2, desencadena una reacción química, oxidando en gran medida los HC y el CO como ya se mencionó, y reduciendo los NOx, obteniéndose vapor de agua H<sub>2</sub>O, Bióxido de Carbono CO<sub>2</sub>, y Nitrógeno N<sub>2</sub>.

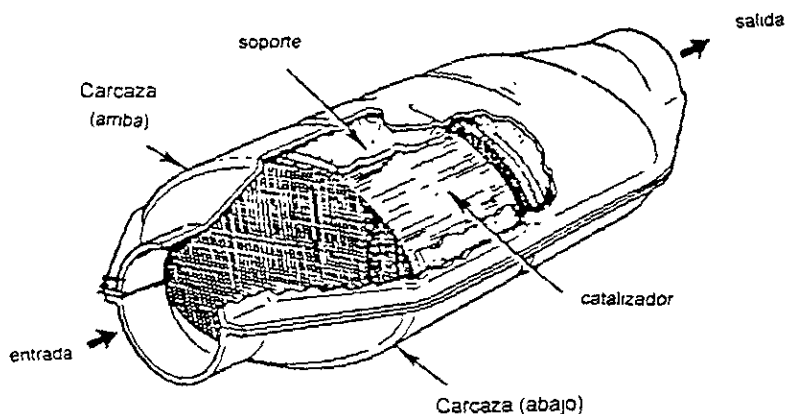


Figura 1.1 Convertidor catalítico con dos substratos de cerámica.

Una variante del convertidor catalítico es aquél que en lugar de substrato, contiene perdígones (pellets) impregnados con los materiales mencionados anteriormente; sin embargo, en la actualidad su uso es comparativamente reducido, y se estima que tiende a desaparecer (véase la figura 1.3). Otra variante es el convertidor catalítico con dos substratos e inyección de aire, para propiciar una reacción más completa, siendo su principio de operación similar al de un solo substrato, ya descrito.

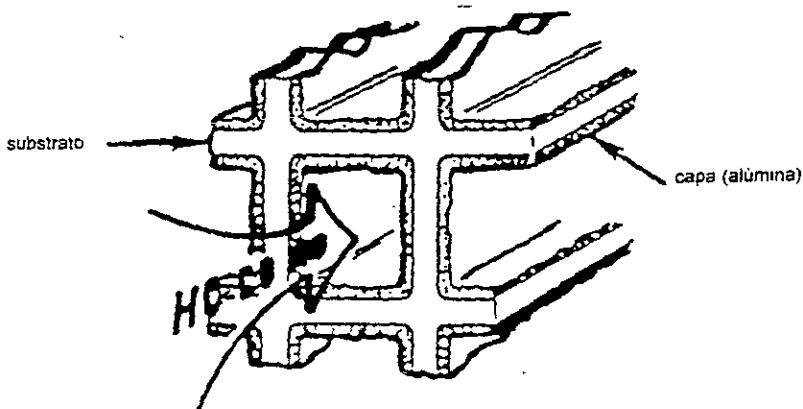


Figura 1.2 Celda de un substrato

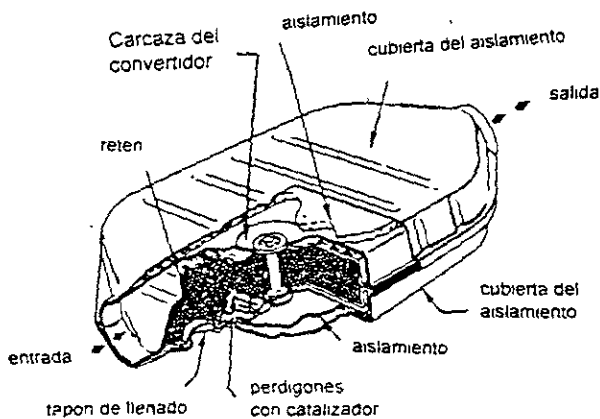


Figura 1.3 Convertidor catalítico con perdígones

Los convertidores catalíticos que la industria automotriz ha incorporado a partir del año modelo 1991 en vehículos nacionales y en importados, no requieren de ningún mantenimiento. Son altamente eficientes y confiables si se usa gasolina sin plomo y los vehículos son adecuadamente mantenidos. El uso de gasolina con plomo (como la NOVA), desactiva permanentemente al convertidor envenenándolo y creando restricción al paso del gas de escape, que puede a su vez ocasionar daños severos al motor. Antes de llegar a este extremo, el vehículo contaminará excesivamente. Estudios recientes hechos en Estados Unidos por la EPA (Agencia de Protección Ambiental), revelaron que el 9% de los vehículos encuestados habían sido operados con gasolina que contenía plomo, ocasionando incrementos en sus emisiones de HC y CO en un 500% y 400%, respectivamente.

En la siguiente gráfica se muestra el deterioro que sufre un convertidor catalítico al utilizar cuatro tanques de combustible con un contenido de plomo de 1.6 gramos por galón:

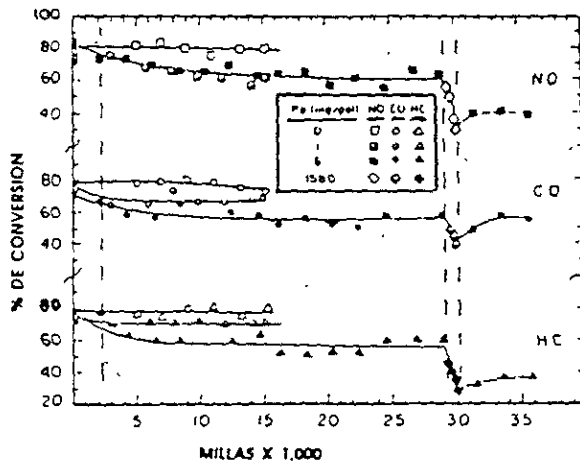


Figura 1 4 Capacidad de conversión de un convertidor catalítico de tres vías al usar gasolina con diferentes concentraciones de plomo

Nótese que la capacidad de conversión se reduce dramáticamente y no se recupera en el caso de los HC y NO<sub>x</sub>, que son los precursores de ozono (O<sub>3</sub>), el principal contaminante que tiene la zona metropolitana de la Ciudad de México y otras ciudades.

Las siguientes reacciones químicas son típicas que juegan un papel esencial en la eliminación de contaminantes de gases de escape emitido por motores de ignición por chispa.

1.  $C_M H_N + (M+N/4)O_2 \rightarrow M CO_2 + N/2 H_2O$
2.  $CO + 1/2 O_2 \rightarrow CO_2$
3.  $H_2 + 1/2 O_2 \rightarrow H_2O$
4.  $CO + NO \rightarrow 1/2 N_2 + CO_2$
5.  $C_M H_N + 2(M + N/4)NO \rightarrow (M + N/4)N_2 + N/2 H_2O + M CO_2$
6.  $H_2 + NO \rightarrow 1/2 N_2 + H_2O$
7.  $SO_2 + 1/2 O_2 \rightarrow SO_3$
8.  $5/2 H_2 + NO \rightarrow NH_3 + H_2O$
9.  $SO_2 + 3H_2 \rightarrow H_2S + 2H_2O$
10.  $NH_3 + CH_4 \rightarrow HCN + 3H_2$
11.  $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$
12.  $CH_N + 2H_2O \rightarrow CO_2 + (2 + N/2) H_2$

En las reacciones 1,2 y 3 la cantidad de HC y CO son disminuidos por la oxidación catalizada.

Las reacciones 4, 5 y 6 muestran las reacciones adicionales que se requieren para reducir la emisión de NO<sub>x</sub>.

Las reacciones 7, 8, 9 y 10 son indeseables ya que contribuyen a emisiones secundarias como NH<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S Y HCN.

Las reacciones 11 y 12 son de cambio de fase gas-agua y de reformación de vapor, respectivamente.



El mantenimiento adecuado de los vehículos equipados con convertidor catalítico, es vital para evitar el sobrecalentamiento del mismo y por lo tanto, el sintetizado de los metales que contiene, lo cual ocasiona también desactivación permanente de su actividad catalítica y posibles daños a los componentes internos del motor. Fallas consideradas como menores y sencillas de corregir, tales como cables de bujía dañados o bujías con funcionamiento intermitentes o inoperantes, son capaces de incrementar la reacción química dentro del convertidor y llegar a desactivar parcial o totalmente su operación, si es que no son corregidas oportunamente. Algo similar sucede si el motor "pasa aceite", debido a daños o desgastes en sus componentes internos.

### **1.2.1 LOS DEMÁS COMPONENTES ANTICONTAMINANTES.**

Los convertidores catalíticos que incorporan los nuevos modelos 1991, forman parte en la gran mayoría de ellos, de un sistema global anti-contaminante con retroalimentación (closed loop), que incluye: sistemas computarizados de manejo de combustible e ignición; sensores de oxígeno (EGO) que son colocados en el sistema de escape antes del convertidor y que permiten a través de señales a la computadora del motor, mantener la óptima modificación aire/combustible en el mismo; sistemas de recirculación de gas de escape (EGR) que al recircular un porcentaje bajo a las cámaras de combustión y sólo en algunos modos de operación del motor coadyuvan a reducir los NOx; y sistemas de aire secundario con bombas de aire (o alimentadores de aire), que suministran oxígeno adicional, ya sea a la salida del gas de escape de las cámaras de combustión y/o al convertidor, para optimar las reacciones químicas y a la consecuente conversión a compuestos no nocivos.

Por complicado que parezca, el funcionamiento e interrelación de todos estos dispositivos, son de una alta confiabilidad, habiendo sido ya probados y mejorados por las casas matrices en sus mercados de origen. Son prácticamente

libres de mantenimiento y extremadamente eficientes, si se siguen las recomendaciones ya señaladas.

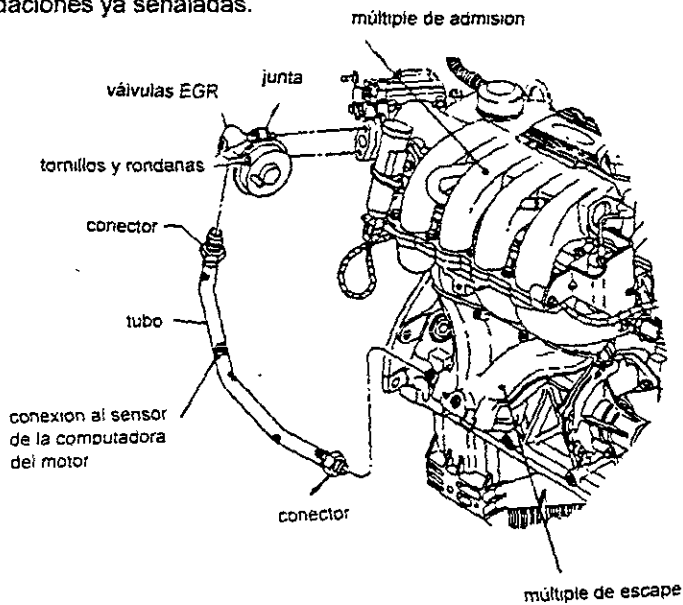


Figura 1 5a. Sistema de recirculación de gases de escape (EGR)

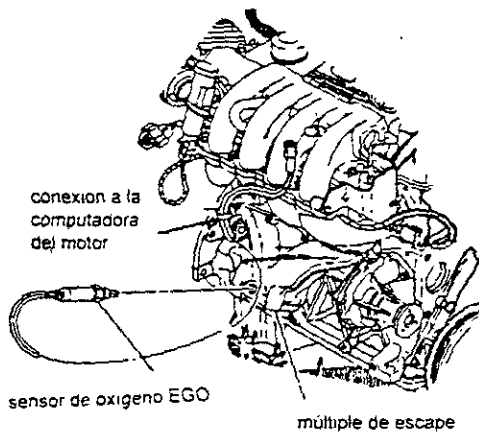


Figura 1 5b Sensor de oxígeno (EGO), componente del sistema de retroalimentación

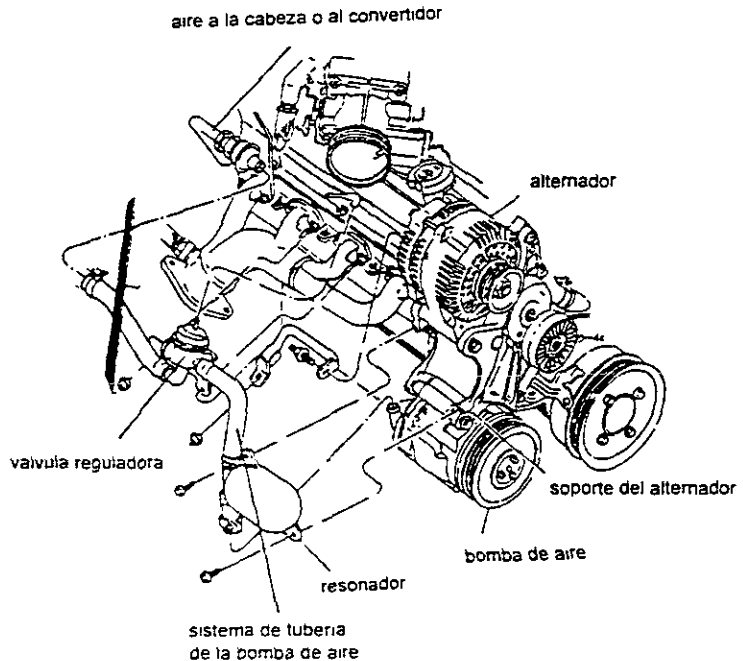


Figura 1 5c Bomba de aire

### 1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ZMVM

La Cd. de México, debido a su topografía, condiciones climáticas, la altura sobre el nivel del mar (2,240 m), aunado a la idiosincrasia de sus habitantes y a la explosión demográfica, más de 14 millones de personas incluyendo lo que se denomina Area Metropolitana, produce grandes problemas de contaminación atmosférica

Esta contaminación es producida en una gran proporción, por los vehículos con motores de combustión interna, que en un número cercano a 3.5 millones sin incluir motocicletas, circula por las calles de nuestra Ciudad. Los vehículos en México tienen un promedio de vida de 12 años, por lo cual se puede considerar

que por su estado mecánico, todos son emisores fuertes de contaminantes. Los vehículos nuevos representan entre un 10 y 15% de la población automotriz, por lo que los sistemas de control de emisión de contaminantes que pueda tener un vehículo nuevo, si se conserva en perfectas condiciones, tienen un valor relativo en el número de vehículos.

El problema de la contaminación por vehículos se agrava por las siguientes razones, producto de nuestra idiosincrasia:

- 1.- Malas condiciones de mantenimiento.
- 2.- Falta de conciencia de choferes y propietarios de vehículos
- 3.- Falta de talleres adecuados y mecánicos responsables.

Además de que las montañas que rodean la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (las sierras del Ajusco, Chichinautzín, Las Cruces, Guadalupe y Santa Catarina) Constituyen una barrera natural que dificulta la circulación del viento ya de por sí débil e intermitente durante la mayor parte del año, impidiendo el desalojo del aire contaminado hacia fuera del Valle. La dirección predominante de los vientos (norte-sur) ocasiona que los contaminantes generados en la zona de mayor actividad urbana, industrial, de servicios y de transporte sean distribuidos en todo el resto de la mancha urbana.

En este viaje, algunos contaminantes (como las partículas) tienden a diluirse, disminuyendo gradualmente su concentración "viento abajo" de las zonas donde se generan. En el caso de los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, al transportarse van reaccionando entre sí para dar lugar a la formación de ozono. Ésta es la razón por lo que las mayores concentraciones de este contaminante se presentan en la zona sureste, a pesar de que sus precursores se generan en mayores cantidades en el norte y centro de la Ciudad.

## 1.4 INVERSIÓN TÉRMICA

En el Valle de México ocurren frecuentes inversiones térmicas que propician el estancamiento de los contaminantes.

Las inversiones térmicas son un fenómeno natural que ocurre durante las primeras horas de la mañana debido al enfriamiento de la superficie del suelo. La capa de aire que se encuentra en contacto con esta superficie adquiere una temperatura menor que las capas superiores, por lo que se vuelve más densa y pesada. Las capas de aire que se encuentran a mayor altura y que están relativamente más calientes actúan entonces como una "tapa" que impide el movimiento ascendente del aire contaminado.

Bajo la influencia del sol, la superficie del suelo y del aire adyacente aumentan de temperatura, durante la mañana, por lo que el aire caliente tiende a ascender permitiendo el rompimiento de la inversión térmica, lo que permite nuevamente la ventilación vertical de la atmósfera.

Al encontrarse dentro de la región central del país, nuestro Valle está sujeto también a la influencia de sistemas anticlónicos, generados tanto en el Golfo de México como en el Océano Pacífico.

Estos sistemas que ocurren con mayor frecuencia durante el invierno, ocasionan que la atmósfera se estabilice, causando la inhibición del mezclado vertical del aire que ayuda a la depuración de la atmósfera.

El Valle de México se encuentra a una altura de 2 240 metros, por lo que su contenido de oxígeno es 23% menor que al nivel del mar. Esta deficiencia de oxígeno hace que los procesos de combustión interna sean menos eficientes y más contaminantes.

Además la alta radiación solar de la que disfrutamos incrementa el potencial de la atmósfera de nuestro Valle para la formación del ozono a partir de precursores (los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos). En comparación con los Ángeles (la ciudad estadounidense con el problema de ozono más persistente) la atmósfera de la Ciudad de México es 40% más reactiva, de acuerdo con estudios realizados por el Instituto Mexicano del Petróleo lo que significa un mayor potencial para la formación de ozono .



Figura 1 6 Inversión térmica.

## 1.5 CONTAMINANTES VEHICULARES

Los vehículos automotores se pueden clasificar según el motor en tres grandes tipos: Motores a gasolina Ciclo Otto, motores de motocicletas con ciclos de dos tiempos y motores a diesel Ciclo Diesel. La contaminación producida por las emisiones de cada uno de ellos es del mismo tipo, pero las proporciones varían de acuerdo con el sistema de combustión, las características del motor y del tipo de combustible usado.

Los contaminantes provenientes de un motor de combustión interna son principalmente: Monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos (HC), Óxidos de nitrógeno (NOx), partículas sólidas y líquidas, y óxidos de azufre.

El CO es el resultado de una combustión incompleta de los hidrocarburos principalmente de los combustibles vehiculares, este contaminante reacciona con la hemoglobina, sustituyendo el oxígeno de la sangre para dar la carboxihemoglobina y de acuerdo con la concentración en el aire y el tiempo de exposición produce dolores de cabeza, pérdidas de la agudeza visual, decrece la coordinación muscular o sea falta de reflejos, y cuando se encuentra en muy altas concentraciones puede ser fatal.

Los HC, también son producto de la combustión incompleta del petróleo y sus derivados, así como la de evaporación de gasolina y disolventes orgánicos. Algunos HC que se encuentran en el aire han producido cáncer en animales de laboratorio, experimentalmente, pero el principal problema de los hidrocarburos es la formación del llamado "smog" o niebla fotoquímica.

Los NOx son producto de la reacción entre el nitrógeno y el oxígeno del aire en los procesos de combustión a altas temperaturas, como las alcanzadas dentro de los cilindros de los automóviles. Estos óxidos son tóxicos, de olor irritante y de color amarillo verdoso, aún a bajas concentraciones irritan los tejidos, principalmente ojos y vías respiratorias. En estudios recientes, se han comprobado algunas reacciones con sangre, para formar nitroxihemoglobina. Los NOx reaccionan con los HC mencionados anteriormente para dar la niebla fotoquímica con la ayuda de la energía solar y formar en ciertos casos compuestos del tipo del nitrato de peroxiacetilo, que causan lagrimeo y ardor de ojos y garganta.

Las partículas que pueden ser sólidas o líquidas se forman principalmente en vehículos en mal estado de mantenimiento y son las que forman el humo visible de los automotores, aunque la mayor parte de las partículas provienen de

industrias polvosas, como son: cemento, yeso, cal, etc., y por arrastre de los vientos de tierra y arena suelta. Las partículas se pueden clasificar por su tamaño en sedimentables y en suspensión provocando enfermedades de las vías respiratorias superiores en los dos casos y las que están en suspensión por su pequeño tamaño pueden depositarse en los pequeños alvéolos pulmonares.

Los óxidos de azufre contaminantes de la atmósfera son el bióxido y el trióxido de azufre que son producto de la combustión de combustibles fósiles ricos en azufre. Estos contaminantes tienen mucha importancia por su influencia en las vías respiratorias y el daño sobre vegetación y las propiedades.

En general, todos los contaminantes mencionados son perjudiciales en mayor o menor grado y también todos son producidos a diversas escalas por vehículos automotores.

## **1.6 LOS AUTOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO**

Hoy, en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México existen aproximadamente 3 millones 500 mil vehículos en circulación los cuales en promedio tienen una edad de 8 años y medio. Alrededor de 70% de estos vehículos fueron fabricados antes de 1991, cuando aún no se introducía el convertidor catalítico como equipo de fábrica; 23% de los vehículos tienen más de 14 años circulando.

De continuar el ritmo actual de renovación de la flota, para principios del próximo siglo los autos que circulan en la Zona Metropolitana tendrán convertidor catalítico en su totalidad.

Al hablar del parque vehicular en la Ciudad de México, es interesante conocer su composición y la forma en que se utiliza. Existe una proporción muy alta de autos privados (72%) en relación con el porcentaje que ocupan taxis, colectivos y



autobuses de pasajeros (7.7%). Por otra lado, sólo una pequeña parte de la población metropolitana hace uso de los autos privados (únicamente 15%) mientras que la mayoría utiliza diversos medios de transporte público.

Los datos anteriores demuestran que existe no solamente un uso ineficiente del auto privado, sino además un reparto desigual de la carga que representan los problemas de tráfico y contaminación por emisiones vehiculares, lo que determina la gran responsabilidad social de quienes disfrutan de este medio de transporte. Por ello resultan prioritarias e indispensables la expansión del transporte colectivo y la instrumentación de medidas orientadas al uso racional del auto privado. Esto se vuelve todavía más importante debido a que las tendencias apuntan a un mayor incremento en la proporción de vehículos por habitante, en la medida que se consolida y amplía el bienestar social.

## CAPÍTULO 2

### MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA (GASOLINA).

Un motor de combustión interna consta en esencia de un cilindro, un émbolo y una manivela. El combustible se quema dentro del cilindro y al expandirse los productos gaseosos de la combustión se realiza trabajo: el movimiento rotatorio se consigue por medio de la manivela.

#### 2.1 CICLOS TERMODINÁMICOS.

Ciclo es una serie de operaciones después de las cuales el aparato, o sustancias, vuelven periódicamente a un determinado estado o configuración.

En los motores de combustión interna el ciclo mecánico puede completarse con una revolución (ciclo de 2 tiempos), o en dos revoluciones (ciclo de 4 tiempos). En los motores del ciclo Otto, el combustible y el aire se mezclan en un carburador y la mezcla explota mediante una chispa.

Los ciclos en los motores de combustión interna nos ayudan a mostrar los efectos de los cambios en las condiciones de operación, para indicar el rendimiento máximo, así como para comparar un tipo de motor con otro, ya que los motores de combustión interna no cumplen con un ciclo termodinámico (para que suceda esto el fluido operante de un sistema experimenta un cierto número de procesos y eventualmente regresa a su estado inicial, lo cual no ocurre con los motores de combustión interna).

En un motor de combustión interna el calor producido por la combustión de la gasolina se convierte en energía motriz dentro del motor. Los pistones, las bielas y el cigüeñal son las partes del motor que convierten la energía calorífica en energía motriz mediante lo que se conoce como un ciclo de cuatro tiempos los cuales son los siguientes:

## **ADMISIÓN**

En el motor de ignición por chispa, el pistón en la carrera hacia el punto muerto inferior crea una admisión del fluido en el cilindro, desde el instante en que se abre la válvula de admisión, esto se hace antes de iniciarse la carrera; mientras que la admisión de la mezcla finaliza en el instante en que se cierra la válvula de admisión, y esto se realiza después de haberse efectuado la carrera. Durante la admisión en el interior del cilindro, desciende la presión debido a que el aire y la mezcla de combustible encuentran resistencia en los conductos de admisión (filtro de aire, carburador, válvula de estrangulamiento, válvula de admisión, etc.) que originan pérdidas de presión, ello origina la llamada depresión en la admisión, la cual resulta más intensa al aumentar la velocidad del gas, a consecuencia de la resistencia que el fluido debe vencer a su paso por dichos conductos.

El movimiento de las válvulas al comenzar la apertura y al cerrarse debe ser lento, debido a que se producen grandes cargas dinámicas que pueden ocasionar roturas en los elementos del mecanismo de distribución de los gases.

En el motor de cuatro tiempos para automóvil la válvula de escape comienza a cerrarse cuando el cigüeñal gira de 2 a 25 grados después del punto muerto superior; la abertura de la válvula de admisión se efectúa cuando faltan de 5 a 20 grados de giro del cigüeñal para llegar al punto muerto superior.

## **COMPRESIÓN**

Al partir del instante en que se cierra la válvula de admisión en el motor de cuatro tiempos, durante la carrera de retorno del pistón hacia el punto muerto superior, en la cámara de combustión tiene lugar el proceso de compresión, en el cual la carga es comprimida hasta un valor máximo, que se alcanza al final de dicha carrera. En este instante, el volumen de la carga queda reducido a una fracción del volumen que tenía al principio de la carrera; esta fracción es la inversa de la fracción volumétrica de compresión.

Durante la compresión aumenta la temperatura y la presión de la carga. Sus valores finales dependen de la relación de compresión que, al aumentar, eleva la eficiencia del ciclo y mejora el aprovechamiento del calor.

En el motor de carburador la mezcla de trabajo se inflama por medio de una chispa eléctrica, una vez inflamada la mezcla, la llama producida por la chispa eléctrica se propaga rápidamente (a 30-50 mm/s) por todo el volumen de la cámara de combustión.

Teniendo en cuenta que la combustión requiere un cierto tiempo para realizarse y que el aprovechamiento de calor se consiga, la mezcla debe quemarse mientras el pistón esté cerca del punto muerto superior al comienzo de la expansión, y esto ocurre, cuando la mezcla se inflama con anticipación (avance del encendido), es decir antes de que el pistón llegue al punto muerto superior. En estas condiciones la combustión se efectúa con desprendimiento intenso de calor en el tramo correspondiente al giro del cigüeñal, desde 10-15 grados antes del punto muerto superior hasta 15-20 grados después de dicho punto.

En el periodo de la compresión, cuando la temperatura en las paredes del cilindro, de la culata del mismo y de la cabeza del pistón es mayor que la de la carga, esta última se calienta. A medida que el pistón se va acercando al punto muerto superior la carga se comprime cada vez más y la diferencia entre su temperatura y la temperatura medida de las superficies anteriores disminuye. En un instante determinado las temperaturas de la carga y una de estas superficies se igualan. Y al seguirse moviendo el pistón hacia el punto muerto superior cuando la temperatura de la carga es mayor que la de las superficies, cambia la dirección del flujo calorífico y empiezan a calentarse las superficies que comprimen la carga.

## **EXPANSIÓN**

A diferencia del ciclo teórico, donde se supone que la expansión se efectúa sin intercambio de calor con el medio exterior, en realidad los productos de la combustión se expanden a alta temperatura y ceden parte de su calor al medio circundante a través de la culata, de las paredes de los cilindros y de las cabezas de los pistones. Como resultado de esto los productos de la combustión se enfrían.

Con el encendido un poco antes de terminar la fase de compresión se inicia la combustión, la cual origina una elevación de temperatura y presión. La combustión finaliza cuando el pistón ha recorrido ya una parte de la carrera.

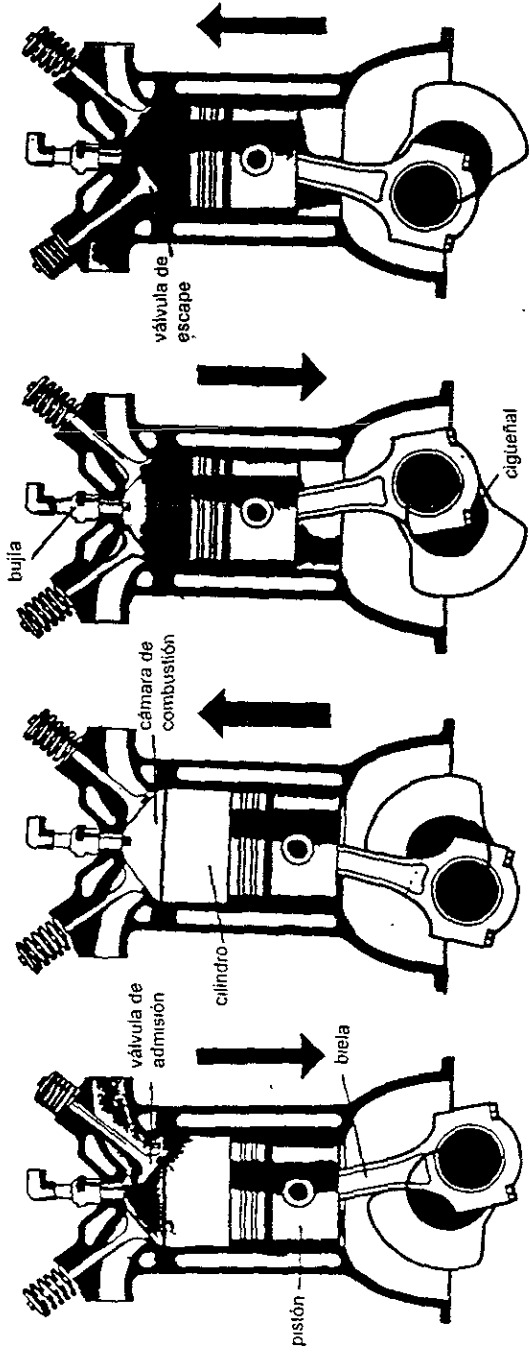
En el proceso de la combustión la energía química del combustible se transforma en térmica. Esta transformación se realiza durante cierto tiempo en que el pistón se halla cerca del punto muerto superior. La actividad del proceso de la combustión depende de un gran número de factores y, ante todo, del procedimiento de formación de la mezcla y de la inflamación del combustible.

Una vez determinada la combustión se lleva a cabo la expansión. El volumen aumenta y la presión experimenta un descenso ocasionado, en parte, por la transmisión de calor a las paredes del cilindro. La expansión debería prolongarse cuando fuera posible para aprovechar al máximo la fase útil, es decir, hasta la proximidad del punto muerto inferior, pero, en la práctica, para facilitar la expulsión de los gases, se interrumpe ésta con la apertura (anticipada con respecto al punto muerto inferior) de la válvula de escape.

Por lo tanto, la expansión se realiza con absorción y desprendimiento simultáneo de calor.

## **ESCAPE**

El barrido de los gases quemados comienza en cuanto se abre la válvula de escape, en este instante la presión dentro del cilindro es mucho más elevada que



1.- Tiempo de admisión La válvula de admisión se abre y la válvula de escape se cierra El pistón baja y succiona la mezcla del carburador a través del múltiple de admisión La válvula de admisión se cierra.

2 - Tiempo de compresión. Con las dos válvulas cerradas el pistón sube dentro del cilindro y comprime la mezcla dentro del espacio, llamado cámara de combustión, que rodea la bujía.

3 - Tiempo de potencia La bujía inflama la mezcla comprimida, la expansión de los gases de combustión impulsa el pistón hacia abajo. El cigüeñal, al girar, mueve otros pistones en sus cilindros.

4.- Tiempo de escape. La válvula de escape se abre y el pistón sube para expulsar los gases quemados. Después se abre la válvula de admisión, se cierra la de escape y el ciclo vuelve a empezar.

Figura 2 1 Ciclo de cuatro tiempos de un motor de combustión interna

la atmosférica por lo que los gases de escape salen de él a gran velocidad, igual a 600-700 m/s. En este primer periodo de la fase en que transcurre casi a volumen constante (escape espontáneo), la presión desciende con rapidez, y cuando se inicia la carrera de escape, es poco superior a la atmosférica, con tendencia a descender aun más durante la primera parte de esta carrera. Los gases quemados son expulsados por el pistón que se desplaza hacia el punto muerto superior. Este periodo transcurre con presión ligeramente superior a la atmosférica (sobrepresión en el escape) por la resistencia que han de vencer los gases al atravesar las válvulas y los conductos de escape y representan, por consiguiente, trabajo pasivo. El pistón no puede, sin embargo, expulsar todos los gases, porque una parte de ellos lo ocupa la cámara de combustión. Al final de la carrera de escape, la presión tiene todavía un valor ligeramente superior a la atmosférica, mientras tanto, ha comenzado la abertura de la válvula de admisión. Comienza así un nuevo ciclo, que se repetirá con regularidad.

Los gases quemados salen del cilindro del motor a gran velocidad, produciendo un ruido agudo. Para disminuir este ruido se montan silenciadores en el tubo de escape. Estos silenciadores aumentan un poco más la resistencia del sistema de escape, por lo que la presión en el cilindro se eleva en este periodo.

En estas condiciones aumenta la calidad de gases residuales que quedan en el cilindro y el coeficiente de llenado disminuye.

Por esta razón, el silenciador debe tener una estructura que permita amortiguar la resistencia en el sistema de escape.

## **2.2 SISTEMAS DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.**

### **2.2.1 SISTEMA DE ENCENDIDO.**

El sistema de encendido está formado, por lo general, de un acumulador de 12 V, una bobina de inducción, o bien, de un magneto de alta tensión con su

distribuidor. En la actualidad se emplean dispositivos electrónicos para interrumpir la corriente primaria en lugar de un interruptor de contacto.

En los motores en línea, el orden usual de encendido es 1,3,4,2 o 1,2,4,3 para cuatro cilindros; 1,5,3,6,2,4 (en los motores de automóviles americanos) o 1,4,2,6,3,5 para seis cilindros en línea; 1,6,5,4,3,2 para motores V6. Es común el procedimiento, para los motores V8, de numerar los cilindros de adelante hacia atrás, con los números pares en la bancada izquierda, vistos desde el sitio del conductor. En este arreglo, es típico el orden de encendido siguiente, 1,8,4,3,6,5,7,2. En motores radiales el orden de encendido se efectúa considerando un cilindro sí y otro no; en un motor de nueve cilindros en fila sencilla, el orden deberá ser entonces el siguiente, 1,3,5,7,9,2,4,6,8.

La separación en la punta de las bujías varía dentro de un intervalo que va desde 0.5 hasta 2.0 mm (0.020 a 0.080 pulg.). En las separaciones más pequeñas, se requieren de 4,000 a 8,000 V, en tanto que para las más grandes el voltaje requerido varía de 10,000 a 34,000 V.

En general las bujías, se colocan cerca de la válvula de escape (el punto más caliente), de tal manera que la llama avanza hacia la parte más fría de la cámara de combustión. Esto permite tener relaciones de compresión más altas, sin detonación en la combustión. La operación del motor con estrangulamiento parcial puede necesitar un ligero cambio en la colocación para suministrar la mezcla de combustible a las bujías. En los motores que tienen una relación de compresión menor a la óptima, la ubicación de las bujías puede encontrarse al centro, localización con que por lo regular se obtiene un tiempo mínimo de combustión. El encendido dual (dos bujías colocadas una frente a la otra) también reduce el tiempo de la combustión y da por resultado un ligero aumento en la eficiencia (en general menos del 1%) en comparación con el encendido sencillo con un avance de chispa óptimo.



Ya que se requiere un tiempo apreciable para que se efectúe la combustión, el avance de la chispa debe distribuir el proceso de la misma antes y después del punto superior para lograr la máxima potencia. El avance óptimo de la chispa depende en forma principal de la mezcla aire-combustible, de la cantidad residual de gas, de los requisitos que existan sobre el control de las emisiones, del diseño de las cámaras de combustión, de la turbulencia, de la velocidad del motor, del número de bujías y de su colocación. La relación aire-combustible para obtener la máxima potencia requiere el mismo avance de la chispa. Los motores de baja velocidad necesitan de 10 a 15 grados (recorrido del cigüeñal) de avance de la chispa, y en motores de altas velocidades el requerimiento es de 30 a 40 grados.

En la mayoría de los motores para automóviles el avance de la chispa se controla en forma automática por la velocidad del motor y el vacío del múltiple de admisión; el aumento de estas dos características provocan el aumento independiente del avance de la chispa.

### **2.2.2 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO**

Los cilindros de los motores se deben enfriar para mantener una película de lubricante sobre las paredes del cilindro y otras superficies deslizantes; también se deben enfriar las culatas, los émbolos y las válvulas de escape para impedir la detonación durante la combustión o la destrucción de éstas partes provocada por un calentamiento excesivo. Debe enfriarse el lubricante, para que mantenga una viscosidad adecuada en condiciones de operación.

#### **a) Enfriamiento por agua.**

El calor que se absorbe el agua de enfriamiento en los cilindros y en las culatas varía de 20 a 35% en los motores de automóvil pudiendo alcanzar hasta un 40% cuando la carga es de un tercio.

Esta pérdida disminuye entre 20 y 30% de su valor, si se incrementa la velocidad de 1,000 a 3,000 rpm. En realidad estos valores indican una pérdida de calor de la potencia al freno.

Los émbolos de los motores pequeños se enfrían por transmisión de calor con las paredes del cilindro y con el lubricante, en algunos casos se dirige una cantidad apreciable de aceite contra la culata del émbolo para conservarla dentro de un intervalo de temperaturas adecuado.

Por lo regular el agua de enfriamiento es alimentada al interior y exterior de los émbolos por medio de juntas giratorias o conexiones telescópicas especiales para agua. Para conservar en los grandes motores las camisas de los émbolos llenas de agua, se debe tener esta bajo una presión de 415 a 552 kPa (60 a 80 lb/in<sup>2</sup>), por lo tanto, pueden emplearse dos sistemas de enfriamiento con diferente presión cada uno, o bien, reducir el paso de entrada (estrangular) del agua a las otras camisas. No se deben emplear válvulas en el lado de descarga de las camisas; aun con la elevada presión del agua de la camisa, se tendrá un golpe de ariete, a menos que se restrinja el área de descarga a alrededor del 20% del área de admisión. El promedio de la distribución del agua de las diversas camisas es más o menos el siguiente: 60% a la camisa del cilindro y 40% a la camisa de la culata, cuando el émbolo no es enfriado; 50% a la camisa del cilindro, 25% a la camisa de la culata y 25% al émbolo y vástago del mismo cuando éste es enfriado.

Puede no existir la recirculación en el sistema de enfriamiento, en cuyo caso es alimentado con agua fría, que pasa a través de la camisa de agua y después se desecha. Para una elevación de temperatura de 32°C (90°F), en los motores grandes, se deben alimentar de 7.6 a 15.2 lt de agua (2 a 4 gal) por BTU/h.

En algunos motores la temperatura de la descarga del agua se debe mantener tan baja como 49°C (120°F), los cuales si conservan temperaturas altas a la entrada,

pueden aumentar la cantidad de agua necesaria hasta 38.1 l (10 gal) por BTU/h. Se hace circular el agua con una velocidad de 95 a 190 l (25 a 50 gal) por BTU/h con un aumento en la temperatura de 5.6 a 11.2 °C (10 a 20 °F), mientras se encuentra circulando.

Puede usarse la circulación natural (termosifón), con velocidades bajas, que requieren de conexiones grandes, si el agua forma un círculo cerrado. En este caso el agua caliente se eleva en la camisa del motor, pasa al radiador donde es enfriada, y desciende y fluye de nuevo a la camisa del motor.

Los motores industriales pequeños, los de motocicleta, los de algunos vehículos y muchos de los que se emplean en aviones, se enfrían por aire. Este tipo de enfriamiento elimina la necesidad de emplear agua u otro medio refrigerante líquido, las camisas de agua, las bombas, los radiadores y las conexiones para el agua, pero requiere que se modifique la construcción de los cilindros, tener aletas, placas de desviación, y en algunos casos, sopladores. La relación de compresión admisible y la potencia producida por los motores de aviones enfriados por aire dependen de la eficacia del enfriamiento de las culatas de los cilindros, las válvulas de escape y los asientos de las mismas.

Las aletas largas (25 a 50 mm (1 a 2 pulg.) según las dimensiones del cilindro) con espacios muy cerrados (2.5 a 5 mm (0.10 a 0.20 pulg.), con placas desviadoras que dirijan el aire con alta velocidad a las zonas calientes, han hecho posible la producción de altas potencias en los motores para aviones a expensas de la considerable resistencia o arrastre del aire. El diseño apropiado de los conductos de enfriamiento permite emplear el calor absorbido por el aire para obtener el efecto chorro, con lo cual se reduce el arrastre.

### **c) Enfriamiento del aceite.**

La cortadura de las diversas películas de aceite debida a las partes del movimiento y al contacto con las partes calientes del motor, dan lugar a una

elevación de la temperatura del aceite, que cesa cuando se establece el equilibrio entre la energía absorbida y la energía cedida por él; ésta última transmitida al entrar en contacto con partes más frías. En los motores de alto rendimiento se requieren enfriadores de aceite para conservar la temperatura del aceite a 94°C (200°F), o por debajo de este valor. En los días calientes es común que la temperatura de los motores de automóvil se eleve hasta 121°C (250°F). Una temperatura de 150°C (300°F) se considera demasiado alta, en forma particular para los aceites que se descomponen muy rápido en condiciones que provocan las temperaturas altas en ellos. La temperatura adecuada del aceite se mantiene al hacerlo circular a través de un radiador o enfriador hasta un colector de aceite y de allí de nuevo a través del motor. El aceite de la transmisión también se enfría por medio de placas enfriadoras, que se fijan en los extremos de los tanques de los radiadores, o bien, con radiadores separados.

### **2.2.3 SISTEMA DE LUBRICACIÓN.**

Para que un motor de combustión interna desarrolle un trabajo satisfactorio, es vital disponer de un aceite lubricante adecuado, con lo cual se evita el desgaste excesivo y la acumulación de depósitos, así como también se elimina el calor de las áreas de concentración relativa de altas temperaturas dentro del motor.

La mayoría de los aceites de motor están compuestos de aceites básicos y aditivos. Los aceites básicos, por lo general, son de origen mineral, aún cuando algunos son sintéticos. Los aditivos químicos se agregan a los aceites para motor según fórmulas que permiten obtener las características adecuadas para el funcionamiento, las cuales no tienen los aceites básicos.

#### **a) Propiedades físicas.**

El comportamiento de un aceite para motor, se ve afectado por sus propiedades físicas y químicas. La viscosidad es la propiedad física más importante; debe ser bastante baja a bajas temperaturas para permitir que el cigüeñal gire y que el motor arranque; debe ser bastante alta a altas temperaturas para dar una película

de aceite adecuada a las superficies de rozamiento. También se requiere una viscosidad suficientemente alta para ayudar a evitar el excesivo consumo del aceite a altas temperaturas. Otra propiedad física que afecta el consumo es la volatilidad; si esta es muy grande, puede presentarse un consumo inusitadamente elevado. Tanto la viscosidad como la volatilidad ejercen una gran influencia para la selección de los aceites básicos. También la viscosidad puede modificarse por medio de aditivos.

Los aditivos químicos cumplen también con otras funciones en un aceite para automóvil; por ejemplo, por medio de inhibidores de la oxidación, reducen ésta, así como la degradación térmica, la cual puede dar lugar a que el barniz se emplome, a que existan depósitos de lodos y a un excesivo espesamiento del aceite. Los aditivos detergentes-dispersantes forman suspensiones con los productos insolubles formados durante la operación del motor, lo cual significa que pueden separarse del motor en el momento en que se drena el aceite usado; las sustancias que evitan el desgaste son una buena ayuda para preservar las superficies que están sujetas a fricción, en especial aquellas que se encuentran en los límites de la lubricación; los agentes antiespumantes evitan la formación de espuma y de burbujas de aire y, en consecuencia, protegen contra sus efectos adversos sobre la presión de aceite y de la transmisión de calor; por último, los agentes inhibidores de polvo impiden la formación de productos corrosivos sobre las superficies ferrosas y reducen el desgaste por corrosión.

#### **b) Clasificación SAE.**

La Society of Automotive Engineer establece la clasificación de los aceites para motor en dos grupos generales, el primero en base a la viscosidad y el segundo conforme a su funcionamiento. En el primer grupo la viscosidad se mide tanto a  $-18^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{F}$ ), como a  $98.9^{\circ}\text{C}$  ( $210^{\circ}\text{F}$ ); así, los números de viscosidad SAE 5W y SAE 10W y 20W, están calculados en relación con  $-18^{\circ}\text{C}$ , en tanto que SAE 20, 30, 40 y 50 se miden con respecto a  $98.9^{\circ}\text{C}$ . Los aceites multigrado, como SAE

5W-20 y SAE 10W-30, son aquellos cuyas características de viscosidad satisfacen las necesidades de ambas temperaturas.

La clasificación del segundo grupo ya mencionado incluye los aceites del motor que se encuentra dentro de un intervalo de calidad en el funcionamiento que va desde un aceite mineral puro, al que se le han agregado elementos en pequeñas cantidades para mejorar su punto de fluidez o de congelamiento o depresores de espuma, hasta aquellos que se requieren para los vehículos de pasajeros que trabajan en condiciones muy severas y camiones de trabajo pesado que no operan en las carreteras de alta velocidad.

El comportamiento de estos aceites se evalúa en motores de prueba tanto de un cilindro como de varios. Entre los factores que se consideran están incluidos los siguientes: polvo, desgaste, formación de depósitos, consumo y grado de espesamiento del aceite.

#### **2.2.4 SISTEMA DE COMBUSTIBLE**

El sistema de combustible empieza en el cuello del tanque de gasolina y termina en las válvulas de admisión de la cabeza, en donde la mezcla vaporizada de aire y gasolina entra a las cámaras de combustión del motor. La bomba de la gasolina lleva el combustible líquido, a través de varios filtros, desde el tanque hasta el carburador, donde se mezcla con el aire y se pulveriza, y al entrar al vacío parcial del múltiple de admisión empieza a evaporarse.

La gasolina líquida no arde. Cuando parece que un charco de gasolina se está quemando, en realidad son los vapores que despide los que están en llamas; por ello, para obtener la máxima potencia del motor y el mayor rendimiento de la gasolina, además de reducir los contaminantes que produce la combustión incompleta, es necesario que la gasolina se vaporice al máximo antes de llegar a las cámaras de combustión.

En la mayoría de los motores, para facilitar la vaporización, parte del calor del sistema de escape llega al filtro del aire y al múltiple de admisión.

Cuando se comprime cualquier gas, incluso el aire, aumenta su temperatura. Así ocurre cuando se comprime la mezcla de aire y gasolina.

Los vehículos actuales cuentan con un sistema de control para retener los vapores de la gasolina. Estos vapores pasan por un conducto a un depósito (cánister) con carbón activado que los retiene, y al iniciar la marcha los envía al motor, donde se queman.

La alimentación de la gasolina al motor es realizada mediante un carburador o en los modelos más recientes mediante un inyector de combustible.

### **2.2.5 SISTEMA DE ESCAPE.**

El sistema de escape de los automóviles descarga los gases calientes y venenosos del motor a la atmósfera. Este sistema también reduce el ruido de la combustión y, en estos tiempos está adaptado con un convertidor catalítico en el que los contaminantes del escape se transforman por reacción química en sustancias menos tóxicas.

Los gases quemados son expulsados con gran fuerza de la cámara de combustión y las ondas de choque supersónicas a alta presión que generan, rebotan en el múltiple de escape varios miles de veces por minuto.

El mofle o silenciador absorbe estas ondas de presión y reduce el ruido al nivel permitido. En el caso de los mofles con empaque de fibra de vidrio, el nivel de ruido que producen queda apenas dentro de los límites legales. En cambio, los desviadores y las cámaras de expansión del mofle común permiten que los gases de combustión se expandan y disminuyan su velocidad, lo que reduce mucho la presión y el ruido. Algunos automóviles tienen dos mofles, montados uno detrás

del otro. El segundo, llamado resonador, absorber las frecuencias de ruido que el primero no eliminó.

El agua de los caminos corroe la parte exterior del sistema de escape. El agua y los vapores ácidos de la combustión corroen la parte interna, pero cuando el sistema de escape está muy caliente, estos vapores salen por el tubo de cola y causan un daño mínimo. Con el sistema de escape se calienta del motor hacia atrás, los componentes más alejados del motor son los que se corroen antes. En el automóvil que solo se usa para recorridos cortos el mofle se corroerá más rápidamente, y habrá que cambiarlo con más frecuencia que el de un automóvil que se usa para recorridos largos. Los componentes de acero inoxidable son los que duran más, pero son muy caros. Los recubiertos con aluminio son más baratos que los de acero inoxidable y duran más que los de acero sin recubrir.

En el caso de que el sistema de escape esté deteriorado y haya fugas estas no producen mucho ruido pero despiden monóxido de carbono, gas sin color ni olor que produce dolores de cabeza, disminución de visibilidad, sueño, reflejos lentos, náuseas, inconsciencia e incluso la muerte.

Las fallas del motor se pueden detectar al observar y escuchar el sistema de escape; un tono irregular puede deberse a defectos de encendido o a un mal ajuste del carburador. El humo negro en el escape indica una mezcla de gasolina demasiado rica o fallas en el sistema de inyección de aire. La salida de humo azul intenso cuando se acelera el automóvil revela que pasa aceite a la cámara de combustión porque las guías de las válvulas o los anillos del pistón están desgastados. El humo en el escape puede deberse también a que las mangueras de vacío succionan el líquido de los frenos o el de la transmisión automática hacia el múltiple de admisión, desde el reforzador de frenos o desde el modulador de la transmisión. El humo blanco indica fuga del líquido de enfriamiento.



## 2.3 SISTEMA DE CARBURACIÓN

Los carburadores hacen uso del principio que una baja presión (vacío parcial), creada a través de remover aire por medio de una bomba, atrae el aire circundante, para igualar el peso y presión del aire desplazado.

En el carburador de aspiración, la evacuación o remoción del aire por el pistón y su acción recíproca, reduce la presión del aire, dentro del espacio abajo del carburador. La presión más grande del aire del medio ambiente, fuera del motor, resulta en el movimiento del aire, a través de la abertura del carburador, para llenar el espacio producido por la reducción de la presión del aire dentro del motor. Este flujo de aire, continúa, tanto como se mantenga la diferencia de presiones, por el motor. Esta diferencia de presiones, se expresa como vacío de múltiple.

La configuración de la entrada del carburador, proporciona otra oportunidad, para producir una presión menor que la atmosférica.

En vez que exista un flujo de aire suave a través de la entrada, el aire es forzado a fluir por una restricción en forma de reloj de arena.

El efecto Venturi es posible debido a que el aire no es un fluido continuo; consiste en partículas separadas o moléculas. Cuando las partículas entran al venturi, viajan a la misma velocidad. A medida que el área se reduce, las partículas tienen que aumentar su velocidad, si todas quieren o deben pasar por la restricción. Así que las primeras partículas, se adelantan a las otras partículas que vienen atrás de ellas. Esto origina que la distancia entre las partículas sea más grande después de pasar a través de la restricción del venturi, creando un vacío parcial. Hay que recordar que un vacío parcial es un incremento de la distancia entre las partículas.

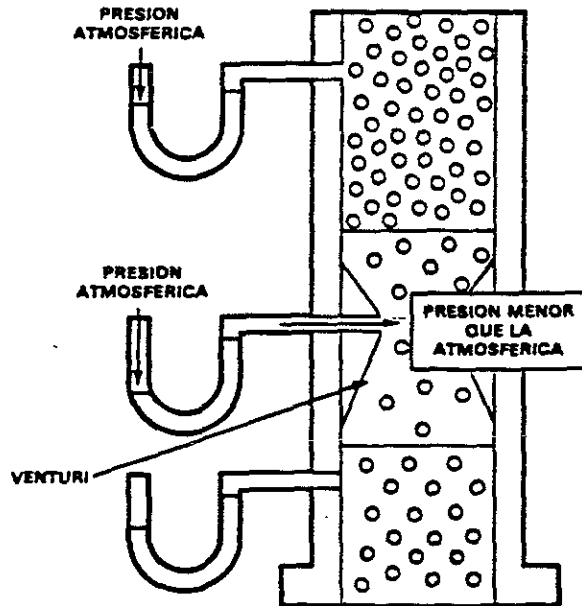


Figura 2 2 Efecto Venturi del carburador

La fuente de combustible para el carburador, está en una reserva colocada al lado del cuerpo principal y se llama cuba. El movimiento rápido del aire a través de la entrada del carburador, a una menor presión, causa que el combustible sea descargado por cada uno de los puertos dentro del carburador, debido a la mayor presión dentro de la cuba. El control de las cantidades de combustible, que entra a la corriente de aire, es regulada por las espreas de medición y por la calibración de las aberturas de los puertos de combustible. Existen pasajes entre la cuba y el venturi para permitir que fluya el combustible de la cuba al venturi. Estos pasajes son parte de los varios sistemas del carburador, incluyendo:

- Sistemas de marcha lenta.
- Sistema de baja velocidad.
- Sistema de medición principal.
- Sistema de enriquecimiento.
- Sistema de válvula de aceleración.

### 2.3.1 SISTEMA DE MARCHA LENTA

El motor en marcha lenta u operando a muy bajas revoluciones, la mezcla aire/combustible será proporcionada por los sistemas de marcha lenta y el de baja velocidad. El combustible continuará fluyendo como resultado de una diferencia de presiones, pero en lugar de utilizar el vacío creado por el venturi, usaremos vacío del múltiple de admisión. Para hacer este sistema operacional, necesitamos un ducto de combustible que se extienda de un puerto abajo de la mariposa hasta la cuba. Para la atomización, el puerto se extenderá hacia arriba para formar una purga de aire.

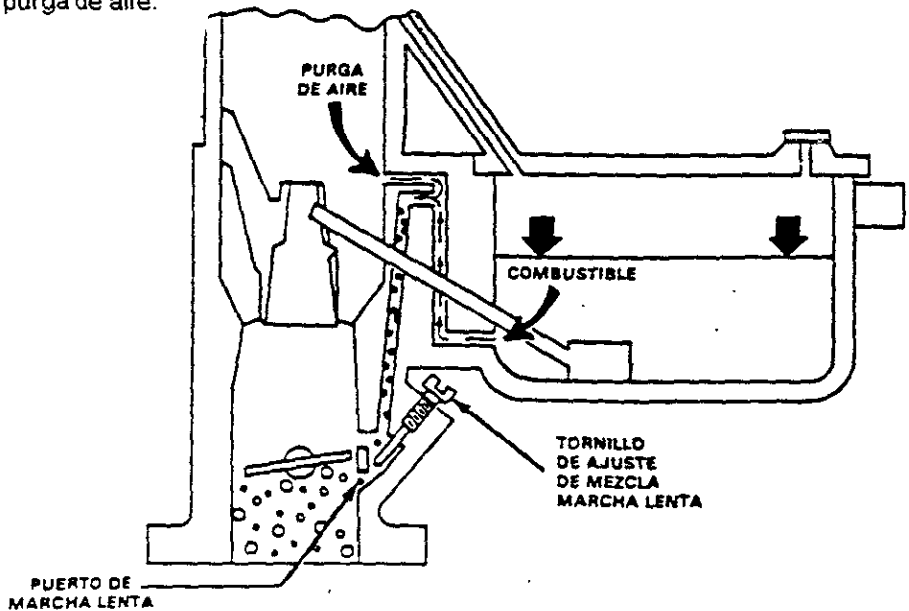


Figura 2 3 Sistema de marcha lenta del carburador.

Durante la operación, el vacío del múltiple creará la diferencia de presiones y la presión atmosférica empujará el combustible dentro del pasaje de marcha lenta, a medida que el combustible fluye por el ducto, se mezcla el aire y la mezcla finalmente atomizada entra al motor, abajo de la mariposa. Aunque esta mezcla es relativamente rica, se empobrece conforme se mezcla con la pequeña cantidad de aire que pasó por la mariposa cerrada

La mezcla se puede ajustar por medio del tornillo de ajuste para proporcionar la mezcla aire/combustible exacta. El tornillo se encuentra localizado en la base del carburador. Ahora los tornillos, están sellados y proporcionan un rango de ajuste muy pequeño.

### **2.3.2 SISTEMA DE BAJA VELOCIDAD**

El sistema de marcha lenta está limitado a un rango y muy estrecho de RPM. Una vez que la mariposa empieza a abrir, el sistema ya no es capaz de proporcionar la mezcla aire/combustible requerida. Se requiere un sistema de transición entre el de marcha lenta y el sistema de descarga principal. Este sistema no se origina en la cuba, es una extensión del sistema de marcha lenta.

Tan pronto como se abre la mariposa más allá de la posición de marcha lenta, la velocidad de aire aumenta e inmediatamente empobrecería la mezcla si no fuera por el pasaje de transferencia. Este intercepta al sistema de marcha lenta arriba de las mariposas. En marcha lenta, el combustible no puede descargar a través de este pasaje, debido a que no está expuesto a una diferencia de presiones. De hecho, este pasaje contribuye con una pequeña cantidad de aire al sistema de marcha lenta, conforme el combustible fluye por su camino hacia el puerto de descarga de marcha lenta.

A medida que la mariposa abre, el puerto de transferencia es expuesto al vacío del múltiple. El combustible que está fluyendo de este puerto, se mezcla con el aire adicional que pasa por la abertura de la mariposa para proporcionar la mezcla adecuada para la operación en baja velocidad.

El sistema que usamos para proporcionar en marcha la mezcla requerida, tiene una capacidad mayor que lo requerido por el motor. Su habilidad para entregar combustible está limitada por el tamaño del puerto de descarga de marcha lenta. Su capacidad adicional se usará para proporcionar una etapa de transición de marcha lenta a la nariz de descarga principal.

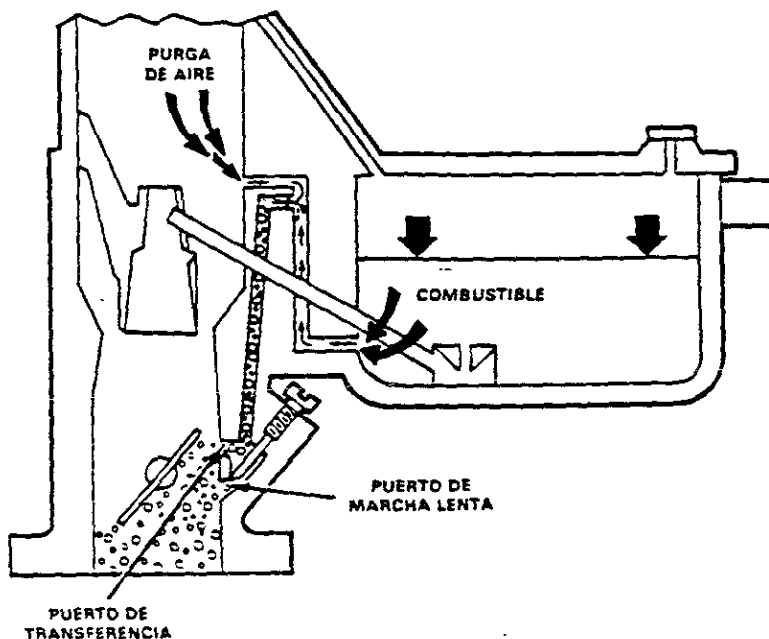


Figura 2 4 Sistema de baja velocidad del carburador

Para unir los puertos de baja velocidad y el de marcha lenta, se presenta un resumen de lo que sucede:

- Con la mariposa ligeramente abierta en marcha lenta, el vacío del múltiple es alto. La diferencia de presiones entre la cuba y el múltiple fuerza al combustible a través del sistema de marcha lenta hacia el puerto de descarga.
- Conforme la mariposa abre, el flujo de aire se incrementa, el puerto de transferencia se expone al vacío del múltiple. El combustible adicional que se descarga a través de este puerto evita que se empobrezca la mezcla, conforme ocurre la transición de marcha lenta a descarga principal.

- Incremento a la abertura de la mariposa se incrementa la velocidad del flujo del aire y el efecto venturi empieza a jalar combustible del tubo de descarga principal.

### **2.3.3 SISTEMA DE MEDICIÓN PRINCIPAL**

Conforme la mariposa continúa abriendo, la responsabilidad de proporcionar la mezcla aire/combustible requerida, se transfiere de los sistemas de marcha lenta y de baja velocidad al sistema de medición principal. Los sistemas de baja velocidad no cesan repentinamente de suministrar la mezcla aire/combustible. Es más que una transición gradual. Los sistemas de baja velocidad no cesan repentinamente de suministrar la mezcla aire/combustible. Es más que una transición gradual. Los sistemas de baja velocidad terminan su labor, cuando el sistema de medición principal empieza.

El sistema de medición principal, consiste de la nariz de descarga, el venturi principal, el venturi reforzado y la descarga principal. Estos componentes y su operación deben ser familiares debido a la construcción de nuestro carburador básico.

A medida que la mariposa se mueve hacia la posición de abierto, fluye una suficiente cantidad de aire a través del carburador para crear un vacío dentro del venturi. El extremo de la nariz de descarga, se posiciona en el área de baja presión por el efecto venturi. Ahora, existe una diferencia de presiones entre el extremo de la nariz y el combustible dentro de la cuba.

Esta diferencia de presiones permitirá a la presión atmosférica empujar el combustible de la cuba al sistema de medición principal. El combustible entra al sistema a través de la esprea de medición principal, localizada en el fondo de la cuba. El orificio a través de la esprea se llama orificio de medición y se puede ajustar para regular la cantidad de combustible que sale de la cuba. A medida que el combustible fluye por el sistema de medición principal, se mezcla con el aire y

la gasolina, se proporciona una mezcla atomizada en la nariz de descarga. La mezcla se vaporiza a medida que se mezcla con la corriente de aire que pasa por la nariz de descarga.

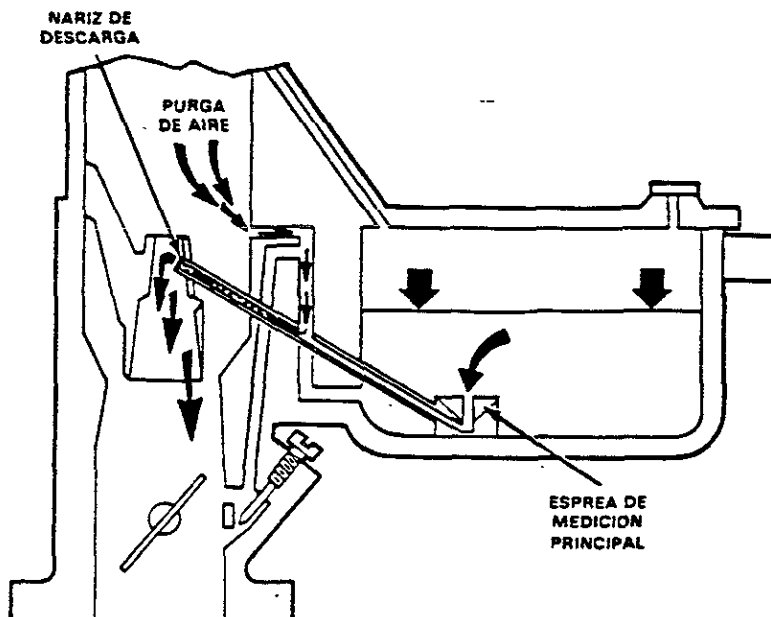


Figura 2 5 Sistema de medición principal del carburador

Mientras más rápido funcione un motor, más combustible fluirá a través del sistema de medición principal. La relación entre la velocidad del flujo de aire y el vacío de venturi, resultará en una relación aire/combustible casi constante, debido a que es mantenida por el sistema de medición principal desde aceleración parcial hasta aceleración total. El sistema de medición principal proporciona una mezcla aire/combustible más pobre que cualquier otro sistema de combustible dentro del carburador: Esto es posible debido a que el sistema principal funciona cuando el motor está operando en una condición de aceleración parcial y no está bajo carga

severa. Un motor puede operar eficientemente con una mezcla aire/combustible más pobre bajo esas circunstancias.

#### **2.3.4 SISTEMA DE ENRIQUECIMIENTO**

El sistema de medición principal es capaz de entregar la mezcla aire/combustible requerida, cuando son estables las RPM del motor. Si el motor sufre una carga repentina o se requiere un incremento de potencia, se necesita una mezcla más rica hasta que cesan los requerimientos de carga o de potencia extras. El combustible adicional es suministrado al sistema de medición principal por el sistema de enriquecimiento.

Debido a que existe un sistema de combustible adicional que proporciona combustible bajo condiciones específicas, el carburador tiene que recibir una señal indicando cambios en la demanda del motor, una vez que se recibe esta señal para entregar más combustible, el carburador tiene que responder instantáneamente y proporcionar la mezcla aire/combustible necesaria.

La señal recibida por el carburador puede ser transmitida a través de varillaje o vacío del múltiple de admisión. En cualquiera de esos dos casos se añadirá combustible adicional a la descarga del sistema de medición principal.

#### **2.3.5 SISTEMA DE ENRIQUECIMIENTO MECÁNICO**

En el carburador básico, se instala una esprea principal para regular la cantidad de combustible que entra al sistema de medición principal. El tamaño de la esprea se fijó y permitió entrar determinada cantidad de combustible al tubo de descarga principal. Para proporcionar enriquecimiento mecánico, se modifica la cantidad de combustible que fluye a través de la esprea principal de medición.

El dispositivo operado mecánicamente utiliza una barra de medición con dos o más pasos de diferentes diámetros. La barra de medición se fija al varillaje, con el extremo escalonado sobre la esprea principal de medición. Cuando se abre la



mariposa, su movimiento es transmitido a través del varillaje y se levanta la barra medidora de la esprea principal. Con aceleración parcial, el escalón más grande o de mayor diámetro está en su posición dentro. Esto, restringe en algo el flujo de combustible hacia la nariz principal. Sin embargo, está fluyendo suficiente combustible para proporcionar la mezcla aire/combustible apropiada requerida por un motor operando con aceleración parcial estable. Si se abre totalmente la mariposa, para una aceleración rápida, para aumentar las potencia o para vencer una carga, se levanta la barra medidora para pasar a otro diámetro. Ahora, la esprea está menos restringida y puede pasar una cantidad mayor de combustible a través de ella. El sistema de medición principal recibe más combustible, resultando una mezcla más rica.

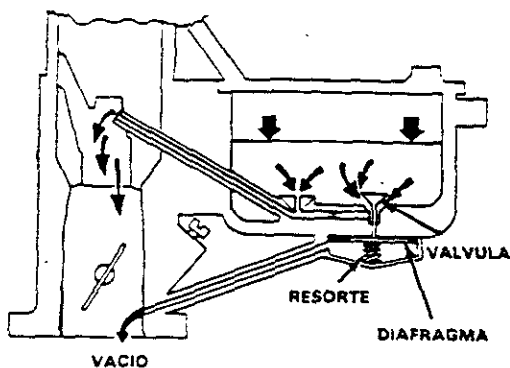


Figura 2 6 Sistema de enriquecimiento mecánico.

### 2.3.6 SISTEMA DE ENRIQUECIMIENTO POR VACÍO

Si se conecta un vacuómetro al múltiple de admisión de nuestro motor, notaríamos que las lecturas de vacío varían dependiendo de la velocidad y de la carga del motor. Con el motor funcionando a una velocidad estable, el vacío del múltiple es alto y estable. Si el motor se acelera repentinamente o se pone bajo carga, está operando bajo una gran demanda de potencia y caerá el vacío del múltiple. Estas variaciones en el vacío, se pueden utilizar como señales de

demanda de potencia, las cuales le dirán al carburador cuándo agregar combustible al sistema de medición principal.

La señal de vacío se dirige a través de un orificio barrenado, localizado abajo de la mariposa del carburador. Este puerto de vacío dirige el vacío del múltiple de admisión hacia un diafragma para operar la válvula de potencia. La válvula de potencia se conecta con la cuba donde abre y cierra un ducto de combustible, dependiendo de la cantidad de vacío aplicado al diafragma. Se conecta un resorte calibrado al vástago de la válvula y mantiene abierta la válvula. La válvula permanece abierta hasta que se aplica vacío al diafragma.

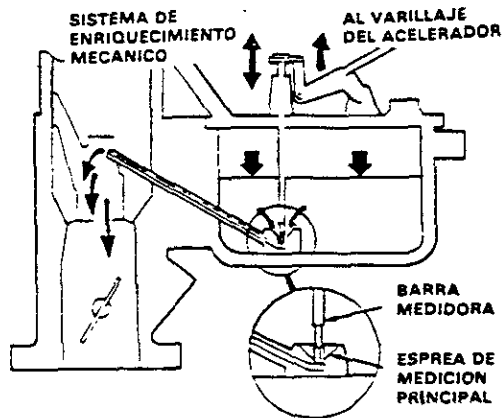


Figura 2 7 Sistema de enriquecimiento por vacío

Cuando el vacío está arriba de un valor especificado, la presión atmosférica dentro de la cuba forzará al vástago y al diafragma para cerrar la válvula. Todo el combustible que entra al sistema de medición principal está fluyendo a través de la esprea principal. Cuando el vacío del múltiple está abajo de un valor específico, el resorte de la válvula fuera de su asiento permitirá que fluya combustible adicional dentro del sistema de medición principal. Solamente entrará al sistema una cantidad determinada de combustible, debido a una restricción en el conducto

de enriquecimiento. Esta restricción actúa como una segunda esprea principal y tiene la misma función, la de medir la cantidad de combustible que entra al sistema principal durante la operación bajo carga severa.

### **2.3.7 ENRIQUECIMIENTO COMBINADO VACÍO/MECÁNICO**

Algunos carburadores utilizan un sistema de enriquecimiento que combina la operación por medio de vacío de una válvula con el movimiento mecánico de una barra de medición.

La barra de medición está eslabonada con la mariposa de tal modo que con aceleración total, el diámetro más pequeño de la barra medidora está colocado dentro de la esprea principal, permitiendo que entre más combustible al sistema principal.

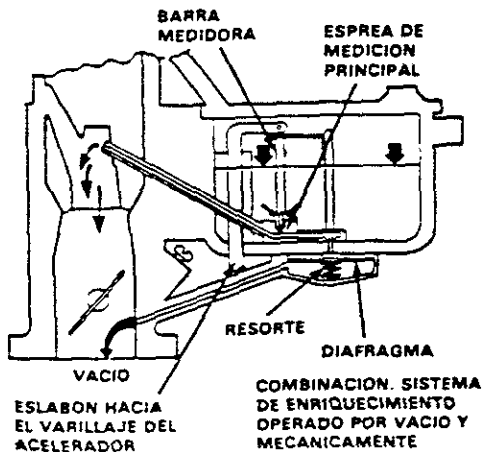


Figura 2 8 Sistema de enriquecimiento combinado mecánico/vacío

La barra también está conectada a un diafragma de vacío. Cuando la mariposa se abre y se mantiene estable a esa posición intermedia, el vacío de múltiple aplicado al diafragma mantendrá a la barra medidora en la posición baja. Si el

vacío del múltiple de admisión cae, debido a una aceleración rápida, la presión del resorte sobre el diafragma elevará la barra medidora, colocando un diámetro menor a ésta sobre la esprea principal, con esta situación, se restringe menos el combustible y resulta una mezcla más rica. Cuando el vacío se estabiliza, el diafragma se mueve hacia abajo y el diámetro mayor de la barra asienta sobre la esprea. Se restringe nuevamente la esprea principal, resultando una mezcla más pobre.

### **2.3.8 SISTEMA DE VÁLVULA DE ACELERACIÓN**

Si se abre repentinamente la mariposa para aceleración rápida, el motor requerirá un incremento inmediato de combustible y de aire. Debido a que el aire es mucho más ligero, requiere menos esfuerzo para ponerse en movimiento, la velocidad del flujo de aire se acelerará inmediatamente para cubrir la demanda adicional del motor.

La gasolina cuando se compara con el aire es pesada y requiere cierto tiempo para ponerse en movimiento y acelerarse para llegar a la velocidad del flujo requerido la distancia entre las velocidades de los flujos se tiene que llenar o la mezcla aire/combustible será pobre cuando se necesita una mezcla rica.

Si ocurre una situación de empobrecimiento durante la aceleración, el motor tendrá un "sentón" y después acelerará. Una condición de empobrecimiento severa, provocará explosiones en falso y falla de motor antes de que se pueda acelerar. La pequeña falla que ocurre es el tiempo que requiere el combustible para igualar el flujo de aire.

El sistema de bomba de aceleración enriquece la mezcla y evita una condición de empobrecimiento, descargando el combustible directamente al venturi del carburador. El flujo de aire acelerado envuelve la gasolina a medida que es descargada y entra al motor, llevando suficiente combustible para cubrir los requerimientos del motor. El combustible es entregado por un pistón recíprocante o una bomba de diafragma operada por un varillaje desde el acelerador.

Cuando se abre la mariposa en una bomba de pistón, su taza es forzada hacia abajo, dentro de un cilindro contra el combustible. El combustible fuerza la taza flexible contra la pared del cilindro, sellando el combustible dentro del cilindro. Si el pistón sigue moviéndose hacia abajo, fuerza al combustible a través del pasaje hacia la nariz de descarga.

Aunque parezca diferente, el funcionamiento y las funciones de la bomba de diafragma se parecen mucho a las de las bombas de pistón. Cuando se abre la mariposa, el varillaje fuerza al diafragma contra el combustible y descarga la corriente de aire que está entrando. En este tipo de bomba una válvula check de goma (llamado elastómetro), permite al combustible entrar a la cámara de la bomba al combustible de la cuba. Cuando ocurre la carrera de la bomba, la válvula sella el orificio entre la cuba y la cámara de la bomba. Cuando se libera la mariposa, la presión del resorte empuja a la bomba a su posición original. A medida que la bomba se mueve a la posición de acción, el orificio se rellena otra vez con combustible.

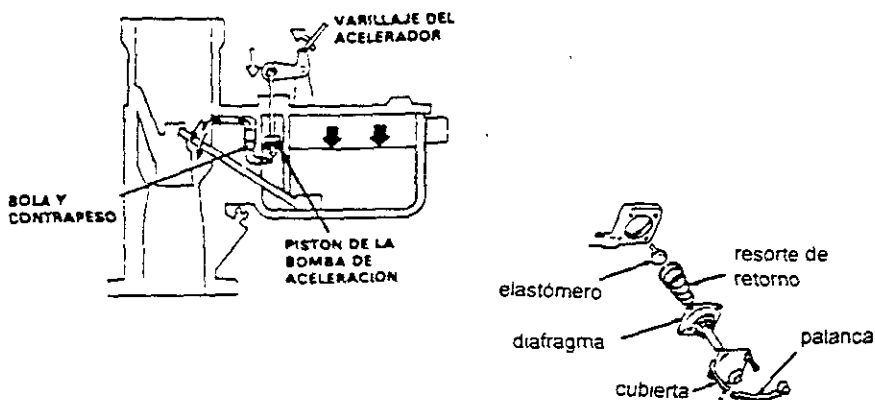


Figura 2 9 Sistema de bomba de aceleración del carburador.

Con la bomba tipo pistón, la copa flexible se relaja y el combustible fluye, pasando por la orilla de la copa hacia el cilindro. Con la copa tipo diafragma, la válvula check (elastómetro) se flexiona para descubrir el barrenado entre la cuba y la cámara de la bomba.

En cualquier caso, la válvula check la bola localizada en el extremo del pasaje de descarga, se asienta para evitar que entre el aire al sistema, cuando la bomba hace su carrera de relleno. Esta válvula check y el contrapeso ejecutan una función adicional una vez que se asientan. La bola y el contrapeso evitan que el combustible haga el efecto sifón a través del sistema de la bomba con alta velocidad del flujo de aire.

### **2.3.9 COMPONENTES AUXILIARES**

Los carburadores básicos tienen integrados componentes que no necesariamente toman parte para el funcionamiento del carburador, pero se añaden para lograr comodidades deseadas por el conductor y conseguir emisiones menos contaminantes. Estos componentes son:

- Sensor de posición de mariposas.
- Amortiguador de mariposas.
- Posicionadores de mariposas.
- Compensadores de altura.
- Ahogador.
- Interruptores.

El sensor de posición de mariposas es usado en los motores controlados por una computadora.

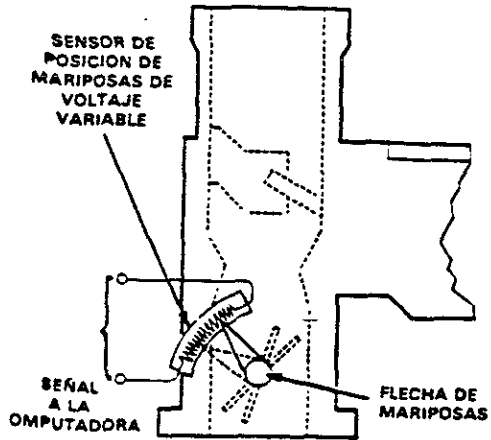
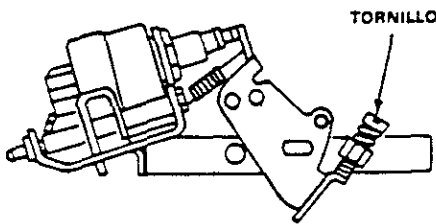
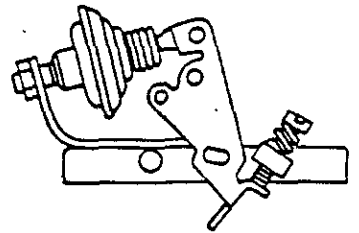


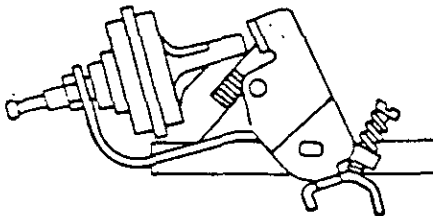
Figura 2 10 Sensor de posición de mariposas.



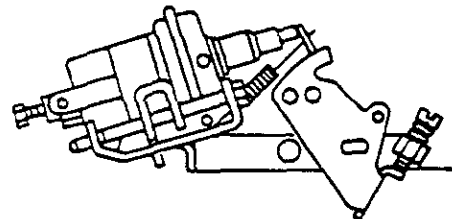
SOLENOIDE



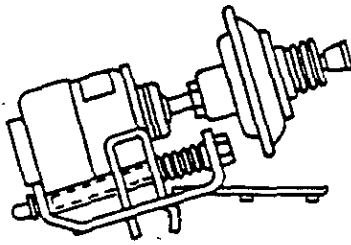
AMORTIGUADOR



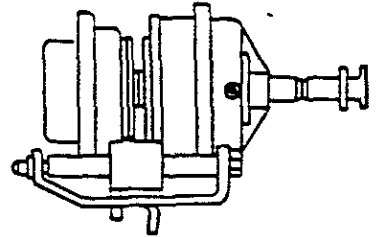
POSICIONADOR DE VACIO



SOLENOIDE/DIAFRAGMA



SOLENOIDE/AMORTIGUADOR



AMORTIGUADOR

Figura 2.11 Dispositivos de control de mariposas.

### 2.3.10 POSICIONADORES DE MARIPOSAS

Los posicionadores de mariposas se utilizan para aumentar las revoluciones de marcha lenta del motor. Mientras más altas sean las RPM de marcha lenta se ayuda más al control de las emisiones y en los vehículos equipados con aire acondicionado evita un sobrecalentamiento o que se pare el motor cuando entra en funcionamiento el compresor. Para ayudar a cubrir las emisiones de control más estrictas, las relaciones aire/combustible del carburador se empobrecieron hasta el punto donde el motor tuviera una marcha lenta suave, solamente a altas velocidades, las altas revoluciones de marcha lenta ayudan a disminuir las emisiones pero crearon otro problema.

Cuando se apaga un motor con altas RPM de marcha lenta, continuará funcionando aún cuando el interruptor de encendido está en la posición de apagado. Esta situación se llama efecto Diesel y ocurre cuando el flujo de aire y combustible pasan por la mariposa parcialmente abierta y se enciende dentro del cilindro. Para eliminar este problema, se posiciona un vástago operado eléctricamente para mantener abiertas las mariposas a unas RPM específicas. El circuito se completa y el vástago sale solamente cuando la llave se gira a la posición de encendido. Cuando la llave se gira a la posición de apagado, el



vástago se contrae y la mariposa se cierra lo suficientemente para evitar el efecto Diesel.

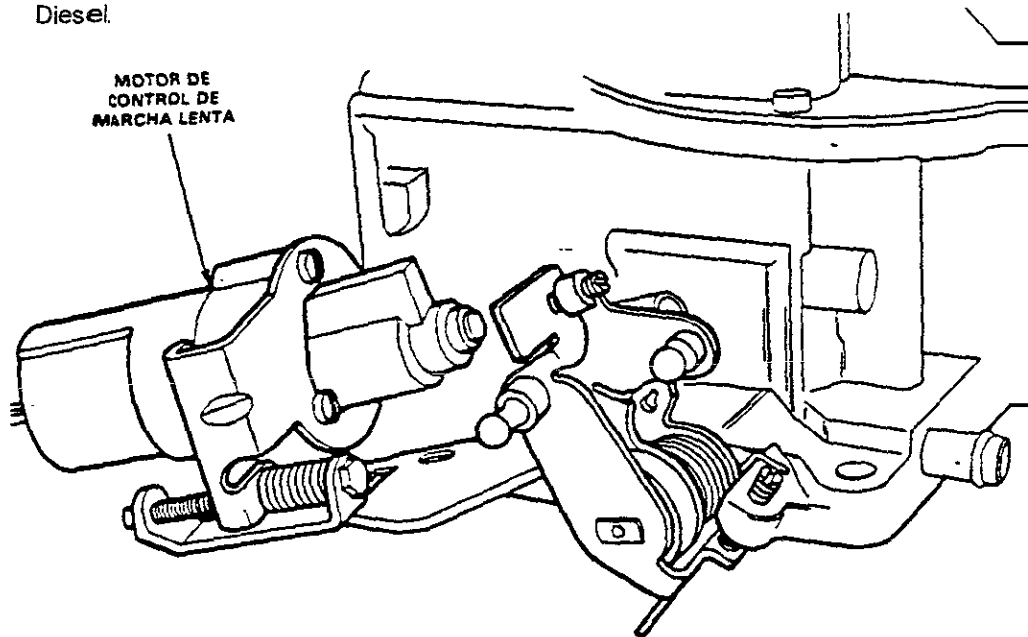


Figura 2 12 Motor de control de marcha lenta. Dispositivo de control de mariposas.

### 2.3.11 COMPENSADOR DE ALTURA

A medida que la capa de aire se vuelve más delgada, la mezcla aire/combustible será más rica. Antes de que los carburadores fueran forzados a operar con mezclas pobres, como resultado de un control de emisiones, los cambios en la altitud eran menos importantes. La frontera de pobreza de los carburadores recientes no proporcionan un rango que compense los cambios de altura.

La mezcla rica se puede empobrecer introduciendo aire suplementario. El aire entrara al carburador a través de una válvula, la cual será abierta y cerrada por un compensador de altura. Este dispositivo contiene una cápsula aneroide que se mueve en relación a los cambios en la presión atmosférica. El aneroide es un fuelle al que se le ha sacado todo el aire, lo cual le permite actuar como un

barómetro. Cuando sensa una menor presión atmosférica se abre la válvula medidora y fluye aire a través del ducto para descargar en un puerto localizado entre el venturi reforzado y la mariposa.

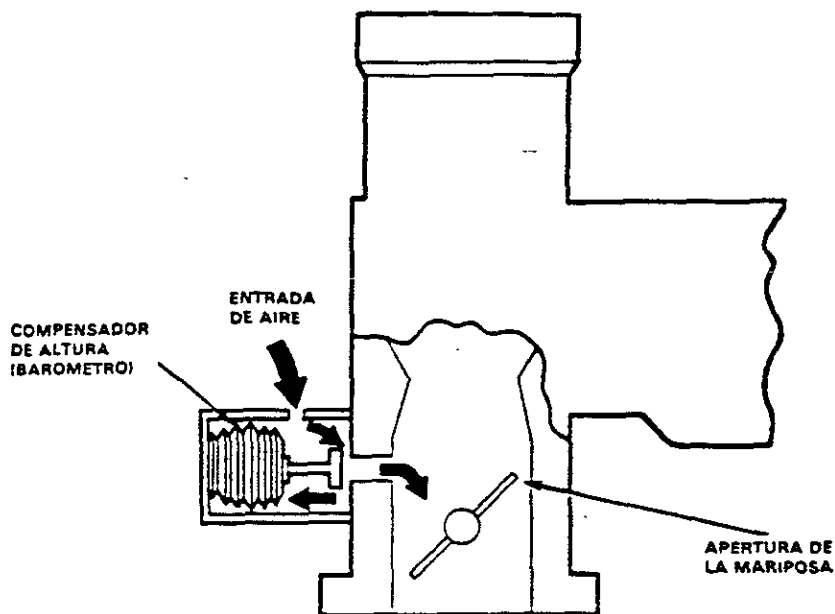


Figura 2 13 Compensador de altura

### 2.3.12 AHOGADOR

Un carburador se enfrenta a dos problemas cuando el conductor intenta poner en marcha un motor frío. Primero, debido a que las velocidades normales para dar marcha son de 100 RPM, la cantidad de aire que fluye por el carburador es muy pequeña. Con este flujo tan pequeño, no se puede crear una diferencia de presiones dentro del venturi y el combustible no saldrá de la cuba. En adición a una velocidad baja del flujo de aire el combustible no vaporiza tan rápido como el combustible caliente.

De hecho, el combustible y el motor pueden estar tan fríos que el combustible que entra al motor se condensa, al entrar en contacto con el múltiple de admisión que

está frío. A menos que la mezcla se enriquezca con combustible adicional, el quemado lento del combustible parcialmente vaporizado originará una pérdida de potencia y que el motor se pare. Si la mezcla se enriquece lo suficiente, el vapor de combustible entrará a los cilindros para que el motor funcione suavemente desde que empieza a funcionar.

Este problema (bajo flujo de aire y altos requerimientos de combustible) se resuelve con el sistema de ahogador.

Como hemos visto, el ahogador consiste en una placa montada en la parte superior del carburador. Cuando se cierra, se restringe el aire de entrada y pasa muy poco dentro del carburador. La placa materialmente bloquea el paso del aire. Cuando se le da marcha al motor, con el papalote cerrado, el vacío del múltiple de admisión se expande y llega hasta el Venturi del carburador.

Ahora existe una diferencia de presiones muy grande dentro del venturi y el combustible será empujado de la cuba a través de la nariz de descarga principal. La cantidad de combustible entregado y la poca cantidad de aire, produce una mezcla aire/combustible lo suficientemente rica para encender el motor.

Tan pronto como el motor arranca, su velocidad aumenta inmediatamente de la velocidad de arranque 100 RPM a la velocidad de marcha lenta acelerada que a menudo excede las 1200 RPM. Para empobrecer la mezcla, el papalote abre un poco para permitir un flujo mayor de aire. Esta pequeña abertura de la placa se llama retroceso del papalote y es necesaria para evitar una mezcla demasiado rica que provocaría que el motor fallara.

### **2.3.13 INTERRUPTORES**

Si está montado un interruptor en el carburador, se puede usar el movimiento de la mariposa para abrir y cerrar un circuito eléctrico, al abrir y cerrar el circuito se

puede activar o desactivar un componente eléctrico aunque esté montado lejos del motor.

Una de esas aplicaciones es el interruptor de aceleración total montado en la base del carburador y se usa para abrir y cerrar el circuito que opera al compresor del aire acondicionado.

Los interruptores de este tipo se pueden usar para cualquier aplicación donde tiene que ocurrir un evento en particular a una determinada abertura de las mariposas.

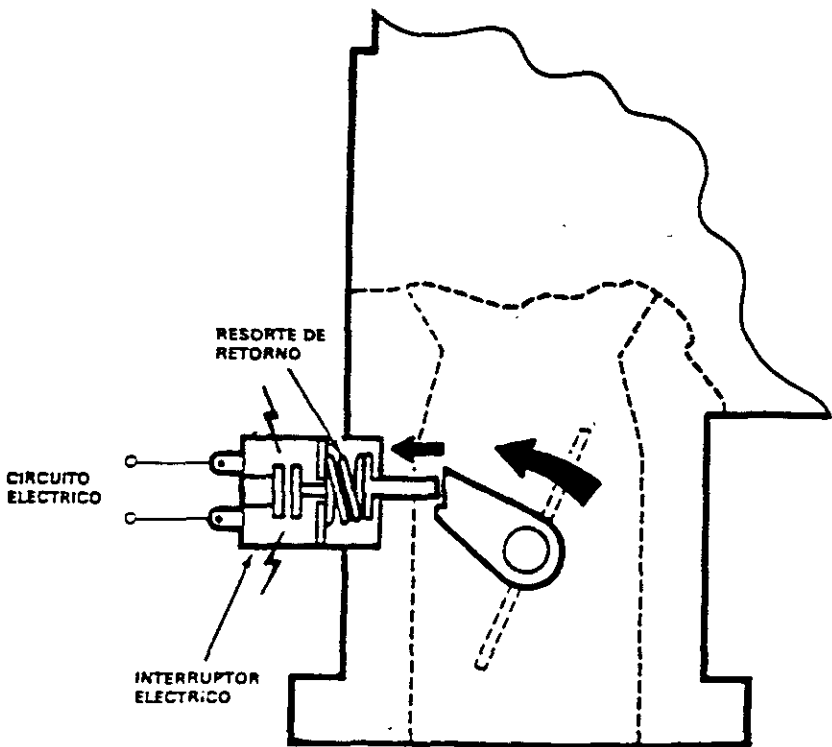


Figura 2 14 Interruptor en el carburador

## 2.4 INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

El sistema de inyección de combustible en los motores de automóviles de uso diario, es un método de alta tecnología necesario para alcanzar niveles más altos de rendimiento.

La inyección de combustible es el método de introducir gasolina y aire a las cámaras de combustión en la proporción más adecuada. Este sistema sustituye al carburador, el cual no logra una mezcla tan precisa en cualquier momento.

Un carburador, incluso el más complejo, es básicamente un instrumento simple rodeado de un buen número de sistemas que corrigen las deficiencias que son inherentes al diseño mismo del carburador. En sí, el carburador contiene varios sistemas en un solo cuerpo. Hay un sistema que mezcla el combustible y el aire para la marcha mínima; este sistema necesita a su vez algún método para enriquecer la mezcla al calentar el motor estando frío. Otro sistema es necesario para entregar gasolina en la aceleración, o sea, hacer la mezcla más rica cuando se abre repentinamente la garganta y evitar así que el motor se pare. Se necesita otro sistema más para mezclar combustible y aire en la proporción correcta para mantener el automóvil a determinada velocidad en el camino.

Diseñar los sistemas para cada uno de estos modos de operación requiere un instrumento complejo, y cada sistema trabaja para como fue diseñado. Solo que ningún motor va instantáneamente de marcha mínima a aceleración, o de ésta a una marcha estable, ni esta marcha estable es siempre la misma. Si así fuera, no habría necesidad de tantos subsistemas del carburador ni de inyección de combustible. La operación del carburador se vuelve ineficiente cuando dos o más subsistemas trabajan al mismo tiempo tratando de dar la mezcla adecuada.

El moderno sistema de inyección de combustible es la solución a los inconvenientes que presenta el carburador. Valiéndose de sensores montados en

varias partes del motor, la computadora puede determinar exactamente la mezcla requerida en cualquier momento. El sistema de admisión de aire es una simple puerta para oxígeno (Aire) más que un sistema de mezcla; de modo que el aire que entra puede ser medido y regulado a la necesidad precisa del motor.

El combustible es inyectado a la masa de aire justo arriba de la válvula de admisión de cada cilindro, y de este modo no hay problema respecto a que un cilindro que esté cerca del carburador reciba una mezcla más rica que otro cilindro que esté lejos del carburador. La computadora recibe lecturas de: Temperatura del motor, Revoluciones Por Minuto (R.P.M.), la cantidad de aire que entra por el filtro de aire, la abertura, la puerta de admisión de aire (estrangulador), la temperatura de ese aire, la presión del múltiple de admisión, la presión exterior (barométrica), y muchos otros factores ajustando la mezcla de combustible y aire a las necesidades del motor, alrededor de mil veces por segundo.

Es importante identificar todos los componentes de un sistema, cómo trabajan y su relación con el resto del sistema, antes de intentar cualquier mantenimiento y reparación de un modelo determinado. Todos los sistemas de inyección son delicados y vulnerables al polvo, agua, óxido y manejos descuidados. Igualmente algunos aditivos para gasolina pueden dañar las líneas de combustible o algunos componentes como el sensor de oxígeno.

## **COMPARACION DE LOS CIRCUITOS DE UN CARBURADOR Y UN SISTEMA DE INYECCION**

<b>CARBURADOR</b>	<b>SISTEMA DE INYECCION</b>
bomba del acelerador	interruptor de garganta abierta
eje de ralenti rápido	conducto auxiliar de aire
botón del ahogador	interruptor Thermo-Time
flotador	regulador de presión
depósito del flotador	múltiple de gasolina (admisión)
espreas	inyectores de combustible

ahogador  
cable del acelerador  
tornillo de ajuste de RPM  
solenoides de ralentí rápido

válvulas de encendido en frío  
cable del estrangulador  
tornillo de ajuste de paso de aire  
válvula de control de aire en  
ralentí

NOTA: Esta es una lista de comparaciones generales. Algunos de los sistemas de inyección pueden no usar algunos componentes enlistados, mientras utilizan otros sensores o componentes.

#### **2.4.1 TIPOS DE INYECCION DE COMBUSTIBLE.**

Existen tres tipos básicos de inyección de combustible en los automóviles modernos a gasolina.

- Inyección de combustible por tiempos TFI (Timed Fuel Injection).
- Inyección continua de combustible CFI (Continuous Fuel Injection).
- Inyección por el cuerpo del estrangulador TBI (Throttle Body Fuel Injection).

Estos sistemas pueden adoptar diferentes nombres con cada marca de automóvil, pero es necesario hacer notar que los sistemas de un mismo tipo son muy similares entre sí. Variando únicamente en algunos componentes o sensores, y en forma de adaptarlo al motor en particular: en línea o en V, transversal o paralelo, de 4, 6 u 8 cilindros.

El tipo de inyección más usado en México es el de inyección por tiempos, pero tal vez sean introducidos sistemas de inyección continua.

Existen además subdivisiones dentro de estos tres tipos; la inyección de combustible por tiempos puede ser mecánica o eléctricamente templada. La inyección continua puede ser mecánica o controlada por computadora.

## **2.4.2 INYECCION DE COMBUSTIBLE POR TIEMPOS**

Este tipo de inyección fue en su momento muy popular en los automóviles de carreras, ya que permite la entrega de idénticas cantidades de gasolina para cada cilindro, en grandes cantidades y solamente al abrirse la válvula de admisión. Hay dos tipos básicos de inyección mecánica por tiempos: Alta presión con una unidad medidora, y baja presión con una bomba de inyección. Con el sistema de alta presión la gasolina es entregada del tanque a la bomba medidora de inyección a muy alta presión, de 100 a 125 lbs/ in<sup>2</sup>. Una válvula de alivio en el sistema medidor regresa la gasolina no usada al tanque, de tal manera que la presión permanece constante a todas las velocidades del motor. Dentro de la unidad medidora, un rotor girado por el motor directamente, distribuye la gasolina a cada inyector en el momento justo. El rotor gira a una y media vueltas del cigüeñal, y así cada inyector recibe gasolina solo en la carrera de admisión.

Las toberas de los inyectores tienen un resorte de cierre automático, permaneciendo cerradas hasta que son forzadas a abrirse por la alta presión de la gasolina.

El segundo tipo de inyección mecánica por tiempos, de baja presión con una bomba de inyección (también usada en motores Diesel), entrega gasolina del tanque a la bomba de inyección a baja presión. Esta bomba es una hilera o serie de pistones que proporcionan una cantidad exacta de gasolina en el preciso momento a cada cilindro; hay un pistón por cada cilindro del motor. De hecho la bomba de inyección es un pequeño duplicado del motor, pero bombea gasolina derecho al motor y no una mezcla de aire/gasolina.

## **2.4.3 INYECCION ELECTRÓNICA**

Al igual que la inyección mecánica por tiempos, la gasolina es entregada a un inyector (colocado usualmente arriba de la válvula de admisión), por una bomba de alta presión. La diferencia estriba en que el inyector es electrónicamente controlado, y eléctricamente abierto. La computadora decide el momento de



abertura respondiendo a los sensores distribuidos en el motor y manda una señal de inyector preciso, el cual contiene un solenoide que abre la tobera, la que a su vez atomiza la gasolina sobre la válvula. La cantidad de gasolina inyectada se determina por el tiempo que dura energizado el solenoide, ya que la presión en el conducto de la gasolina es constante siempre. Ese tiempo es decidido por la computadora.

#### **2.4.4 INYECCIÓN CONTÍNUA DE COMBUSTIBLE**

Este sistema es mucho más sencillo que los sistemas anteriores, y por lo tanto menos preciso y eficiente. Debido a esto es más fácil su producción y mantenimiento. Este sistema ha permitido ofrecer automóviles comparativamente más baratos, equipados con inyección de combustible.

Al encenderse el motor, todos los inyectores se abren y permanecen así hasta que se apaga el motor. La gasolina es llevada a una unidad medidora y una válvula en esta unidad controla la cantidad de gasolina suministrada a los inyectores. Un sensor en el sistema de admisión mide la cantidad de aire que entra al motor y ese dato determina la cantidad de gasolina a inyectar. Los inyectores, colocados usualmente sobre la válvula de admisión, como en los sistemas de inyección por tiempos, atomizan gasolina incluso cuando la válvula de admisión está cerrada. Esto reduce ligeramente el rendimiento de la gasolina y por ende, la eficiencia del motor.

#### **2.4.5 INYECCIÓN POR EL CUERPO DEL ESTRANGULADOR**

Este tipo de inyección de combustible es muy usado en los automóviles norteamericanos. Es un sistema híbrido, que utiliza el punto central de distribución de mezcla del carburador, y la inyección de combustible controlada electrónicamente.

Estos sistemas utilizan uno o dos inyectores con solenoide, controlados por una computadora que lee las condiciones del motor y de manejo, y regula el tiempo de

abertura controlando la mezcla. Como se dijo, la gasolina es atomizada por uno o dos inyectores que equivalen al carburador, dentro de un múltiple esencialmente convencional.

La ventaja de este sistema sobre el carburador es la eliminación de los sistemas de flotación, de marcha mínima, de aceleración, y de los sistemas especiales de medición, sustituyéndolos por precisos solenoides.

#### **2.4.6 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES**

Es importante hacer notar que en esta sección se presentan los componentes de los tres tipos de sistemas de inyección. No todos los componentes se utilizan en todos los automóviles, es decir que cualquier automóvil utilizará sólo algunos de ellos.

#### **2.4.7 MICROPROCESADORES Y COMPUTADORAS**

El componente principal de los sistemas de inyección de combustible modernos es la computadora o unidad de procesamiento de datos, con siglas en inglés de ECU o ECM. Existen automóviles modernos que llevan pequeñas de abordo incluso sin estar equipados con sistemas de inyección. Estas computadoras controlan algunas de las funciones del motor o de los equipos, como control climático, transmisión automática, velocidad, etc., ya que el campo de aplicación de la computadora en el terreno automotriz es muy amplio.

A su vez, el microprocesador es la parte principal de la computadora; es el componente pensante, por el que pasan y son procesados o computados los impulsos eléctricos provenientes de los sensores e interruptores. El microprocesador es actualmente un circuito microscópico con miles de conductos y entronques semiconductores del tamaño de un botón. Este microprocesador incluye lo más importante en toda la computadora: el programa.

Todas las computadoras requieren un programa para su funcionamiento; en una computadora automotriz, diseñada para un comportamiento específico, es muy difícil o a veces imposible alterar el programa. Existen varios tipos de programas en las computadoras de automóviles en producción:

- “Memoria de acceso aleatorio” o RAM, que permite a la computadora guardar datos temporalmente mientras esperan a ser usados por el programa. También permite guardar datos que serán enviados a algún componente en forma de instrucción. Los datos guardados en la memoria RAM se pierden siempre que se apaga el motor.
  
- “Memoria de lectura” o ROM, la cual es permanente y que sirve para guardar instrucciones que no requieren de un proceso de cómputo para obtener el resultado o la instrucción final. El microprocesador lee una tabla de instrucciones pre-computadas y así ahorra tiempo en ordenar operaciones a los componentes del sistema. Esta memoria no se pierde y tampoco es posible re programarla.
  
- “Memoria programable de operaciones” o PROM, en inglés “Programmable read only memory”, la cual nunca se pierde y es inaccesible. Esta memoria contiene los datos y especificaciones del motor y del automóvil. La memoria PROM es diferente para cada automóvil y es removible del cuerpo de la computadora. Es un circuito integrado (CI) que necesita ser cambiado siempre que se le cambie la computadora al automóvil, de tal modo que la nueva computadora utilice la memoria PROM original del automóvil, es decir su almacén original de datos.

Como el ECU es un dispositivo de estado sólido (sin partes móviles) muy raramente falla estando en servicio, a menos que sea conectado en forma

equivocada. Dos precauciones que deben observarse cuando se trabaja con el ECU son:

- Nunca se debe conectar o desconectar el ECU con la llave de ignición en la posición ON.
- Siempre se debe tener extremo cuidado al conectarlo asegurándose que las zapatas sean conectadas en las entradas correspondientes, sin cruzarse.

La computadora de a bordo contiene además una memoria auxiliar de instrucciones de operación, no borrrable, que entra en funcionamiento cuando ocurre una falla tal en el sistema que impide una operación normal de automóvil, según la "opinión" de la computadora. El funcionamiento del automóvil bajo el gobierno de esta memoria llamada CALPAK en los sistemas G.M. es limitado. Baja velocidad con poco rendimiento de gasolina por ejemplo, pero permite rodar el automóvil hasta un taller de servicio capacitado a corregir la falla. El CALPAK al igual que la PROM, es removible del cuerpo de la computadora y debe ser cambiado junto con la PROM al cambiarle la computadora del automóvil.

Tanto la unidad PROM como la CALPAK son accesibles quitando la tapa superior del cuerpo del ECU.

#### **2.4.8 AUTO-DIAGNÓSTICO DE LA UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICO (ECU)**

Algunas computadoras de a bordo están capacitadas para diagnosticar fallas en el sistema y guardar en su memoria los datos referentes a cualquiera que ocurra. Existe un procedimiento especial para cada modelo de computadora, para recuperar dichos datos del ECU e interpretarlos mediante una lista de códigos de fallas. El número de códigos guardados y su significado varían de un fabricante a otro de automóviles. Activando la modalidad de diagnóstico y contando el número

de parpadeos en una luz especial en el tablero de instrumentos o en una herramienta especialmente conectada, puede el mecánico ser informado por el mismo automóvil dónde está la falla y qué revisar, para así aislar poco a poco el problema. Se hace notar que un código indicado es solamente la señal de que el componente correspondiente está fallando, y no es un análisis de ese componente. Un código de falla que indique que un componente ha fallado, es posible que se deba a un falso contacto del arnés de ese componente, y no a una falla mecánica.

NOTA: Siempre se tiene que borrar los códigos de falla guardados en la memoria al terminarse la reparación, o la misma falla seguirá siendo diagnosticada en futuras revisiones aún reparado el desperfecto.

#### 2.4.9 LA COMPUTADORA

Comúnmente llamada módulo de control electrónico (ECM), o unidad de control electrónico (EUC), la computadora es el corazón del sistema electrónico de inyección y del sistema de inyección por el estrangulador. Es una caja de 15 cm más o menos, localizada en algún punto del cofre del tablero. Dentro de esa caja está un circuito microscópico llamado *chip*, del tamaño de un botón. Es el microprocesador que responderá a ciertos impulsos eléctricos que ha de recibir de los diversos sensores colocados en el motor; éstos se describen a continuación.

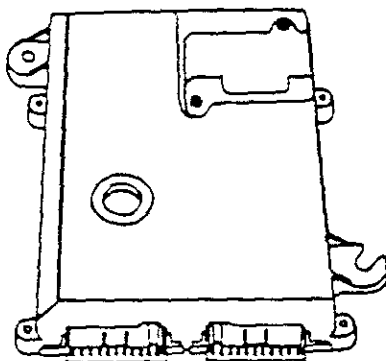


Figura 2 16 Unidad de control electrónico

#### **2.4.10 SENSOR DE POSICIÓN DEL ESTRANGULADOR (TPS)**

Este sensor está montado en la cámara del estrangulador, se mueve de acuerdo al pedal del acelerador, y manda una señal de posición al ECU. En la mayoría de los casos el sensor registra sólo dos posiciones: marcha mínima y abertura total del estrangulador. Pero en algunos casos también registra la posición de abertura media de la mariposa, es decir, reporta tres posiciones.

Cuando el estrangulador está en posición de marcha mínima (cerrado), este sensor reporta al ECU que necesita enriquecer la marcha mínima, y cuando el motor es apagado, el sensor manda una señal que corta el suministro de electricidad a la bomba de combustible, cortando así el flujo de gasolina.

El sensor también cancela la electricidad al sensor de oxígeno cuando el vehículo avanza libremente en bajadas (con motor encendido), para que el exceso de oxígeno no afecte al sistema. En todos los sistemas, por el estrangulador pasa únicamente aire.

#### **2.4.11 SENSOR DE FLUJO DE AIRE (AF)**

Este sensor consiste en un plato o paleta localizado en el venturi; que se levanta por la presión del aire que entra al motor. Mientras más aire entra, más se levanta la paleta, la cual está conectada al émbolo de control en el distribuidor de gasolina.

#### **2.4.12 SENSOR DE MASA DE AIRE (MAF)**

Es un cable de platino (o una delgada película) localizado en el paso del aire, que es calentado por un amplificador electrónico, el cual mide la resistencia a la corriente. Mientras más se calienta el cable o película, más resistencia presenta. El amplificador controla el flujo de corriente para mantener el cable a una temperatura predeterminada, y así someterlo también a cierta resistencia. El aire al pasar enfría el cable, y mientras más aire pase más se enfriará el cable y más corriente se necesitará para mantenerlo a su temperatura, y esa mayor cantidad de corriente es reportada al ECU (computadora).

### **2.4.13 SENSOR DE OXÍGENO**

Este sensor localizado al paso de los gases del escape, generalmente en el múltiple de escape, permite el ECU modificar la relación aire/combustible y así controlar las emisiones. El sensor mide constantemente la cantidad de oxígeno no quemado y con este dato el ECU puede enriquecer o empobrecer la mezcla para un adecuado control de emisiones. El sensor opera sólo cuando ha sido calentado por el escape, por eso algunos sensores incluyen un calentador eléctrico que opera cuando se enciende el motor frío, y poder funcionar de inmediato en forma normal; este tipo de sensor de oxígeno tiene tres alambres conectores. El sensor sin calentador tiene sólo dos.

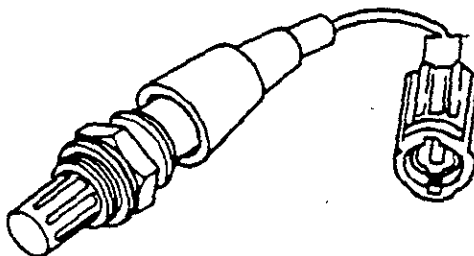


Figura 2 17 Sensor de oxígeno

### **2.4.14 SENSOR DE TEMPERATURA DEL MOTOR**

Cuando el motor está frío se necesita más combustible, y al igual que el ahogador en el carburador el sensor permite al ECU mantener más tiempo abiertos los inyectores hasta que el motor se calienta, existen dos métodos para reportar la temperatura del motor, un modo de revisar la temperatura del anticongelante (o agua del radiador) con un bulbo. El otro modo, más preciso y usado en automóviles más nuevos, es insertar el sensor en la cabeza del cilindro.

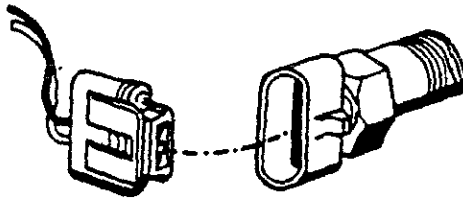


Figura 2.18 Sensor de temperatura del motor.

El sensor de temperatura del motor permite reducir el enriquecimiento de la mezcla conforme aumenta la temperatura del motor.

#### **2.4.15 SENSOR DE TEMPERATURA DEL COMBUSTIBLE**

Al calentarse la gasolina se expande y por ello una gasolina caliente da una mezcla más pobre. El sensor se localiza generalmente en el regulador de presión de combustible, permite al ECU enriquecer la mezcla cuando el combustible llega a una temperatura predeterminada.

#### **2.4.16 SENSOR DE DETONACION**

Este sensor está montado en el bloque de cilindros, generalmente en automóviles de alto rendimiento y turbocargados. Sirve para detectar condiciones de pre-ignición causadas por gasolina de bajo octanaje o excesiva temperatura en la cámara de combustión, a su vez causada por un tiempo de encendido demasiado adelantado. El ECU entonces puede enriquecer la mezcla o retrasar el tiempo de encendido, o ambas cosas.

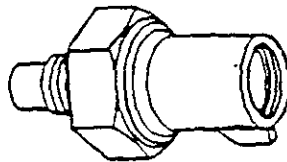


Figura 2.19 Sensor de detonación.



#### **2.4.17 SENSOR DE VELOCIDAD**

Se incluye un sensor de velocidad de automóvil en algunos sistemas para mandar al ECU una señal modificada de las R.P.M. del motor. Este sensor se halla en los velocímetros ordinarios.

#### **2.4.18 SENSOR DE OPERACIÓN DEL TURBOCARGADOR**

En un automóvil turbocargado no siempre está funcionando el turbocargador, sino en solo ciertos momentos; aceleración repentina o cierta alta velocidad. En esos momentos en que opera el turbo, se necesita una mezcla más rica, y el ECU podrá modificarla a las necesidades del momento.

En ciertos modelos el ECU también protege al motor de sobre-rendimiento del turbocargador, cortando el suministro de gasolina.

#### **2.4.19 SENSORES DE PRESIÓN BAROMÉTRICA**

El sensor de presión barométrica registra alteraciones en la presión atmosférica debido a cambios de temperatura o altitud, lo que significa variación en la cantidad de aire que entra al motor, y por lo tanto, cambios en las necesidades de combustible.

El sensor de presión del múltiple registra los cambios de presión que dependen de la carga y velocidad del motor, y de la abertura del estrangulador. Manda entonces los datos al ECU, el cual combina la información de ambos sensores para determinar la cantidad de combustible necesaria bajo condiciones de operación normales.

#### **2.4.20 SENSOR DE TEMPERATURA DEL AIRE EN EL SISTEMA DE ADMISIÓN**

Al cambiar la temperatura del aire, su densidad se modifica y la mezcla no será adecuada. Este sensor permite aumentar o disminuir la cantidad de combustible para adecuarla a la densidad del aire. Algunos sensores se localizan en el múltiple de admisión, otros se encuentran en el filtro de aire.

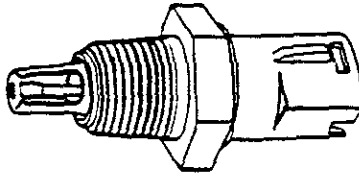


Figura 2.20 Sensor de temperatura.

#### **2.4.21 SENSOR DE POSICIÓN DEL CIGÜEÑAL**

Un punto magnético en el extremo del cigüeñal o un plato rotatorio en el distribuidor señala al ECU la posición del cigüeñal, dato usado tanto para la puesta a tiempo como para controlar la operación de los sensores.

Anteriormente hemos visto los componentes pasivos. Se verán en esta parte los dispositivos que llevan a cabo la inyección. Hay que recordar que no todos los sistemas utilizan todos los componentes.

#### **2.4.22 REGULADOR DE PRESIÓN**

Este es un componente clave en el sistema. Trabaja junto con la bomba de combustible para mantener la relación de presiones estable entre los dos lados del inyector, la línea de alimentación y el múltiple de admisión, bajo variables condiciones de manejo del automóvil. Cuando se aumentan las revoluciones (RPM) se crea un valor mayor en el múltiple de admisión, el cual absorbe gasolina. En ese momento es necesario bajar la presión del combustible del sistema, en la parte anterior del inyector. Al bajar las RPM deberá aumentarse la presión del combustible.

En los sistemas con solenoide, el elemento esencial es que la relación de presiones permanece igual bajo todas las condiciones de operación del motor, toda vez que la gasolina inyectada se determina por el tiempo que dura abierto el

inyector. El regulador mantiene siempre la misma presión y regresa al tanque la gasolina no utilizada, por un conducto separado.

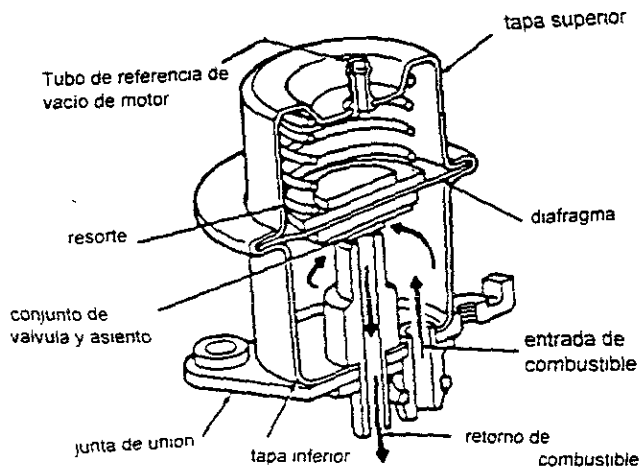


Figura 2 21 Regulador de presión

#### 2.4.23 VÁLVULA DE CONTROL DE AIRE

Se usa una válvula de control de aire para rodear la válvula de aceleración (estrangulador) y controlar la velocidad de marcha mínima. La cantidad de aire que pasa a través de ella es controlada por el ECU.

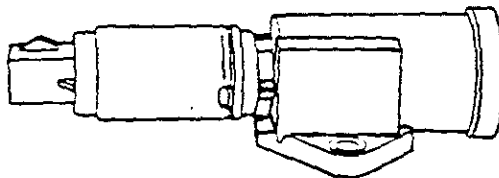


Figura 2 22 Válvula de control de aire

#### 2.4.24 INYECTORES DE GASOLINA

En la mayoría de los sistemas el inyector es un solenoide eléctrico controlado por el ECU. Se manda gasolina a presión a los inyectores y se mantiene una relación

de presiones entre la línea de alimentación del inyector por un lado, y el múltiple de admisión por el otro lado del inyector.

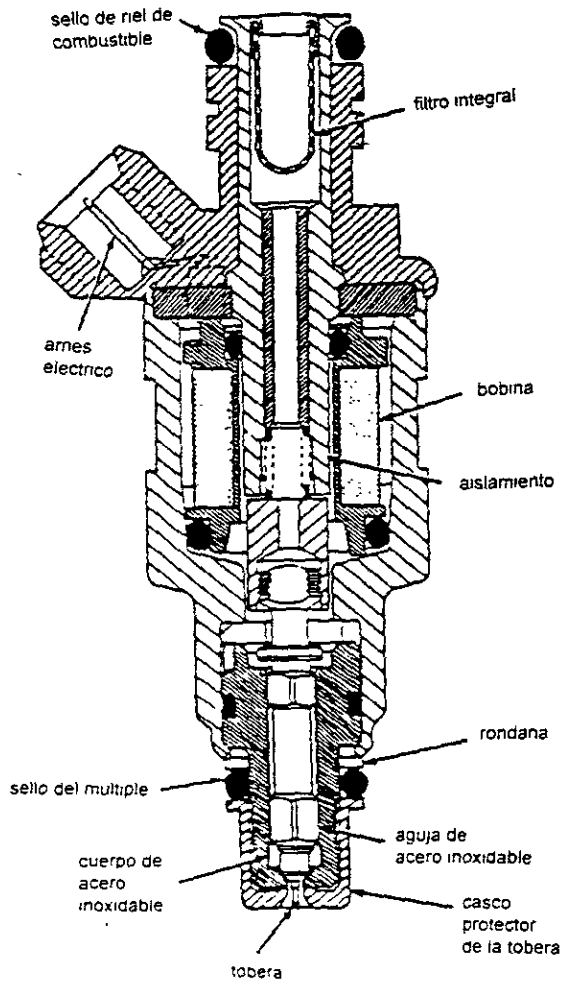


Figura 2.23 Inyector TFI

Este tipo de inyector es usado en los sistemas de inyección múltiple electrónicamente tiempoada. El inyector tiene en su interior un solenoide que abre

la tobera cuando recibe corriente del ECU, el cual mantiene la corriente el tiempo necesario para surtir más o menos gasolina. La tobera atomiza a ésta dentro del múltiple.

Los sistemas de inyección por la garganta o cuerpo del estrangulador utilizan un inyector con solenoide eléctrico, y es similar al funcionamiento del carburador.

En un sistema de inyección continua de combustible, los inyectores se cierran automáticamente con resortes y se abren con la presión de la gasolina. Atomizan constantemente en el múltiple y la cantidad se determina con el distribuidor de combustible con mayor o menor presión. Normalmente los inyectores abren a una presión de 50 lb/in<sup>2</sup>.

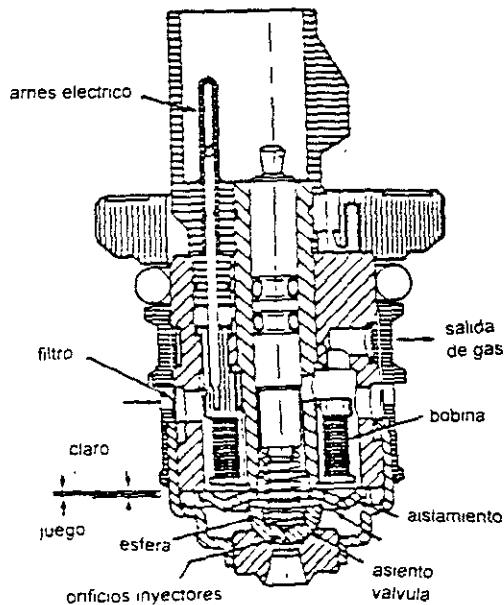


Figura 2 24 Inyector CFI

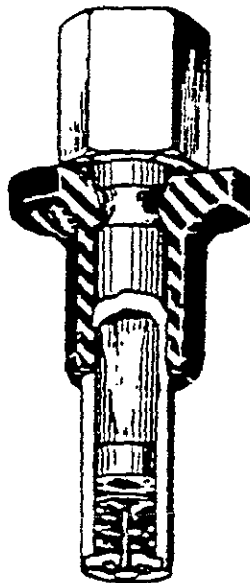


Figura 2.25 Inyector TBI

#### 2.4.25 VÁLVULA DE ENCENDIDO EN FRÍO

Cuando un motor frío se pone en movimiento, se necesita una mezcla rica para calentarlo, y la válvula en cuestión administra directamente esa gasolina extra ayudando a los inyectores principales. De este modo puede el automóvil rodar incluso estando frío.

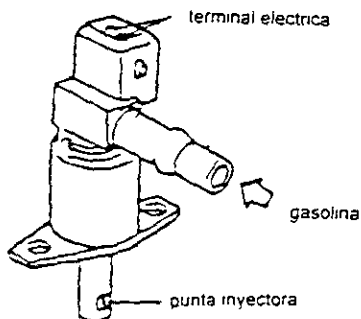


Figura 2.26 Válvula de encendido en frío

A esta válvula la controla un sensor de temperatura y una cinta bi-metálica calentada eléctricamente y la cierran en cierto momento para no ahogar el motor.

#### **2.4.26 REGULADOR DE CALENTAMIENTO**

Este regulador también enriquece la mezcla al encender el motor en frío, permitiendo al distribuidor de combustible entregar más gasolina a los inyectores. Consiste en un resorte bi-metálico que estando frío empuja al diafragma de control de presión para que se regrese menos combustible al tanque. Al calentarse este resorte la presión que se ejerce sobre el diafragma disminuye, la cantidad de combustible que se regresa al tanque se aumenta. Cuando ese resorte ya no ejerce presión, es porque el motor ya está caliente.

#### **2.4.27 INTERRUPTOR TERMO-TIME**

Este switch regula el tiempo de funcionamiento de la válvula de encendido en frío y que no funciona cuando el motor ya ha sido calentado.

Consiste en una bobina que calienta a la banda bi-metálica hasta el punto en que ésta abre el circuito, apagando la válvula de encendido en frío. El tiempo que la bobina recibe corriente lo controla la temperatura del anticongelante.

#### **2.4.28 REGULADOR AUXILIAR DE AIRE**

Este regulador actúa como un control de aire al encenderse en frío el motor. El regulador desvía aire alrededor del plato del acelerador; el ECU lo interpreta como un extra de aire y ordena inyectar más gasolina al motor.

Se trata de un resorte bi-metálico activado por el anticongelante y una bobina calentadora que gira a un disco en la cámara del estrangulador. El disco tiene un agujero que al estar frío el motor coincide con otro hecho en la cámara; el aire extra pasa por ahí. Al calentarse el resorte, hace girar el disco y el paso de aire extra se cierra, y queda funcionando sólo el paso principal de aire.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

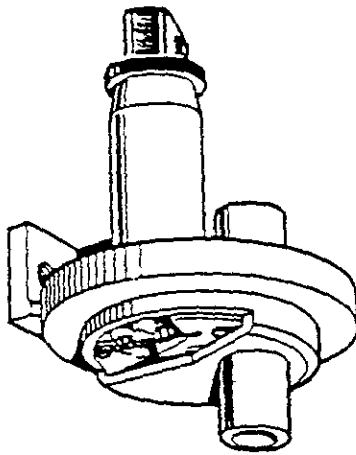


Figura 2.27 Regulador auxiliar de aire

#### **2.4.29 DISTRIBUIDOR DE GASOLINA**

El distribuidor de combustible controla la cantidad de gasolina que pasa al sistema de inyección. El pistón del distribuidor se mueve de acuerdo al sensor de flujo de aire.

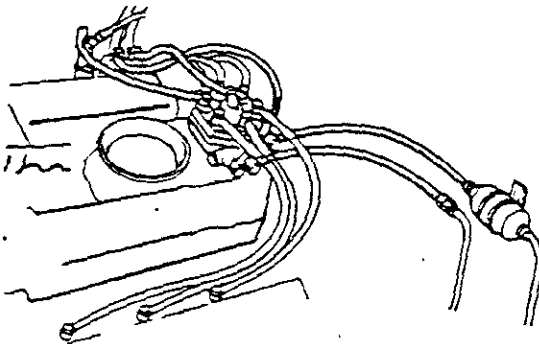


Figura 2 28 Distribuidor de gasolina

Este distribuidor es usado en los sistemas de inyección continua para determinar la cantidad dada a cada inyector; los cuales están siempre abiertos (en el caso de los sistemas controlados por una computadora).

#### **2.4.30 VÁLVULA DE CONTROL DE MARCHA MÍNIMA**

En algunos sistemas la marcha mínima es controlada por el ECU, a través de una válvula de aire. Cuando el motor está frío o cuando recibe mayor demanda de



potencia, el ECU abre esta válvula, entonces entra más aire al motor, luego el ECU mismo ordena incrementar la entrega de gasolina.

#### **2.4.31 ACUMULADOR DE COMBUSTIBLE**

Este dispositivo trabaja junto con el regulador de presión en la línea, para mantener la presión del distribuidor, y abre la válvula que regresa el exceso de combustible al tanque cuando la presión está encima de este nivel.

#### **2.4.32 CUERPO DEL ESTRANGULADOR**

En los sistema de inyección múltiple se utiliza como medio de alimentar de oxígeno al motor, un cuerpo de estrangulador sobre el múltiple de admisión, el cual consiste en una mariposa o puerta accionada por el acelerador directamente. El sensor en posición del estrangulador está montado en este cuerpo, además de equipos varios (líneas de vacío, arneses eléctricos, chirrión del control automático de velocidad, etcétera).

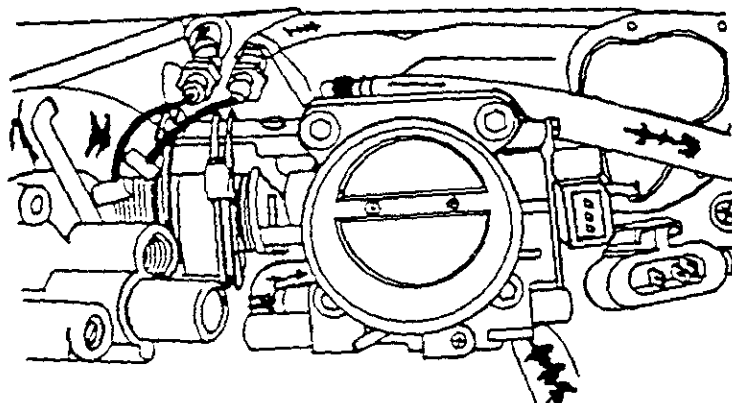


Figura 2 29 Cuerpo del estrangulador

## CAPÍTULO 3 COMBUSTIBLES

### 3.1 GENERALIDADES

Los combustibles son sustancias que reaccionan con el oxígeno del aire en forma muy exotérmica. Dicho proceso denominado combustión, permite transformar la energía asociada a la estructura molecular de los reactantes en energía térmica que se aporta a los productos.

Los combustibles se subdividen según su estado de agregación en condiciones ambientales, en gaseosos (gas natural, gas licuado de petróleo GLP, etc.), líquidos (gasolina, gasóleo, etanol, etc.) y sólidos (carbón pulverizado).

Los combustibles líquidos son la fuente de energía por excelencia de los motores de combustión interna. Sus ventajas principales son la gran cantidad de energía por unidad de volumen, su fácil y seguro manejo, almacenamiento y transporte.

En la actualidad, los combustibles principales en todo el mundo se basan en el petróleo. El petróleo crudo es una mezcla de hidrocarburos que contiene impurezas, del 1% al 4.5% o más de azufre, según la fuente, y un número de compuestos metálicos inorgánicos; por lo general se encuentra en reservas dentro de estructuras rocosas a varios miles de metros por debajo de la superficie de la tierra, y cada vez más por debajo de las aguas relativamente poco profundas de las plataformas continentales. El petróleo brota a través de tubos insertados en agujeros que perforan las estructuras rocosas subterráneas con el fin de liberarlo y entonces se puede conducir por tuberías o transferir, mediante grandes buques tanque, a una refinería donde el petróleo crudo se expone a una serie de procesos físicos y químicos que proporcionan diferentes combustibles y también materia prima para la industria petroquímica.

Una de las propiedades fundamentales que caracteriza a las moléculas de hidrocarburos es la de poseer un punto de ebullición propio. Esta circunstancia es aprovechada para hacer posible la separación de los distintos componentes del petróleo, gracias a la destilación fraccionada de éste. La destilación a nivel industrial consiste en calentar gran cantidad de petróleo crudo a una temperatura de 350 °C. De esta forma se provoca la vaporización de la mayor parte de las cadenas de hidrocarburos. No obstante, en la constitución del petróleo se encuentra un cierto tipo de moléculas que tienen un punto de vaporización por encima de los 350 °C. Estos productos permanecen depositados en el calentador y más tarde, tras sufrir un proceso de separación y refinado, los hidrocarburos residuales de base parafínica darán origen a aceites lubricantes, vaselinas y parafinas, mientras que los de base asfáltica serán empleados como alquitrán.

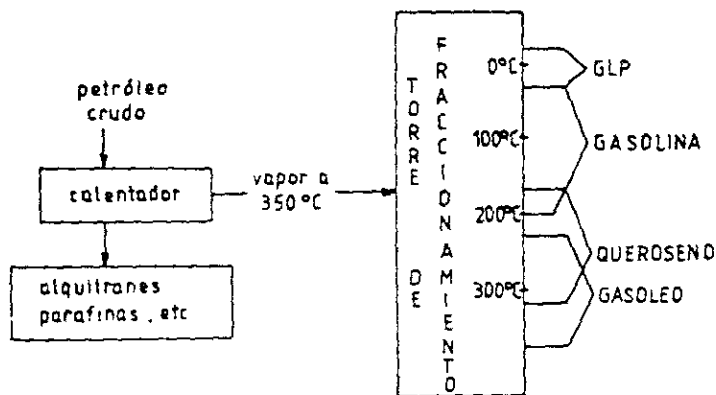


Figura 3 1 Esquema del proceso de destilación del petróleo.

Los vapores obtenidos en el calentador se trasvasan en la denominada torre de fraccionamiento, la cual actúa como un refrigerador-destilador, descendiendo su

temperatura anterior conforme aumenta la temperatura de la torre, ven descender su temperatura, con lo que progresivamente van condensándose.

En la zona entre los 220 °C y los 350°C se destila el gasóleo, que es recogido y llevado al exterior. Posteriormente, debido a un punto de vaporización (y por lo tanto de condensación) más bajo, el resto de los gases que absorben las partes superiores de la torre se hacen líquidos por la acción del descenso de temperatura. Estos serán recogidos a su vez. Los hidrocarburos que van a construir la gasolina se recogen en una zona que abarca desde los 20-30°C hasta los 200°C.

Los puntos de ebullición de los diversos hidrocarburos aumentan de forma más o menos regular con el peso molecular. En la siguiente tabla se incluyen, junto a los intervalos de destilación, el número de carbonos que forman las cadenas moleculares de los derivados del petróleo susceptibles a emplearse como combustibles.

**TABLA 3.1**

<b>PRODUCTO</b>	<b>COMPOSICIÓN APROX. (No. DE CARBONOS)</b>	<b>INTERVALO DE DESTILACIÓN (°C)</b>
GLP (butano, etano, propano)	C <sub>1</sub> a C <sub>4</sub>	-5 a 20
Gasolina	C <sub>4</sub> a C <sub>12</sub>	20 a 200
Queroseno	C <sub>12</sub> a C <sub>16</sub>	180 a 315
Gasóleo	C <sub>16</sub> a C <sub>34</sub>	220 a 350

### 3.2 GASOLINA

Este hidrocarburo debe ser capaz de formar vapores a bajas temperaturas, para conseguir una rápida ignición y aumentar su vaporización, según la temperatura del carburador y del múltiple de admisión para obtener una suave aceleración y una distribución homogénea de la mezcla aire-gasolina, en todos los cilindros esta vaporización debe ser la apropiada por el clima y la altitud en la que se emplea la gasolina, con el objeto de evitar grandes pérdidas por evaporación y sello de vapor en las tuberías, bomba y carburador. Debe tener además pocos hidrocarburos de alto punto de ebullición para asegurar una buena distribución y evitar la dilución de los aceites lubricantes del cárter, debe tener un bajo contenido de gomas y una buena estabilidad a la oxidación para evitar la formación de depósitos en las gargantas y en las espreas de los carburadores. El contenido de azufre debe ser lo suficientemente bajo para evitar la corrosión de los sistemas del motor para emitir el mínimo de óxidos de azufre por el escape. Con respecto a su característica antidetonante deberá evitar el golpeteo (cascabeleo) en cualquier escala del punto de ebullición del combustible.

En las tablas 3.2 y 3.3 se muestran las características de las gasolinas usadas en nuestro país.

**TABLA 3.2 PEMEX-MAGNA**

PRUEBAS	UNIDADES	MÉTODOS ASTM	ESPECIFICACIONES
DESTILACIÓN 10% 50% 90%	°C	D 86-90	65 máximo 77/118 190 máximo
PRESIÓN DE VAPOR REID	lb/in <sup>2</sup>	D 5191, D 323	6.5/7.8
AZUFRE	%p	D 1266, D 3120	0.05 máximo
AZUFRE MERCAPTÁNICO	%p	D 3227	0.002 máximo
CORROSIÓN AL Cu, 3 HRS. A 50°C		D 130	Std. 1 máximo
GOMA PREFORMADA	mg/100 ml	D 381	4 máximo
CONTENIDO DE PLOMO	g/gal	D 3237	0.01 máximo
No. OCTANO (RON)		D 2699	POR REPORTAR
No. OCTANO (MON)		D 2700	82 mínimo
INDICE DE OCTANO (RON+MON)/2		D 2699	87 mínimo
TEMP. EBULLICIÓN	°C	D 86-90	221 máximo
AROMÁTICOS	%V	D 1319, 4420	25 máximo
OLEFINAS	%V	D 1319	10 máximo
BENCENO	%V	D 3606, D 4420	1 máximo
OXÍGENO	%p	D 4815 D 5599	1.0/2.0
OXIGENADOS	%p	D 4815 D 5599	POR REPORTAR
ADITIVO DETERGENTE DISPERSANTE IMP-D-13	ppm	IMP-QA-621	500 mínimo

**TABLA 3.3 PEMEX-PREMIUM**

PRUEBAS	UNIDADES	MÉTODOS ASTM	ESPECIFICACIONES
DESTILACIÓN 10% 50% 90%	°C	D 86	70 máximo 77/121 190 máximo
RESIDUO DE LA DESTILACIÓN	%V	D 86	2.0 máximo
PRESIÓN DE VAPOR REID	lb/in <sup>2</sup>	D 323	6.5/7.8
AZUFRE	%p	D 1266	0.05 máximo
AZUFRE MERCAPTANICO	%p	D 3227	0.002 máximo
CORROSIÓN AL Cu, 3 HRS. A 50°C		D 130	Std. 1 máximo
GOMA PREFORMADA	mg/100 ml	D 381	4 máximo
CONTENIDO DE PLOMO	g/gal	D 3237	0.01 máximo
No. OCTANO (RON)		D 2699	POR REPORTAR
No. OCTANO (MON)		D 2700	POR REPORTAR
INDICE DE OCTANO (RON+MON)/2			92 mínimo
TEMP. EBULLICIÓN	°C	D 86	225 máximo
AROMÁTICOS	%V	D 1319	25 máximo
OLEFINAS	%V	D 1319	10 máximo
BENCENO	%V	D 3606	1 máximo
OXÍGENO	%p	D 4815	1.0/2.0
ADITIVO DETERGENTE DISPERSANTE IMP-D-13	ppm	IMP-QA-621	500 mínimo

### **3.3 CONTENIDO DE AZUFRE**

El azufre está presente en todos los crudos en forma y concentraciones variables. Para algunos aceites lubricantes la presencia de azufre en los crudos es generalmente perjudicial. Cuando se destila un crudo, los derivados de azufre tienden a concentrarse en las fracciones más pesadas dejando las fracciones más livianas con un contenido relativamente bajo de azufre.

El contenido de azufre, determinado por las pruebas, está estrictamente limitado por las especificaciones en la mayoría de los productos de petróleo. Para cumplir con estas especificaciones y eliminar el exceso de azufre se requieren generalmente procesos complejos de refinación, aunque se pueden alcanzar los mismos resultados efectuando una mezcla con una base de bajo contenido de azufre.

Aunque las fracciones más ligeras de petróleo son por naturaleza de bajo contenido de azufre, las especificaciones son más estrictas. El contenido de azufre en los combustibles (gasolinas) es particularmente crítico debido al efecto del azufre en la corrosión y formación de depósitos en el motor. El azufre también, además de corrosión, conduce a la formación de gomas en tanques y carburadores.

### **3.4 CORROSIÓN EN LÁMINA DE COBRE**

Muchos equipos industriales tienen partes de cobre o aleaciones de este. Es esencial que cualquier aceite o combustible que esté en contacto con estas partes, sea no corrosivo para ellas.

A pesar de que la tecnología moderna ha hecho grandes esfuerzos para eliminar los materiales dañinos de los derivados del petróleo, la corrosión es aún una posibilidad a considerar.

Esta prueba de lámina de cobre evalúa la tendencia del combustible de corroer el cobre y sus propiedades corrosivas.



### 3.5 DESTILACIÓN

Un hidrocarburo químicamente puro, igual que otro compuesto líquido puro, ebulle a cierta temperatura cuando la presión atmosférica se mantiene constante. Sin embargo, casi todos los combustibles y solventes comerciales contienen muchos hidrocarburos individuales diferentes, cada uno con diferente punto de ebullición. Si el producto de petróleo es calentado gradualmente, altas proporciones de componente con bajo punto de ebullición, son las que primero se convierten en vapor y sucesivamente los de alto punto de ebullición, a medida que aumenta la temperatura.

De este modo, para cualquier producto de petróleo la ebullición se lleva a cabo en un rango de temperaturas en lugar de una sola.

El objetivo de esta prueba es determinar el rango de destilación de los solventes y combustibles destilados de hidrocarburos.

Para gasolinas automotrices a temperaturas a las cuales el 50% y el 90% de combustible se ha evaporado, esto indica las características del desempeño de la gasolina al calentar el motor. Entre más bajos estos valores, es mejor el desempeño en caliente. La temperatura baja al 50% de destilación es un índice de buena aceleración. El valor bajo al 90% es deseable para una combustión completa, distribución uniforme del combustible en los cilindros y menos formación de depósitos en la cámara de combustión.

Usualmente la volatilidad de la gasolina comercial es ajustada de acuerdo con la estación del año y con el tipo de clima en la región en la cual va a ser utilizada. En clima frío, un producto con mayor volatilidad es deseado, para obtener un buen encendido y calentamiento. Por el contrario en clima caliente con un producto con menos volatilidad, se obtiene menos taponamiento por vapor.

### **3.6 GOMA EN LA GASOLINA (ASTM D 381)**

Las gomas que se presentan en la gasolina son pequeñas cantidades de productos de oxidación disueltos que no han sido evaporados, o que no se quemaron completamente. Aunque las concentraciones de gomas encontradas durante la elaboración del combustible no son grandes, estas pueden aumentar a proporciones peligrosas durante el período de almacenamiento. Este método indica la concentración de goma en el momento de la prueba.

Por encima de ciertos niveles, el contenido de gomas en la gasolina puede ser nocivo. Estas se pueden acumular en el tanque, en la línea de combustible, en la bomba y el sistema de inducción, donde tiende a interferir en la acción de las partes móviles, tapando la entrada al carburador, y otras veces, obstruyendo el flujo de combustible, también puede causar atoramiento de las válvulas de admisión.

Aunque un alto contenido de goma en la gasolina puede no dar un problema inmediato, su efecto es acumulativo y algunas reparaciones serán necesarias eventualmente.

### **3.7 PRESIÓN DE VAPOR REID**

Todos los líquidos tienden a vaporizarse. Esta tendencia es una manifestación de la presión de vapor de los materiales, la cual es la presión ejercida por las moléculas en la superficie en su intento de escapar hacia la atmósfera. Para un líquido dado, esta presión es función únicamente de la temperatura. Entre mayor sea la volatilidad de un líquido, mayor es su presión de vapor a una temperatura específica y por consiguiente más rápida será su vaporización. A una misma presión atmosférica y a igual temperatura del líquido, la gasolina se evaporará mucho más rápidamente que el aceite diesel. Por lo tanto a una temperatura dada, la presión de vapor de un líquido es una medida de su volatilidad. Esto solamente es aplicable a la presión de vapor ejercida por un líquido. Las presiones del vapor disociado por el líquido son funciones del volumen, como también de la

temperatura, los cuales cubren un amplio rango de valores, relacionados en menor grado con la volatilidad.

La Presión de Vapor Reid tiene una importancia esencial para la gasolina, la cual contiene una parte de fracciones altamente volátiles, tales como butano, pentano, entre otros. Estas fracciones ejercen una mayor influencia en los resultados de esta prueba. Una alta presión de vapor está relacionada con la presencia de estos compuestos de alta volatilidad, los cuales son necesarios para un buen encendido en frío. Sin la presencia de estas fracciones, sería muy difícil vaporizar la gasolina en la suficiente concentración para producir una mezcla de aire-combustible y gasolina a bajas temperaturas.

Por otro lado la presión de vapor puede ser demasiado alta. Un exceso de fracciones altamente volátiles en un clima caliente puede causar el taponamiento por vapor, evitando de esta forma el paso de gasolina al carburador. Esto es el resultado del vacío parcial que existe en el lado de succión de la bomba de combustible y que en asociación con una alta temperatura, incrementan la tendencia de evaporación del combustible. Si la presión de vapor es muy alta, los vapores formados en la línea de succión interrumpirán el flujo del combustible líquido hacia la bomba, dando como resultado la parada del motor.

La Presión de Vapor Reid es el factor principal en la determinación tanto del taponamiento por vapor como de las características de encendido en frío de la gasolina.

### **3.8 NÚMERO DE OCTANO**

El número de octano de una gasolina es la medida de su calidad antidetonante, esto es, su habilidad de quemar sin causar "detonación" en los motores de encendido por bujías. Para determinar esta propiedad se utilizan dos métodos que son: Número de Octano en Motor (MON) y Número de Octano Investigado (RON).

Cada uno de ellos revela una calidad antidetonante para un combustible dado, bajo ciertas condiciones particulares.

En principio, el número de octano de un combustible es una expresión numérica de su tendencia a prevenir una detonación en el motor, relacionada a un combustible estándar.

El Número de Octano en Motor es tomado normalmente como una indicación de la habilidad del combustible para prevenir la detonación en motores de altas velocidades, mientras que el Número de Octano Investigado mide la tendencia de detonación a bajas velocidades.

### **3.9 COMBUSTIBLES ALTERNOS.**

A continuación se mencionarán algunos de los combustibles que en la actualidad se utilizan en lugar de gasolina.

#### **3.9.1 GAS LICUADO DE PETRÓLEO.**

Este producto derivado del petróleo y obtenido por separación del gas natural, está constituido principalmente por propano y butano. De acuerdo al porcentaje de cada hidrocarburo da diferentes presiones de vapor, por lo cual se clasifica en gas LP de alta presión y de baja presión, con 200 lb/in<sup>2</sup> máxima y 100 lb/in<sup>2</sup> mínima de presión de vapor. El contenido máximo de azufre es de 200 ppm, aunque siempre se encuentra el contenido muy por abajo de esa cifra, la temperatura de destilación del 95% es de 2°C máximo y no debe contener humedad.

Para usar el gas GLP en motores de combustión interna es necesario adaptar a los vehículos una serie de accesorios tales como: tanque de almacenamiento, regulador de presión, vaporizador para arranque en frío, válvulas solenoides para el flujo de gas y aditamentos de seguridad. Por lo general estos vehículos trabajan

con sistemas dual: gas y gasolina, además de un convertidor catalítico de tres vías.

Las ventajas del uso son principalmente: un número de octano RON de 110; disminuye la emisión de partículas; no hay olores desagradables por ser un sistema cerrado no hay emisiones evaporativas; se prolonga la vida del aceite lubricante del motor y de las bujías. Menor emisión de contaminantes a la atmósfera y no produce gomas o depósito en el sistema de admisión.

Las desventajas son: necesidad de adaptar el sistema con el costo correspondiente; el arranque en frío es difícil; los problemas de suministro y manejo del GLP necesitan resolverse por entrenamiento y con medidas de seguridad, con códigos y reglamentos adecuados que deberán cumplirse, para lo cual debe comprenderse la naturaleza del gas licuado de petróleo, el rendimiento en los motores es menor que el de la gasolina, debido al menor poder calorífico, además reducir la potencia.

### **3.9.2 GAS NATURAL.**

También derivado del petróleo, actualmente está constituido principalmente por metano (aproximadamente 93%), algo de etano, y muy poco de propano, el contenido de azufre es muy bajo y de bajo poder calorífico ( $9300 \text{ Kcal/m}^3$  a 760 mm). El número de octano RON es de 130.

Para usarse en automotores es necesario instalarles tanques de almacenamiento de gas natural (por lo general  $2,300 \text{ lb/in}^2$ ), regulador de presión, mezclador aire-gas natural con filtro y válvulas solenoides para usar gas o gasolina. Las instalaciones para la carga de gas natural deben ser capaces de aumentar la presión de 120 a  $2300 \text{ lb/in}^2$ , además de estar localizadas en puntos estratégicos, de fácil acceso y lo que es más importante donde haya red de redistribución.

Las ventajas son muy parecidas a las del GLP, con un octanaje mayor y una emisión menor de contaminantes.

Las desventajas son obvias, el mayor peso de los tanques por la presión, un recorrido limitado por la cantidad de gas que pueden contener estos tanques y el poder calorífico que es menor que el de la gasolina, el problema de la distribución parece ser mayor limitante y debe ser exclusivo para flotillas locales.

Por lo que refiere a las emisiones de gas natural actúa en forma similar al GLP, con respecto al monóxido de carbono e hidrocarburos, pero reduciendo en gran cantidad los óxidos de nitrógeno.

### **3.9.3 ALCOHOLES.**

**Alcohol metílico**, este alcohol es derivado del gas natural, aunque también se obtiene de madera o de carbón mineral. Por su obtención en la actualidad es el más económico de todos los alcoholes, aunque se tienen problemas al mezclarse con gasolina, pues se separa con facilidad en presencia de agua (más de 0.1%), pero si se agrega un tercer componente del tipo de alcoholes de mayor peso molecular, se estabiliza más la mezcla. También el contenido de compuestos aromáticos en la gasolina ayuda a la estabilización.

**Alcohol etílico**, actualmente su principal origen es por fermentación de azúcares, ya sea de caña o de granos. Su costo es alto, por la necesidad de tener una pureza mínima de 99.5%, pero soporta a temperatura ambiente más de 1% de agua sin separarse.

**Alcohol terbutílico**, subproducto de la obtención industrial de óxido de propileno, de costo muy alto actualmente, pero soporta mucha agua sin separación.

Todos los alcoholes mencionados anteriormente tienen un número de octano RON superior a 100, por lo cual se pueden utilizar para mejorar los combustibles.

En México, como país productor de petróleo y gas en gran escala, se está estudiando la utilización de mezclas metanol-gasolinas, con alcohol isopropílico como tercer componente. Los problemas principales son: inestabilidad en la presencia de alto contenido de agua, sello de vapor en la bomba de combustible de los vehículos, arranque en frío difícil en invierno, el complicado manejo de las mezclas en refinerías.

Las ventajas son: una disminución considerable de contaminantes, disponibilidad de metanol en México, pocos cambios en los sistemas vehiculares y sistemas de distribución.

## **CAPÍTULO 4**

### **PRUEBAS A DESARROLLAR**

Para evaluar el comportamiento de los vehículos al utilizar los combustibles reformulados se efectuaron las siguientes pruebas: Emisiones Directas, HOT-SOAK 505, Pruebas FTP-75 así como Especiación de Hidrocarburos, los cuales nos permitieron conocer las emisiones obtenidas con cada formulación. La figura 4.1 nos muestra un diagrama explicativo de la secuencia de las pruebas.

Antes de aplicar cualquier tipo de prueba a los vehículos, se les realiza a estos un diagnóstico electromecánico de las condiciones en las que se encuentran, y si alguna unidad está fuera de las especificaciones del fabricante se corrige ya que durante la prueba no se puede hacer ningún cambio.

A continuación se menciona de manera breve el desarrollo de las pruebas antes mencionadas.

#### **4.1 EMISIONES DIRECTAS**

Determinación de emisiones directas (HC, CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) por medio del equipo BAR-90 (FICS-2000) aprobado por el Programa de Verificación Vehicular Obligatorio de la Dirección General de Ecología del Departamento del Distrito Federal (DDF), mediante el cual se determina el grado de contaminantes producidos por los vehículos; los cuales se evalúan en dos condiciones de aceleración sin carga: Ralentí y velocidad de crucero (2500 rpm).

Los límites de emisiones y número de cilindros de los vehículos, están contenidos en la Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-041-ECOL-1996 que



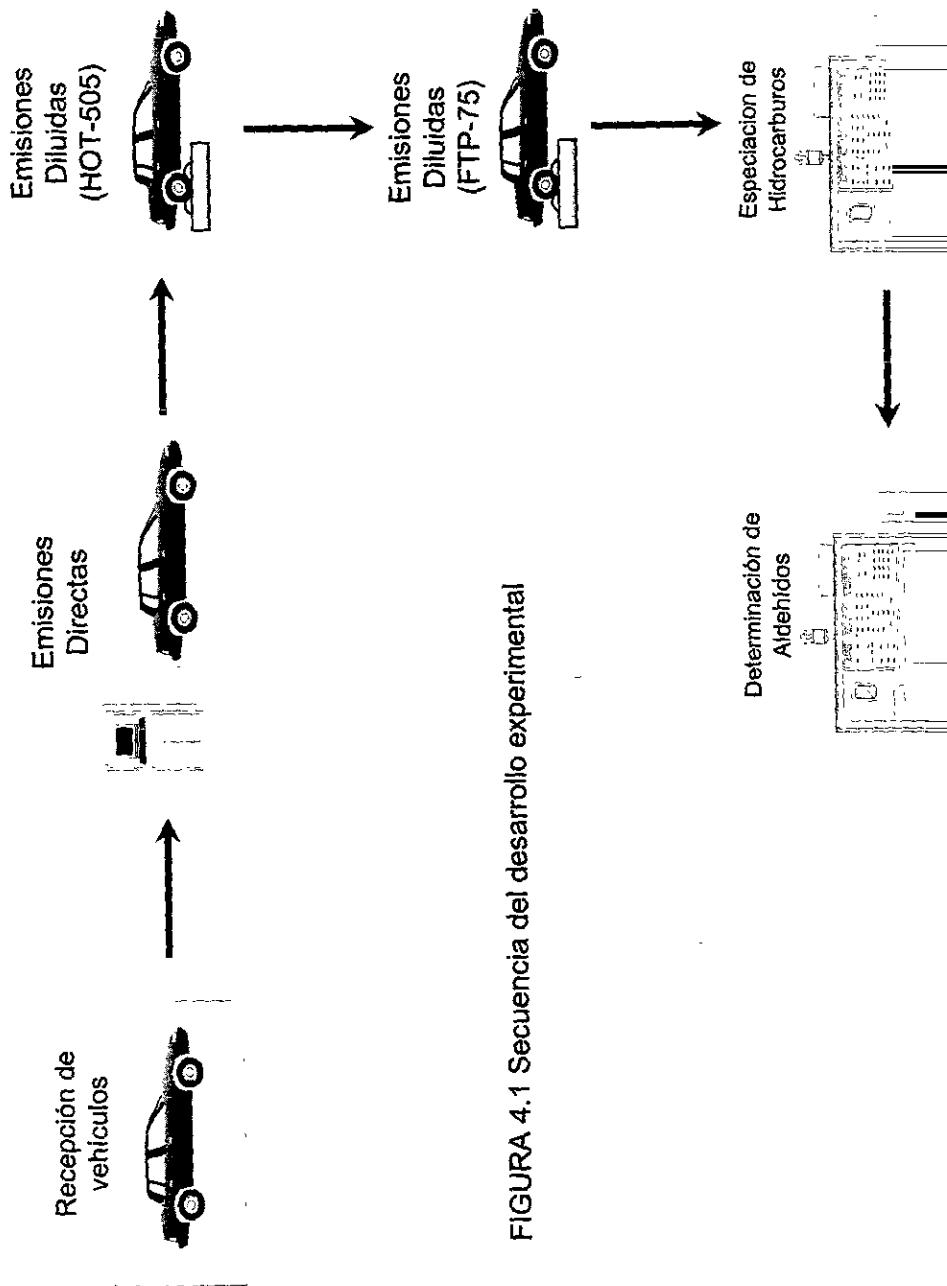


FIGURA 4.1 Secuencia del desarrollo experimental

establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape. (Ver Figura 4.2)

**4.2 ESPECIFICACIONES DE LOS NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES POR EL ESCAPE DE VEHÍCULOS EN CIRCULACIÓN EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO.**

Los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, oxígeno y niveles mínimos y máximos de dilución (CO+CO<sub>2</sub>) provenientes del escape de los automóviles particulares en circulación que usan gasolinas como combustible en función del año-modelo vigentes a partir del 1º de enero de 1997 son los establecidos en la Norma Oficial Mexicana como se muestra en el Cuadro 4.1.

**CUADRO 4.1**

<b>Año-modelo del vehículo</b>	<b>Hidrocarburos (ppm)</b>	<b>Monóxido de Carbono (%vol.)</b>	<b>Oxígeno (% vol.)</b>	<b>Dilución máxima (%vol)</b>	<b>Dilución mínima (%vol)</b>
1985 y anteriores	350	3.5	6.0	7.0	18.0
1986-1990	300	3.0	6.0	7.0	18.0
1991 y posteriores	200	2.0	15.0	7.0	18.0

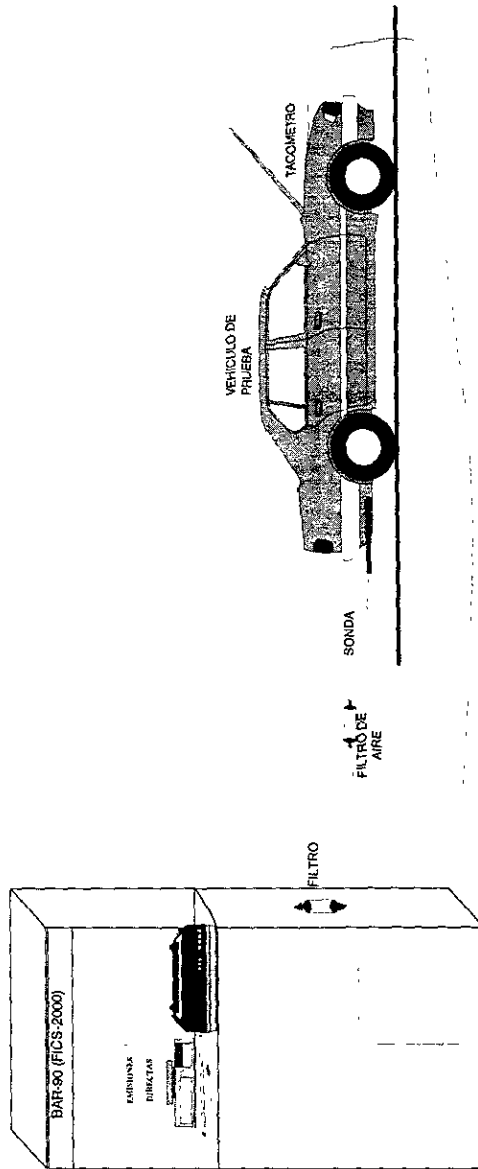


Figura 4.2 Esquema para determinar emisiones directas por medio del equipo analizador BAR-90

### **4.3 HOT - 505**

La prueba HOT-505 (EPA-505), tiene una duración de 505 segundos (8.42 minutos), con una distancia de 5.78 km promedio, la cual pertenece a la primera fase del ciclo FTP-75 denominada etapa en frío (Cold Transient), con una velocidad promedio de 45.0 km/h y una máxima de 91.8 km/h.

Este tipo de prueba se emplea para determinar emisiones diluidas como parte complementaria al diagnóstico electromecánico, también se utiliza como certificación de la eficiencia de conversión en vehículos automotores a gas licuado de petróleo (GLP) y pruebas de calibración en sistemas de conversión a gas LP y gas natural comprimido y licuado (GNC y GNL).

La prueba HOT-505 es utilizada para la determinación de emisiones de escape y rendimiento de combustible en vehículos automotores, se lleva a cabo de acuerdo al procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NMXII-AA-1993, que es la primera etapa de la prueba FTP-75, similar al Procedimiento Federal de Pruebas (FTP) del Código Federal de Regulaciones (CFR) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de Norteamérica. (Ver Figura 4.3)

### **4.4 PRUEBAS FTP-75**

Actualmente las emisiones gaseosas reglamentadas de vehículos automotores son las de hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO), y óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

El procedimiento de prueba utilizado por el Instituto Mexicano del Petróleo para medir las emisiones de escape de automóviles de pasajeros y camiones ligeros es

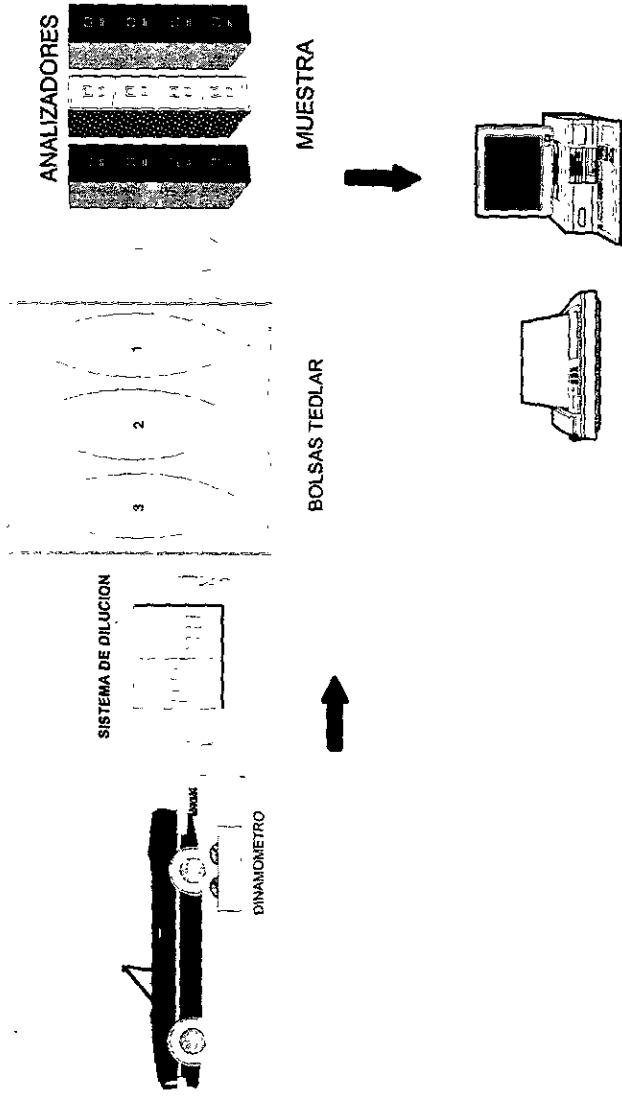


FIGURA 4.3 Sistema CVS para la obtencion y análisis de emisiones de escape en vehículos automotores a gasolina

el Procedimiento Federal de Prueba de 1987 (FTP por sus siglas en inglés). Este procedimiento también se conoce como Programa Federal de Manejo, Prueba de Arranque en Frío o Caliente CVS o Prueba de Arranque en Frío CVS II.

El FTP de 1987 es el procedimiento actualizado del FTP de 1975 (FTP-75) que se utiliza en las pruebas de certificación de los automóviles nuevos a partir de los modelos 1975. También constituye el procedimiento que la EPA (Environmental Protection Agency) ha utilizado desde 1971 para evaluar motores prototipo y sistemas de control de emisiones. El FTP de 1987 proporciona la caracterización más representativa disponible para emisiones de escape y de economía urbana de combustible.

La prueba se realiza en una celda de ambiente controlado, donde la temperatura y otras condiciones pueden mantenerse dentro de límites específicos.

Durante el FTP de 1987 (FTP-75) el vehículo se conduce en un dinamómetro de chasis con un programa de manejo de paro y marcha con una velocidad promedio de 21.6 mph (34.7 km/h). Mediante el uso de volantes de inercia y un freno de agua, se reproducen las cargas que el vehículo experimentaría en el camino. Los gases de escape del vehículo se recolectan, se diluyen y se mezclan completamente con el aire filtrado circundante, a un flujo de volumen constante conocido. Este procedimiento se conoce como Muestreo a Volumen Constante (Constant Volumen Sampler). El FTP de 1987 establece la captura de las emisiones generadas durante un arranque "en frío" e incluye un arranque "en caliente" después de un paro de diez minutos posteriores a las primeras 7.5 millas (12.1 km) de manejo.

El dinamómetro de chasis reproduce la inercia del vehículo con volantes y la carga del camino con un freno de agua. La inercia está disponible en incrementos de 125 lb (54.7 kg.) entre 1000 lbs (453.6 kg.) y 17250 lbs (7824.6 kg.). Para cada clase de peso de inercia se especifica una carga de camino que toma en consideración la resistencia aerodinámica promedio del vehículo en cada clase.

Un día antes del arranque en frío programado según el FTP de 1987, el vehículo debe permanecer en reposo durante 12 horas, cuando menos, en un área en que la temperatura se mantenga entre 68°F y 86°F (20°C y 30°C). Este período se conoce como la saturación "en frío".

El FTP de 1987 es una prueba de arranque en frío, por lo que el vehículo de prueba se empuja sobre el dinamómetro sin encender el motor. Después de colocar el vehículo sobre el dinamómetro, se conecta el sistema de correlación de emisiones al tubo de escape, se coloca un ventilador de enfriamiento enfrente del vehículo. La prueba de emisiones se realiza con el compartimiento del motor abierto.

El sistema de muestreo de emisiones y el vehículo de prueba arrancan simultáneamente de modo que las emisiones se recolecten durante el arranque del motor. Después de arrancar el motor, el conductor sigue un programa de manejo controlado en un monitor que se conoce como Programa Urbano de Manejo en Dinamómetro (UDDS por sus siglas en inglés) o LA-4, que ha sido creado para representar el manejo urbano en promedio. El programa de manejo se muestra al conductor del vehículo de prueba y éste iguala la velocidad del vehículo a la que aparece en el monitor. El ciclo de manejo LA-4 es de 1374 segundos de duración y cubre una distancia de 7.5 millas (12.1 km).

Las emisiones de escape que se miden durante el FTP-75 cubren tres regímenes de operación del motor. Las emisiones de escape durante los primeros 505 segundos de la prueba son las emisiones "transitorias frías". Durante ese periodo, el vehículo se calienta gradualmente a medida que se maneja en el ciclo LA-4. Las emisiones durante ese periodo mostrarán los efectos de la operación de arranque en frío y de las características de calentamiento del vehículo.

Cuando el vehículo pasa a los 869 segundos restantes del ciclo LA-4, se considera que ya se ha calentado completamente. Las emisiones durante esa parte de la prueba son las emisiones "estabilizadas". El período final de la prueba después de la saturación en caliente constituye la sección "no transitoria" y muestra los efectos del arranque en caliente. Las emisiones en cada una de las tres partes de la prueba se coleccionan en bolsas por separado, para posteriormente analizar cuantitativamente su composición. Finalmente a través de un balance de materia se cuantifica la masa emitida de cada contaminante en gramos por kilómetro recorrido.

La economía del combustible se mide en un dinamómetro de chasis que reproduce las velocidades y cargas típicas del manejo urbano y en carretera. La economía de combustible del vehículo de prueba se calcula a partir de los datos de las emisiones de descarga utilizando la técnica de equilibrio de átomo de carbono. La economía urbana de combustible se mide durante el FTP de 1987 (FTP-75) y la economía de combustible en carretera se mide mediante la prueba de Economía de Combustible en carretera de la EPA HWFET (High Way Fuel Economy Test). La velocidad promedio de la prueba de Economía de Combustible en Carretera es de 48.2 millas por hora (77.5 km/h). (Ver Figura 4.4)



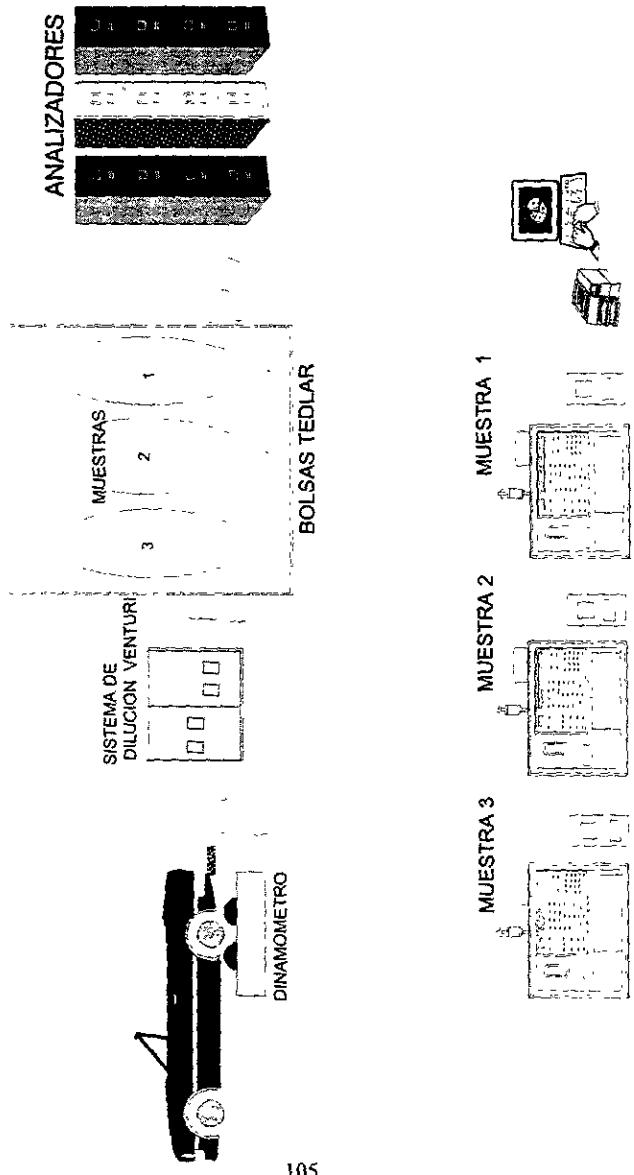


FIGURA 4.4 Sistema cromatográfico para especificación de hidrocarburos de emisiones de escape.

#### 4.5 ESPECIACIÓN DE HIDROCARBUROS.

La cromatografía de gases ha sido usada por muchos años para analizar las emisiones de escape. Cuando se habla de "especiación de hidrocarburos" generalmente se refiere a que es posible identificar y cuantificar individualmente los hidrocarburos de la mezcla de la emisión. El cromatograma es la representación gráfica de los compuestos de la mezcla. Cada pico en el cromatograma es un compuesto.

La especiación de hidrocarburos es una poderosa herramienta para la evaluación de reactividades en la formación de ozono y para la toxicidad de las emisiones provenientes de los vehículos, al utilizar una gasolina determinada o específica.

Para el estudio de las emisiones de hidrocarburos individuales tanto en escape como evaporativas, se empleó la técnica de especiación de hidrocarburos utilizando cromatografía de gases (Figura 4.4). El análisis consiste en la inyección de una muestra gaseosa de escape o evaporativa, en un cromatógrafo de gases equipado con una válvula de muestreo automático y detector de ionización de flama (FID). Durante el proceso los compuestos son separados individualmente permitiendo su identificación y cuantificación. Mediante esta técnica es factible la determinación de los compuestos tóxicos motivo de este estudio.

De este estudio también se obtiene la Reactividad Específica que es la capacidad que tienen las emisiones de escape a reaccionar en la atmósfera para la formación de ozono. Las unidades en que se dan son  $\text{gO}_3/\text{gNMOG}$  (gramos de ozono por gramos de gases orgánicos no metánicos).

#### 4.6 ESPECIACIÓN DE ALDEHÍDOS.

El Formaldehído ha sido encontrado como el principal precursor en la formación de ozono fotoquímico. En particular en la exposición a corto plazo el Formaldehído y el Acetaldehído es sabido que causa irritación en los ojos, piel y membranas de la mucosa.

En estudios con animales indican que en altas concentraciones pueden dañar pulmones y otros órganos del cuerpo. Las emisiones de Formaldehído son el resultado de la combustión incompleta de hidrocarburos y otros materiales orgánicos. La principal fuente de emisión es por los vehículos. Además, cantidades significantes de Formaldehído y Acetaldehído atmosférico pueden resultar de las reacciones fotoquímicas entre hidrocarburos reactivos y óxidos de nitrógeno. Sin embargo el formaldehído puede reaccionar fotoquímicamente para producir otros productos como el ozono, peróxidos y otros compuestos.

El método de prueba que se utilizó provee resultados significantes para determinar las concentraciones de Formaldehídos y Acetaldehídos. Estos se determinan por medio de un cromatógrafo para líquidos.

Los aldehídos son moléculas muy pequeñas que se descomponen fácilmente en el aire, para fijarlas, el Formaldehído y el Acetaldehído son capturados por medio de cartuchos especiales para absorber los aldehídos orgánicos cuando fluye en éste la muestra, para disolverlos se utilizan 5 mililitros de acetonitrilo, obteniéndose así el ácido orgánico que es inyectado a un cromatógrafo para líquidos.

Los resultados se obtienen en mayor concentración (mgAcetaldehídos/km) y en compuestos potenciales a la formación de ozono (mgO<sub>3</sub>/NMOG).

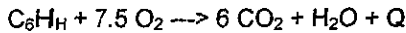
El Formaldehído y el Acetaldehído son, en particular muy importante su análisis en la concentración de emisiones ya que contribuyen a la formación de ozono además de ser carcinogénicos.

## CAPÍTULO 5

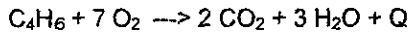
### DESARROLLO EXPERIMENTAL

En una combustión ideal el balance estequiométrico de los hidrocarburos se describe a continuación:

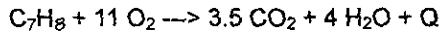
BENCENO  $C_6H_6$  :



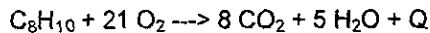
1,3 BUTADIENO  $C_4H_6$  :



TOLUENO  $C_7H_8$  :



XILENO  $C_8H_{10}$  :



Sin embargo, como ya se explicó en capítulos anteriores, en la combustión se obtiene otros compuestos por lo cual a través de los estudios de emisiones y simulación del efecto en la calidad del aire se trató de buscar que en las gasolinas que se consumen en el Valle de México, disminuyan paulatinamente los contenidos de olefinas y aromáticos, benceno, azufre y la volatilidad, así como optimar el uso de aditivos oxigenados.

Se necesitaba desarrollar un programa de trabajo para llevar a cabo un proyecto donde se evalúen las opciones técnicas para poder reformular los combustibles del Valle de México, con los mayores beneficios ambientales.

Se partió con 16 formulaciones obtenidas de un arreglo considerando las variables PVR, aromáticos, azufre y olefinas (ver Tabla 5.1), combinando la mayor y menor concentración de estas, es decir, una matriz.

### **5.1 SELECCIÓN DE COMBUSTIBLES.**

De las 16 formulaciones propuestas, se seleccionaron 8 (ver Tabla 5.3), en base a una matriz de ensayos para la evaluación de combustibles considerando las mismas cuatro variables: Aromáticos, PVR, Olefinas y el contenido de azufre, (ver Tabla 5.2).

### **5.2 VEHÍCULOS DE PRUEBA.**

En el Tabla 5.4 se presentan las características de los vehículos utilizados en este estudio. Los cuales fueron seleccionados en base a su tecnología y mayor venta. En ambos vehículos se realizaron pruebas FTP-75, por triplicado, con las 8 formulaciones seleccionadas, (ver Tablas 5.5 y 5.6).

Apoyándose en los resultados obtenidos se observa que para el vehículo Tsuru, la formulación H es la de más altas emisiones esto debido a su alta concentración de azufre lo cual inhibe el buen funcionamiento del convertidor catalítico. Por otra parte las formulaciones que emiten menos cantidad de contaminantes son las formulaciones F, A, y D .

En el vehículo Spirit se observa que la formulación cuyos gases de escape disminuyen son A y F. Repitiendo la formulación H, como la que emite más contaminantes.

El estudio de Cromatografía de gases se practicó en el segundo FTP-75 para ambos vehículos. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.7 para ambos vehículos. En éste se consideraron los tóxicos: Benceno, 1,3 Butadieno, Tolueno y del grupo de las Olefinas se consideraron a los Xilenos (meta-Xileno, para-Xileno y orto-Xileno) ya que son los hidrocarburos con más altos índices de emisiones en gramos por kilómetro y por ser los hidrocarburos más potenciales a la formación de ozono.

El ozono es un contaminante que no se emite en los escapes o chimeneas, sino que se forma en la atmósfera a partir de reacciones muy complejas. Existen dos ciclos generales de reacciones fotoquímicas en la formación del ozono troposférico, en los que participan el oxígeno molecular y dos de los determinados precursores de ozono: óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos.

En todos los casos la formulación H es la que se manifiesta con las más altas emisiones, esto debido a las características propias de la formulación, y los más bajos fueron las formulaciones A y B, para el Spirit y las formulaciones A y D para el Tsuru.

Del mismo análisis cromatográfico se obtuvo el total en % Volumen de los grupos de las parafinas, isoparafinas, olefinas, nafténicos y aromáticos (ver los Tablas 5.8 y 5.9). En el caso de ambos vehículos ninguna formulación defina como la peor o menor en los niveles de emisiones de hidrocarburos.

El Formaldehído ha sido encontrado como el principal precursor en la formación de ozono fotoquímico. En particular en la exposición a corto plazo el Formaldehído y el Acetaldehído es sabido que causa irritación en los ojos, piel y membranas de la mucosa.

Los resultados se obtienen en mayor concentración (mgAcetaldehídos/km) en donde para el vehículo Spirit la Formulación "F" es la que presenta menor concentración tanto para el Formaldehído como para el Acetaldehído. En el caso del vehículo Tsuru la Formulación "D" es la que presenta menor concentración en Formaldehído y Acetaldehído, (ver Tablas 5.10 y 5.12). Mientras que para los compuestos potenciales a la formación de ozono (mgO<sub>3</sub>/NMOG) para el caso del vehículo Spirit la Formulación "F" es la que emite menor concentración en ambos aldehídos. Para el vehículo Tsuru la Formulación "D" resultó ser la de menor concentración para ambos aldehídos, (ver Tablas 5.11 y 5.13).

La Figura 5.9 muestra la Reactividad Específica de las ocho formulaciones de las gasolinas las cuales la "A", "E" y "D" están por debajo de la referencia para el vehículo Tsuru y para el vehículo Spirit 93 solo la formulación "C" resultó ser menos reactiva que la referencia.

La Reactividad Específica es la capacidad que tienen las emisiones de escape a reaccionar en la atmósfera para la formación de ozono. Las unidades en que se dan son  $\text{gO}_3/\text{gNMOG}$  (gramos de ozono por gramos de gases orgánicos no metánicos).

### **5.3 ESTUDIO COSTO EFECTIVIDAD**

El objetivo de este estudio es realizar un análisis de las ocho formulaciones de gasolina sin plomo para automóviles de la ZMCM, en términos del cambio en emisiones de contaminantes provenientes del escape.

Para conocer el efecto que tienen distintas formulaciones de gasolina en las emisiones de contaminantes a la atmósfera provenientes de vehículos, se midieron las emisiones de escape de CO, HC, y NOx, en los vehículos Chrysler Spirit 93 y Nissan Tsuru 91.

Los resultados de las emisiones de escape de los autos utilizando gasolina Pemex Magna se usaron como referencia, para evaluar el comportamiento de las nuevas formulaciones cuyas especificaciones se muestran en la Tabla V.III.I.

Para determinar la formulación que ofrece la mayor reducción de emisiones al más bajo costo, se realizó un análisis costo efectividad, el cual establece relaciones entre costos y efectividad en la reducción de emisiones.

El costo de las distintas formulaciones de gasolinas se estableció, en una primera aproximación, a partir de los precios intraorganismos de las corrientes que se utilizaron en cada formulación (Tabla V.III.II).

TABLA V.III.I ESPECIFICACIONES DE NUEVAS FORMULACIONES DE GASOLINAS

FORM.	PORCENTAJES DE LAS NAFTAS UTILIZADAS EN LAS FORMULACIONE							RESULTADOS				
	PRIMARIA (% vol.)	CATALITICA (% vol.)	REFORMADO (% vol.)	ALQUILADO (% vol.)	RAFINADO (% vol.)	MTBE (% vol.)	RON	PVR (din.gal.)	OLEFINAS (% vol.)	AROMÁTICOS (% vol.)	AZUFRE (ppm)	
A	12	18	24	35	1	10	91.3	6.3	5.0	14.9	409	
B	3	22	50	15	0	10	91.5	6.5	6.1	24	389	
C	11	35	14	30	0	10	92.1	6.5	9.7	15.2	677	
D	4	18	27	30	11	10	91.2	7.7	5.0	14.8	333	
E	0	35	47	8	0	10	91.7	6.7	9.7	25.6	564	
F	0	18	50	12	10	10	91.6	7.8	5.0	22.6	295	
G	5	35	14	28	8	10	92.7	7.6	9.7	14.3	621	
H	0	35	44	4	7	10	91.6	7.7	9.7	24.5	574	



**TABLA V.III.II COSTO DE NAFTAS UTILIZADAS.**

<b>CORRIENTES</b>	<b>USD/BL</b>
PRIMARIA	23.54
CATALITICA	30.81
REFORMADA	30.97
ALQUILADO	37.13
RAFINADO	22.49
MTBE	40.29

Los costos incrementales de las nuevas formulaciones se tomaron como la diferencia entre el costo de la producción de las formulaciones menos el costo de la gasolina Pemex Magna.

La Tabla V.III.III muestra los costos incrementales de cada formulación en USD (U.S. Dólares) de diciembre de 1996 (en todo el estudio se utilizó esta unidad monetaria).

**TABLA V.III.III COSTOS DE NUEVAS FORMULACIONES DE GASOLINAS.**

<b>GASOLINAS</b>	<b>COSTO</b>	<b>DIFERENCIA CON PEMEX MAGNA</b>
A	33.05	2.73
B	32.57	2.25
C	32.88	2.56
D	32.49	2.17
E	32.34	2.02
F	31.76	1.44
G	32.52	2.20
H	31.50	1.18
PEMEX MAGNA	30.32	

TABLA V.III.IV EMISIONES DE ESCAPE DE LAS NUEVAS FORMULACIONES  
CON RESPECTO A LA GASOLINA PEMEX MAGNA

COMB.	CHRYSLER SPIRIT 93				NISSAN TSURU 91			
	EMISIONES (g/km)				EMISIONES (g/km)			
	CO	HC	NOx		CO	HC	NOx	
REFERENCIA	4.8	0.2	2.6		10.3	0.61	1.87	
FORM. "A"	4.2	0.2	2.4		9.5	0.54	1.73	
FORM. "B"	4.6	0.2	2.6		10.4	0.63	1.75	
FORM. "C"	4.4	0.2	2.3		8.3	0.56	1.8	
FORM. "D"	4.8	0.2	2.4		10.6	0.55	1.7	
FORM. "E"	4.6	0.3	2.2		9.9	0.59	1.9	
FORM. "F"	4.3	0.2	2.1		9.3	0.5	1.9	
FORM. "G"	4.9	0.2	2.3		9.4	0.5	1.8	
FORM. "H"	5.1	0.3	2.7		1.3	0.6	1.8	
DIFERENCIA (g/km)								
REFERENCIA	0	0	0		0	0	0	
FORM. "A"	0.6	0	0.2		0.8	0.07	0.14	
FORM. "B"	0.2	0	0		-0.1	-0.02	0.12	
FORM. "C"	0.4	0	0.3		2	0.05	0.07	
FORM. "D"	0	0	0.2		-0.3	0.06	0.17	
FORM. "E"	0.2	-0.1	0.4		4	0.02	-0.03	
FORM. "F"	0.5	0	0.5		1	0.11	-0.03	
FORM. "G"	-0.1	0	0.3		0.9	0.11	0.07	
FORM. "H"	-0.3	-0.1	-0.1		-1	0.01		

Para conocer la efectividad de las distintas formulaciones en términos de reducción de emisiones se restaron las emisiones de cada formulación con respecto a las emisiones de la gasolina Pemex Magna, los resultados se muestran en la Tabla V.III.IV.

Las Tablas V.III.V y V.III.VI muestran los coeficientes costo efectividad en términos de reducción de CO, HC, NOx y la última columna muestra el coeficiente de costo efectividad considerando los tres contaminantes a la vez. En las tablas se ordenaron las formulaciones de la más costo efectiva a la menos.

**TABLA V.III.V ANÁLISIS COSTO EFECTIVIDAD PARA EL CHRYSLER SPIRIT 93.**

CO		HC		NOx		TOTAL	
FORM. "F"	2.89	FORM. "A"	0.00	FORM. "F"	2.89	FORM "F"	0.61
FORM. "A"	4.55	FORM. "B"	0.00	FORM. "E"	5.05	FORM "E"	1.18
FORM. "C"	6.39	FORM. "C"	0.00	FORM. "G"	7.34	FORM. "G"	1.57
FORM. "E"	10.09	FORM. "D"	0.00	FORM. "C"	8.52	FORM. "C"	1.79
FORM. "B"	11.24	FORM. "F"	0.00	FORM. "D"	10.89	FORM. "D"	2.31
FORM. "D"	0.00	FORM. "G"	0.00	FORM. "A"	13.66	FORM. "A"	2.83
FORM. "H"	-3.93	FORM. "H"	-11.79	FORM. "B"	0.00	FORM. "B"	280.99
FORM. "G"	-22.01	FORM. "E"	-20.19	FORM. "H"	-11.79	FORM. "H"	-1.78

**TABLA V.III.VI ANÁLISIS COSTO EFECTIVIDAD PARA EL NISSAN TSURU 91.**

CO		HC		NOx		TOTAL	
FORM. "F"	1.28	FORM. "A"	13.13	FORM. "F"	12.77	FORM. "F"	2.43
FORM. "A"	1.44	FORM. "B"	20.01	FORM. "E"	16.84	FORM. "E"	3.35
FORM. "C"	2.45	FORM. "C"	36.19	FORM. "G"	18.73	FORM. "G"	3.84
FORM. "E"	3.45	FORM. "D"	39.04	FORM. "C"	19.52	FORM. "C"	3.91
FORM. "B"	5.05	FORM. "F"	51.13	FORM. "D"	31.44	FORM. "D"	4.29
FORM. "D"	-1.18	FORM. "G"	100.94	FORM. "A"	36.52	FORM. "A"	5.12
FORM. "H"	-7.24	FORM. "H"	117.88	FORM. "B"	-48.15	FORM. "B"	14.89
FORM. "G"	-22.48	FORM. "E"	-112.40	FORM. "H"	-67.29	FORM. "H"	-22.68

Los resultados con signo negativo significan que la formulación propuesta no disminuye las emisiones, sino que, por el contrario las incrementa.

Para realizar una comparación con la suma de emisiones de los componentes CO, HC y NO<sub>x</sub>, fue necesario aplicar factores de toxicidad para sumar los efectos correspondientes, tales factores fueron de 0.04, 1.8 y 4.7 respectivamente.

Los resultados del análisis costo efectividad muestran que la mejor formulación para el Spirit 93 es la clasificada como "F" con 0.61 (\$/g/km) y la formulación "D" para el Tsuru 91 con 2.43 (\$/g/km). Es decir no hay una formulación que sea la más costo efectiva para ambos vehículos. En este sentido la formulación D es la que representa el mejor comportamiento para los dos vehículos ya que es la que ocupa el primer lugar, en términos costo efectividad, para el Nissan y el quinto para el Spirit. La peor es la formulación B, porque es la quinta para el Nissan y la séptima para el Spirit.

También es importante notar que en términos de emisiones de HC, ninguna de las formulaciones mostró reducción en el Spirit, en cambio para el Nissan siempre se observaron reducciones salvo para la formulación B. Se piensa que este fenómeno se debe al tipo de tecnología que utiliza cada uno de los automóviles .

Basándonos en los resultados obtenidos en el estudio costo efectividad se sugirió que se realicen las mismas pruebas en al menos otros dos vehículos, uno con tecnología equivalente a la del Vehículo Nissan Tsuru 91 y otro con tecnología equivalente a la del vehículo Chrysler Spirit 93 con la finalidad de establecer si el comportamiento observado se debe a la tecnología de estos autos o a las condiciones particulares de cada vehículo.

#### **5.4 ÚLTIMA ETAPA.**

En base al estudio costo efectividad, los resultados muestran que las mejores formulaciones tienen bajo contenido de azufre y bajo contenido de olefinas, Partiendo de este resultado se realizaron las mismas pruebas en diferentes

unidades de similares características a los vehículos anteriores, con la finalidad de establecer si el comportamiento observado se mantenía.

A ambos vehículos se les practicaron, por triplicado, la prueba FTP-75 con las dos formulaciones. Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 5.14 y 5.15, donde se observa que en el Tsuru la formulación "F" es con la que mejores resultados se obtienen. En el caso del Chrysler Spirit 93, ambas formulaciones disminuyen satisfactoriamente las emisiones con respecto a la gasolina referencia.

Para el Tsuru las Figuras 5.15 y 5.16 presentan los principales compuestos tóxicos y potenciales a la formación de ozono, respectivamente, donde la formulación "D" en ambas gráficas, es la de menor concentración.

En el caso del Spirit las Figuras 5.16 y 5.17 presentan también a la formulación "D" con menor concentración de hidrocarburos en el escape.

En la Figura 5.18 que corresponde a emisiones de hidrocarburos tóxicos por el escape, del Tsuru donde la formulación "D" es la que proporciona resultados más bajos ya que reduce considerablemente la emisión de estos hidrocarburos.

En la Figura 5.19 se observa que la reactividad específica de ambas formulaciones "D" y "F", para el vehículo Tsuru no sufrió ninguna variación.

La Figura 5.20 presenta la reactividad específica obtenida en el Spirit, de las cuales la formulación "D" es la que está por debajo de la gasolina de referencia en un 12.1%, mientras que la formulación "F" aumenta un 0.01%.

**TABLA 5.1**  
**NAFTAS UTILIZADAS EN LAS FORMULACIONES**

GASOLINA	PRIMARIA (%VOL)	CATALITICA (%VOL)	REFORMADO (%VOL)	ALQUILADO (%VOL)	RAFINADO (%VOL)	MTBE (%VOL)
1	12	18	24	35	1	10
2	11	21	22	35	1	10
3	4	18	27	30	11	10
4	13	23	20	24	10	10
5	11	35	14	30	0	10
6	11	35	14	30	0	10
7	5	35	14	28	8	10
8	3	35	16	28	8	10
9	3	18	50	19	0	10
10	3	22	50	15	0	10
11	0	18	50	12	10	10
12	4	22	50	5	9	10
13	0	35	47	8	0	10
14	3	35	44	8	0	10
15	0	35	44	4	7	10
16	0	35	44	4	7	10

**TABLA 5.2**

**MATRIZ EXPERIMENTAL DE LAS FORMULACIONES**

FORM.	PVR	OLEF.	AROM.	S ppm
A	( - )	( - )	( - )	295
B	( - )	( - )	( + )	295
C	( - )	( + )	( - )	677
D	( + )	( - )	( - )	295
E	( - )	( + )	( + )	677
F	( + )	( - )	( + )	295
G	( + )	( + )	( - )	677
H	( + )	( + )	( + )	677

(+) Mayor concentración

(-) Menor concentración

PVR[lb/in<sup>2</sup>] (+) 7.4, (-) 6.4

OLEF. [%vol] (+) 10, (-) 5

AROM. [%vol] (+) 25, (-) 15

AZUFRE [ppm]

**TABLA 5.3**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS FORMULACIONES SELECCIONADAS**

FORMULACION	PVR lb/in <sup>2</sup>	OLEFINAS % vol.	AROMÁTICOS % vol.	AZUFRE ppm
REFERENCIA	7.2	7.4	24.3	435
A	6.3	5.0	14.9	409
B	6.5	6.1	24.0	389
C	6.5	9.7	15.2	677
D	7.7	5.0	14.8	333
E	6.7	9.7	25.6	564
F	7.8	5.0	22.6	295
G	7.6	9.7	14.3	621
H	7.7	9.7	24.5	574



**TABLA 5.4****VEHÍCULOS DE PRUEBA**

<b>VEHÍCULO</b>	<b>AÑO/MODELO</b>	<b>TIPO DE TECNOLOGÍA</b>
NISSAN TSURU II	1991	Carburado, motor de cuatro cilindros, convertidor catalítico de tipo oxidativo, control de emisiones de circuito abierto y transmisión manual.
CHRYSLER SPIRIT	1993	Inyección, motor de cuatro cilindros, convertidor catalítico de tres vías, control de emisiones de circuito cerrado y transmisión automática.

**TABLA 5.5**  
**VARIACIÓN PORCENTUAL**  
**NISSAN TSURU - 1991**

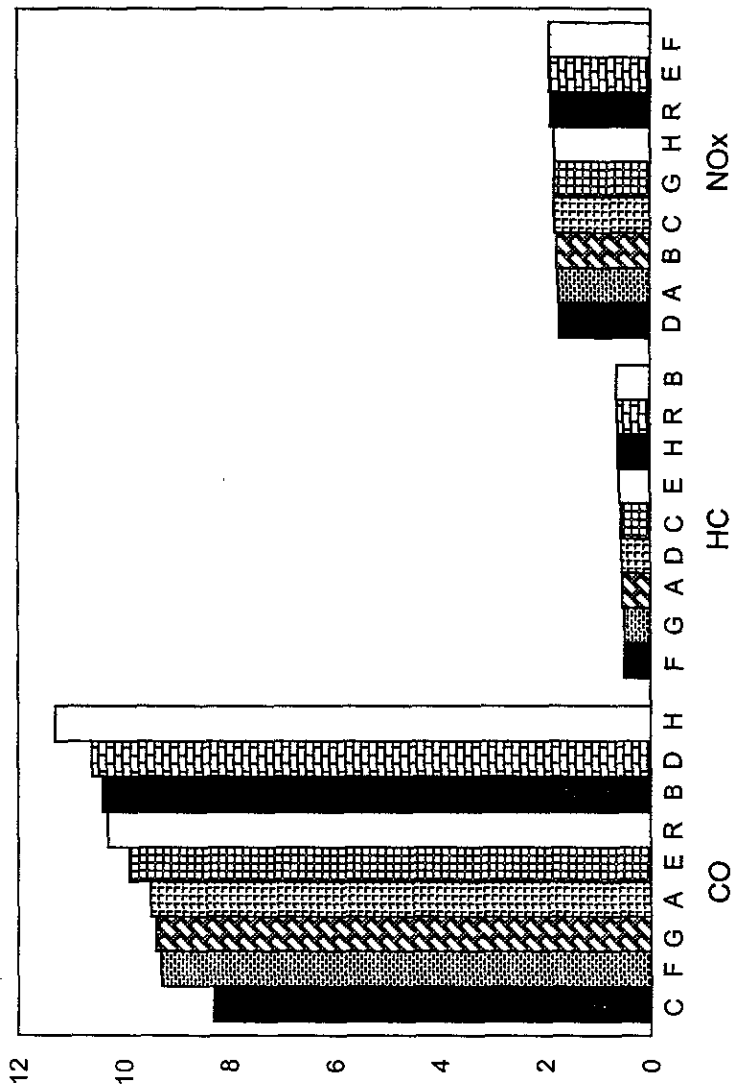
COMBUSTIBLE	EMISIONES [g/km]				VARIACION PORCENTUAL				
	CO	HC	NOx	CO	HC	NOx	CO	HC	NOx
REFERENCIA	10.3	0.6	1.9						
FORM. "A"	9.5	0.5	1.7	-7.8	-11.5	-7.5			
FORM. "B"	10.4	0.6	1.8	1.3	3.3	-6.4			
FORM. "C"	8.3	0.6	1.8	-19.4	-8.2	-3.7			
FORM "D"	10.6	0.6	1.7	2.9	-9.8	-9.1			
FORM. "E"	9.9	0.6	1.9	-3.8	-3.3	3.7			
FORM. "F"	9.3	0.5	1.9	-10.2	-18	0.5			
FORM. "G"	9.4	0.5	1.8	-8.5	-18	-6.4			
FORM. "H"	11.3	0.6	1.8	9.7	3.3	-1.6			

(+) Incremento

(-) Reducción

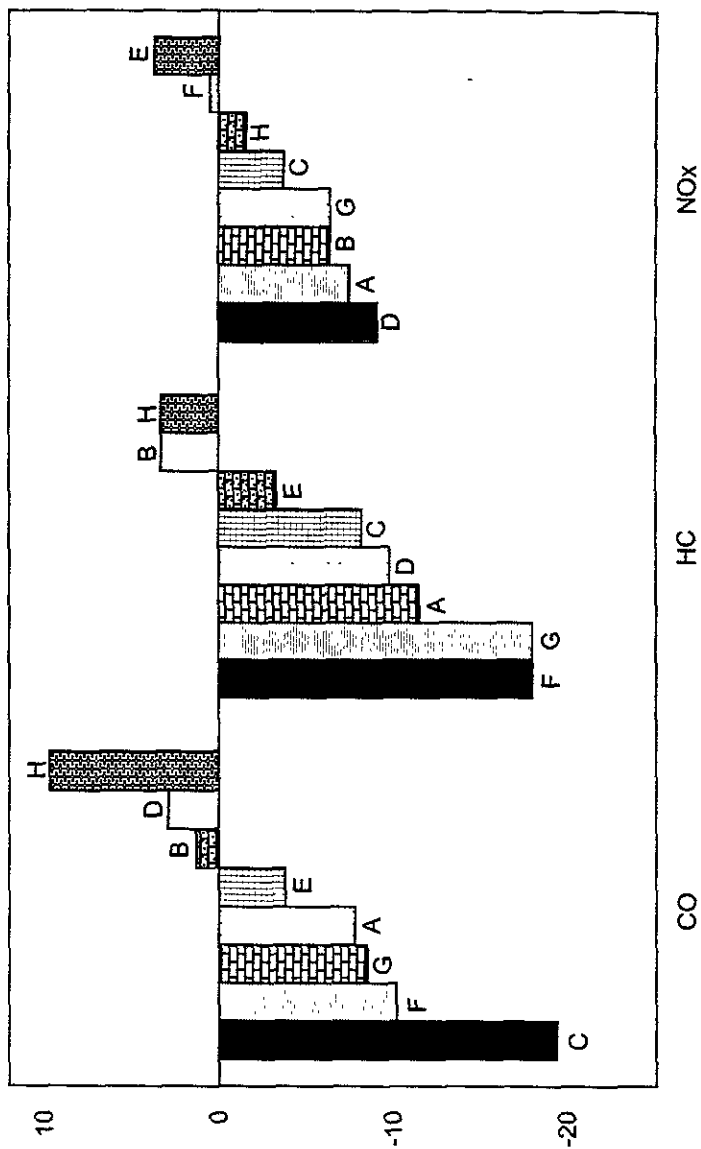
**FIGURA 5.1**  
**PROMEDIO DE 3 PRUEBAS FTP-75**

NISSAN TSURU 1991



**FIGURA 5.2**  
**COMPARACION DE EMISIONES DE ESCAPE**  
**VARIACION PORCENTUAL**

NISSAN TSURU 1991



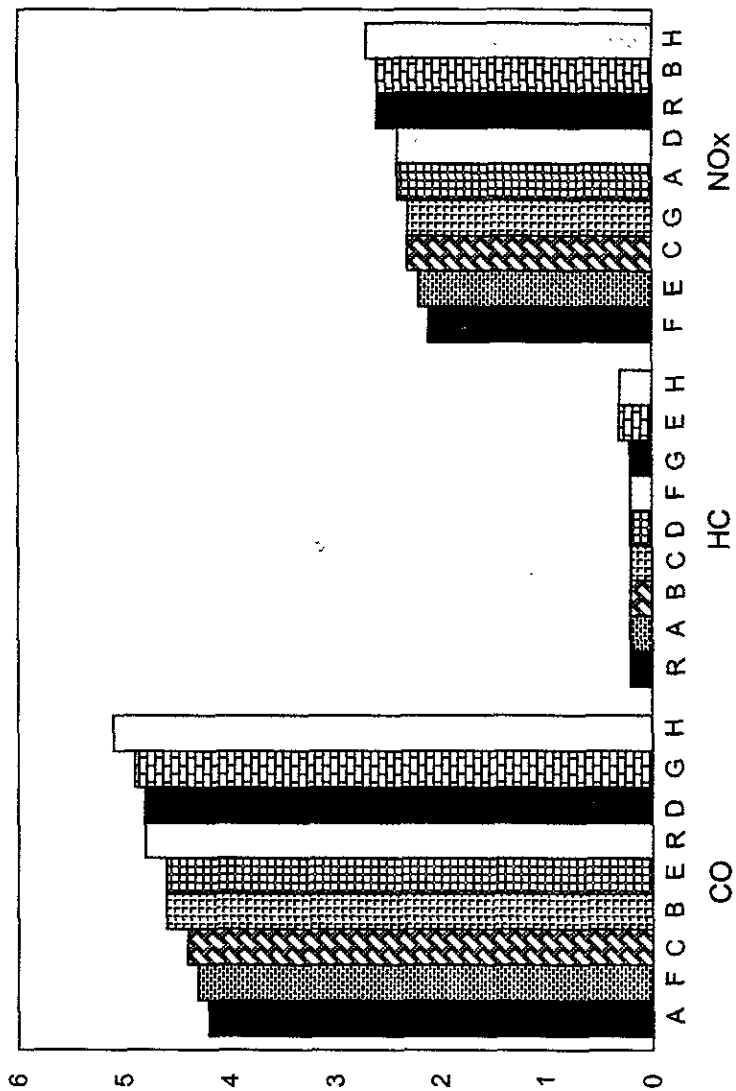
**TABLA 5.6**  
**COMPARACIÓN DE EMISIONES**  
**CHRYSLER SPIRIT - 1993**

COMBUSTIBLE	EMISIONES (g/km)				VARIACION PORCENTUAL			
	CO	HC	NOx	NOx	CO	HC	NOx	NOx
REFERENCIA	4.8	0.2	2.6					
FORM. "A"	4.2	0.2	2.4		-11.7	-13	-7.7	
FORM. "B"	4.6	0.2	2.6		-3.8	-8.7	0	
FORM. "C"	4.4	0.2	2.3		-9.2	4.3	-11.5	
FORM. "D"	4.8	0.2	2.4		0.62	-17.3	-7.7	
FORM. "E"	4.6	0.3	2.2		-4.6	-8.7	-15.4	
FORM. "F"	4.3	0.2	2.1		-10.6	-8.7	-19.2	
FORM. "G"	4.9	0.2	2.3		1.46	-4.3	-11.5	
FORM. "H"	5.1	0.3	2.7		6.5	13	3.8	

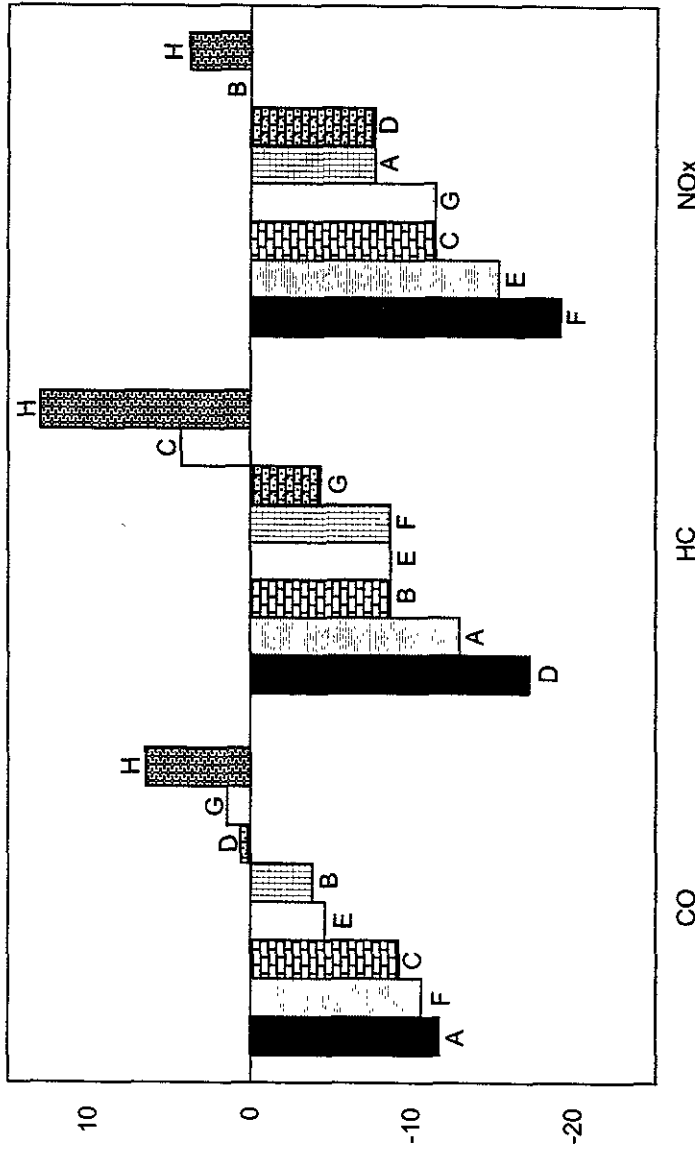
(+) Incremento

(-) Reducción

**FIGURA 5.3**  
**PROMEDIO DE 3 PRUEBAS FTP-75**  
**CHRYSLER SPIRIT 1993**



**FIGURA 5.4**  
**VARIACION PORCENTUAL**  
**EMISIONES DE ESCAPE**  
**CHRYSLER SPIRIT 93**



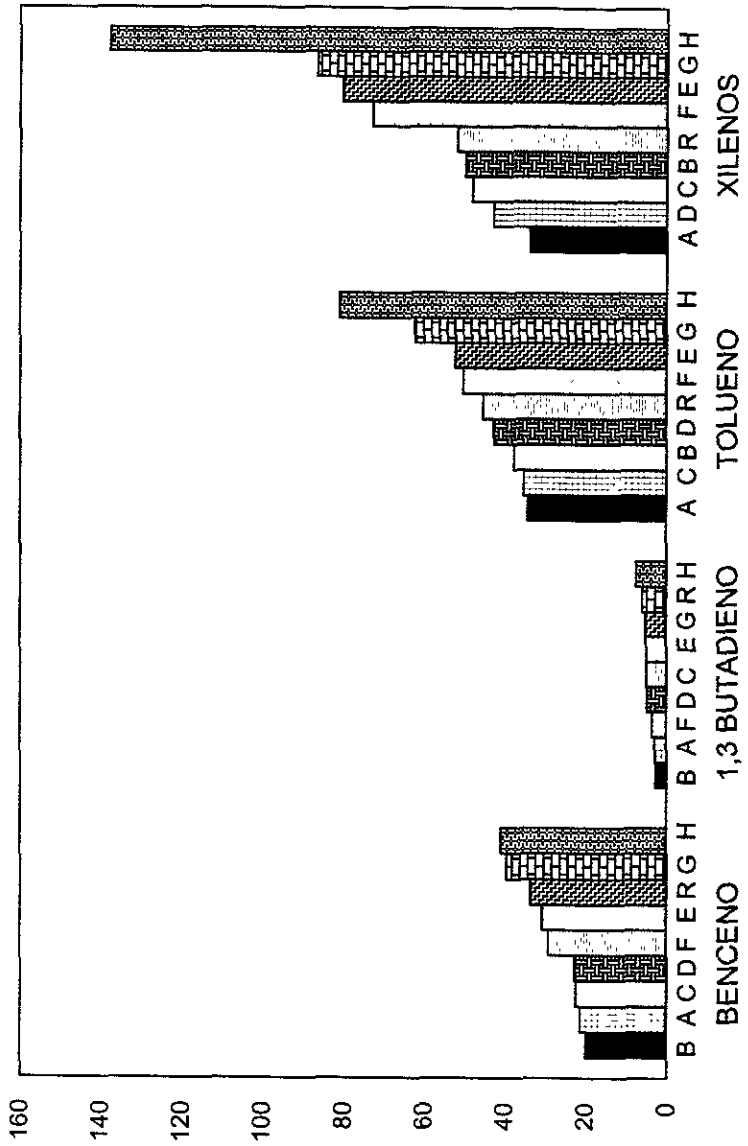
**TABLA 5.7**  
**HIDROCARBUROS TÓXICOS EN EL ESCAPE (mgHC/km)**

COMBUSTIBLE	BENCENO		1,3 BUTADIENO		TOLUENO		XILENOS	
	NISSAN	SPIRIT	NISSAN	SPIRIT	NISSAN	SPIRIT	NISSAN	SPIRIT
REF.	33.6	23.1	5.9	1.1	45.1	23.6	51.7	31.8
FORM. "A"	21.3	15.3	2.8	0.5	34.1	9.9	33.5	7.8
FORM. "B"	19.7	21.4	2.6	1	37.6	13	49.7	15.4
FORM. "C"	22.4	18.2	4.9	2.9	35.1	21.3	47.9	13.6
FORM. "D"	22.7	15.5	4.7	0.7	42.5	13.6	42.5	10.1
FORM. "E"	30.6	20.3	4.9	0.9	52.1	26.1	80.1	43.7
FORM. "F"	29.1	16.4	3.4	0.7	50.2	15.7	72.7	28.2
FORM. "G"	39.5	26.8	5	1.2	62.1	17.3	86.4	39.8
FORM. "H"	40.8	27.6	7.5	1.2	80.9	31.6	137.7	64.9

FORMATO: XLS



**FIGURA 5.5**  
**HIDROCARBUROS TOXICOS EN EL ESCAPE (mgHC/km)**  
 NISSAN TSURU 1991



**FIGURA 5.6**  
**HIDROCARBUROS TOXICOS EN EL ESCAPE (mg/km)**

CHRISLER SPIRIT 1993

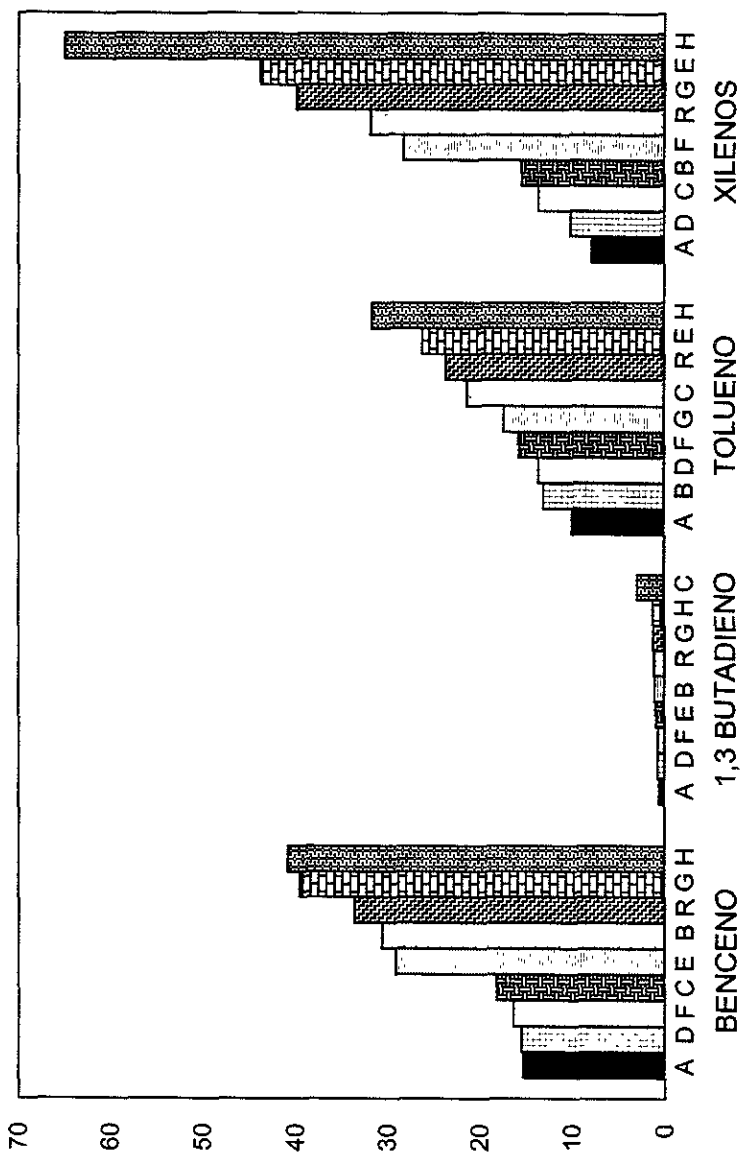


TABLA 5.8

EVALUACION COMPARATIVA DE LAS GASOLINAS PEMEX MAGNA Y FORMULACIONES  
COMPOSICION DE LAS EMISIONES DE ESCAPE (ANALISIS CROMATOGRAFICO)

GRUPO	CONCENT. %vol.	NISSAN							
		REF.	FORM. "A"	FORM. "B"	FORM. "C"	FORM. "D"	FORM. "E"	FORM. "F"	FORM. "G"
PARAFINAS	20.8	16.8	13	17.9	17.4	30.7	15.2	17.0	21.9
ISOPARAFINAS	17.8	27.6	25.6	27.1	29.1	23.0	19.3	25.9	14.3
OLEFINAS	25	25	18.0	25.9	23.1	19.7	19.3	24.0	14.2
NAFTENICOS	1.5	1.5	0.6	2.1	0.8	1.6	0.7	1.0	1.8
AROMATICOS	34.9	25.0	42.8	27.1	29.6	25.0	45.6	32.1	47.8

TABLA 5.9

EVALUACION COMPARATIVA DE LAS GASOLINAS PEMEX MAGNA Y FORMULACIONES  
COMPOSICION DE LAS EMISIONES DE ESCAPE (ANALISIS CROMATOGRAFICO)

GRUPO	CONCENT. %vol.	S P I R I T							
		REF.	FORM. "A"	FORM. "B"	FORM. "C"	FORM. "D"	FORM. "E"	FORM. "F"	FORM. "G"
PARAFINAS	30.8	17.1	20	38.1	21.1	29.9	32.5	29.5	24.7
ISOPARAFINAS	25.3	27.9	14.9	15.1	23.6	20.5	17.5	23.7	10.2
OLEFINAS	20.4	15.6	14.1	19.9	20.3	23.3	18.2	22	16.2
NAFTENICOS	0.8	0.6	0.2	0.7	0.5	1.2	0.23	1.07	0.2
AROMATICOS	22.7	38.1	50.9	26.3	34.5	25.1	31.6	23.8	48.8

**FIGURA 5.7**  
**COMPOSICION DE LAS EMISIONES DE ESCAPE**  
**ANALISIS CROMATOGRAFICO**

NISSAN TSURU 1991

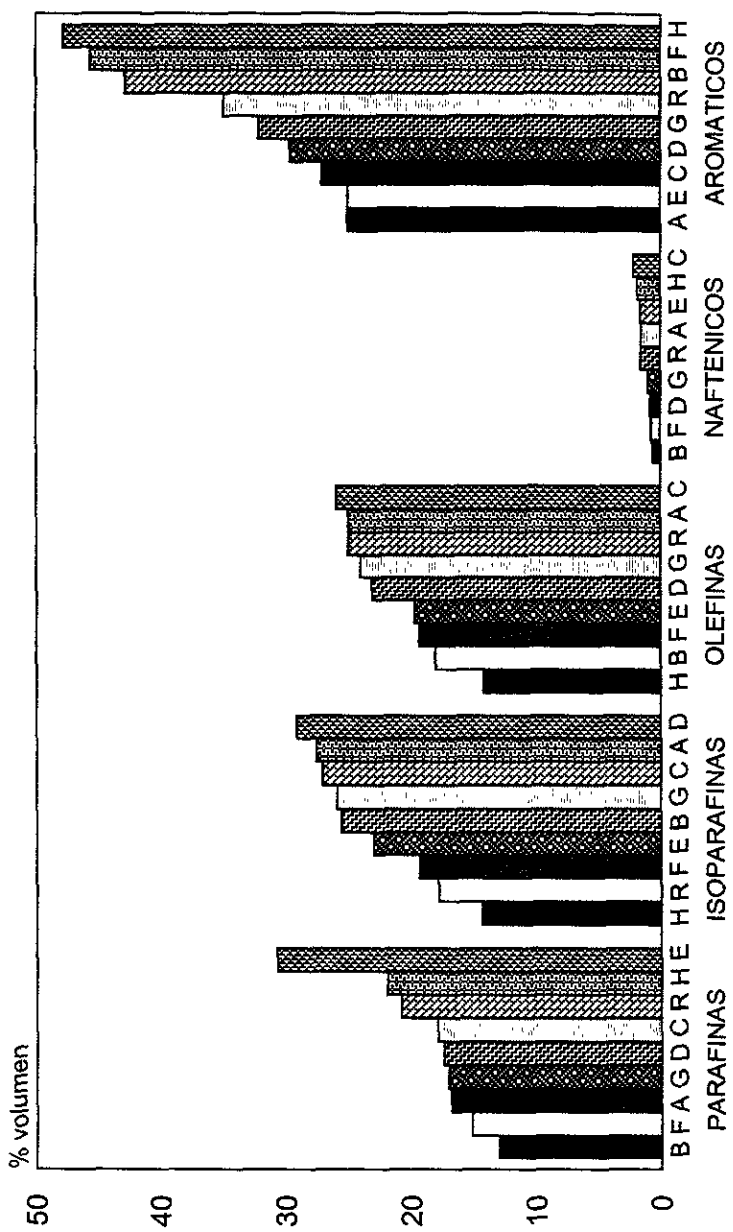
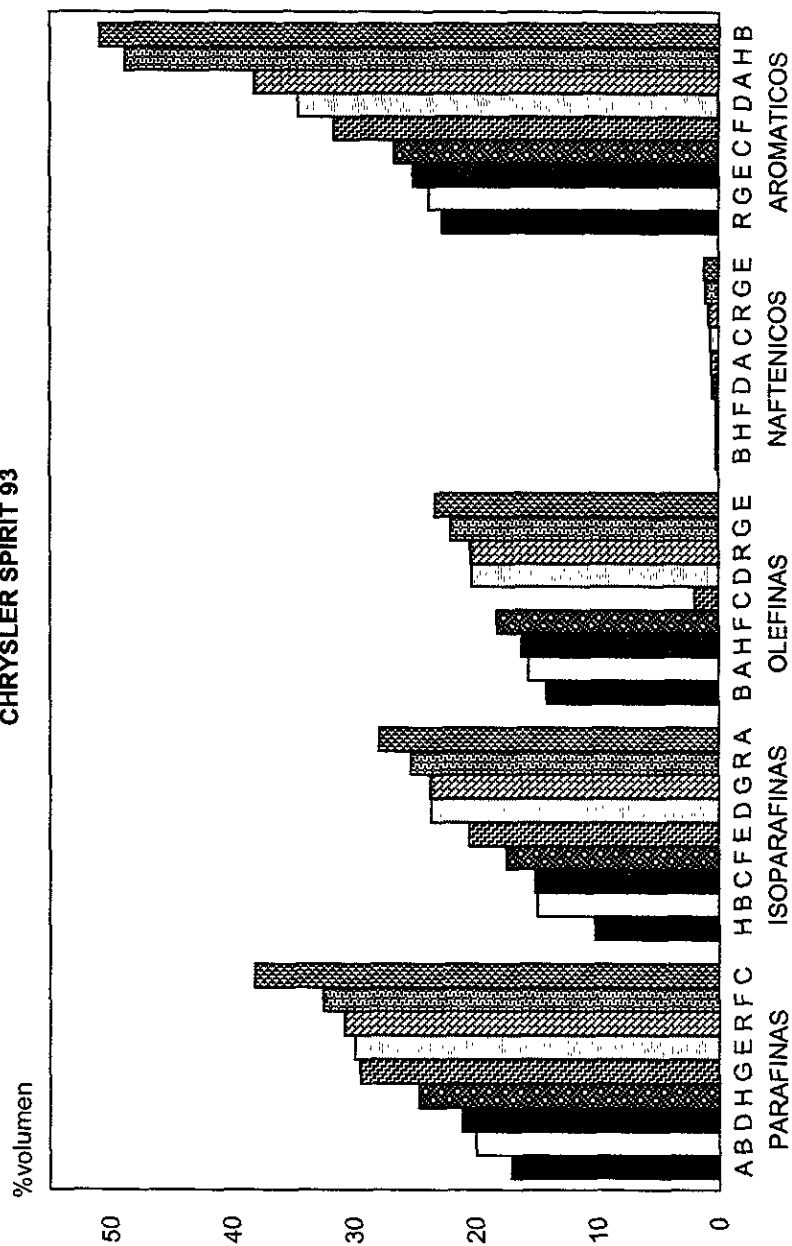


FIGURA 5.8

COMPOSICION DE LAS EMISIONES DE ESCAPE  
ANALISIS CROMATOGRAFICO

CHRYSLER SPIRIT 93



**TABLA 5.10**

**PRINCIPALES COMPUESTOS PRESENTES EN EL ESCAPE EN MAYOR CONCENTRACIÓN (mgAldehídos/Km)**

**TSURU NISSAN 1991**

COMPUESTO	FORMULACIONES									
	REF.	FORM. "A"	FORM. "B"	FORM. "C"	FORM. "D"	FORM. "E"	FORM. "F"	FORM. "G"	FORM. "H"	
FORMALDEHIDO	3.7	2.7	2.6	3.1	2.3	3.3	3.1	2.7	3.9	
ACETALDEHIDO	1.9	1.7	2.8	3	1.3	2.4	2.1	2.7	3.2	

**TABLA 5.11**

**PRINCIPALES COMPUESTOS EMITIDOS POR EL ESCAPE POTENCIALES A FORMAR OZONO (mgO3/NMOG)**

**TSURU NISSAN 1991**

COMPUESTO	FORMULACIONES									
	REF.	FORM. "A"	FORM. "B"	FORM. "C"	FORM. "D"	FORM. "E"	FORM. "F"	FORM. "G"	FORM. "H"	
FORMALDEHIDO	15.7	13.7	13.9	14.2	12.3	13.6	13.4	14.1	16.3	
ACETALDEHIDO	3.9	3.6	3.9	4.01	2.6	3.1	2.7	4.0	4.7	

**TABLA 5.12**

**PRINCIPALES COMPUESTOS PRESENTES EN EL ESCAPE EN MAYOR CONCENTRACIÓN (mgAldehidos/Km)**

**SPIRIT CHRYSLER 1993**

COMPUESTO	FORMULACIONES									
	REF.	FORM. "A"	FORM. "B"	FORM. "C"	FORM. "D"	FORM. "E"	FORM. "F"	FORM. "G"	FORM. "H"	
FORMALDEHIDO	2.6	1.9	2.3	1.6	2.1	2.3	1.5	1.7	2.9	
ACETALDEHIDO	0.7	0.9	1.1	0.8	0.9	1.2	0.5	0.7	1.3	

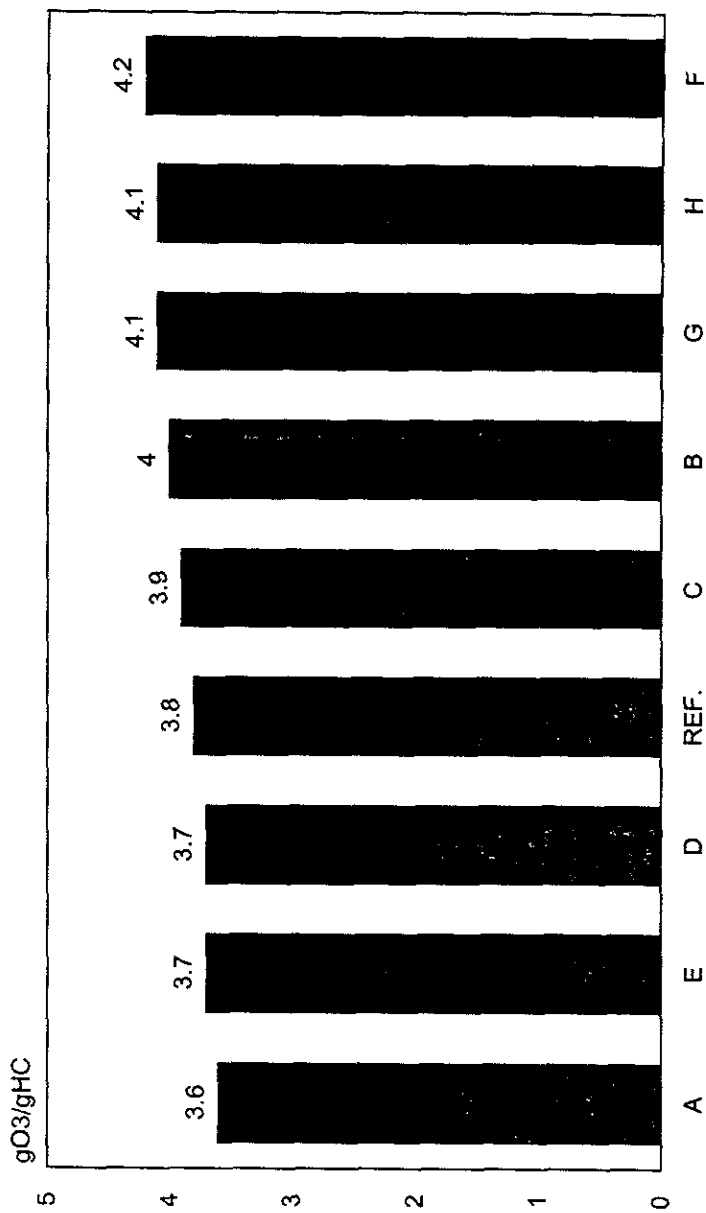
**TABLA 5.13**

**PRINCIPALES COMPUESTOS EMITIDOS POR EL ESCAPE POTENCIALES A FORMAR OZONO (mgO3/INMOG)**

**SPIRIT CHRYSLER 1993**

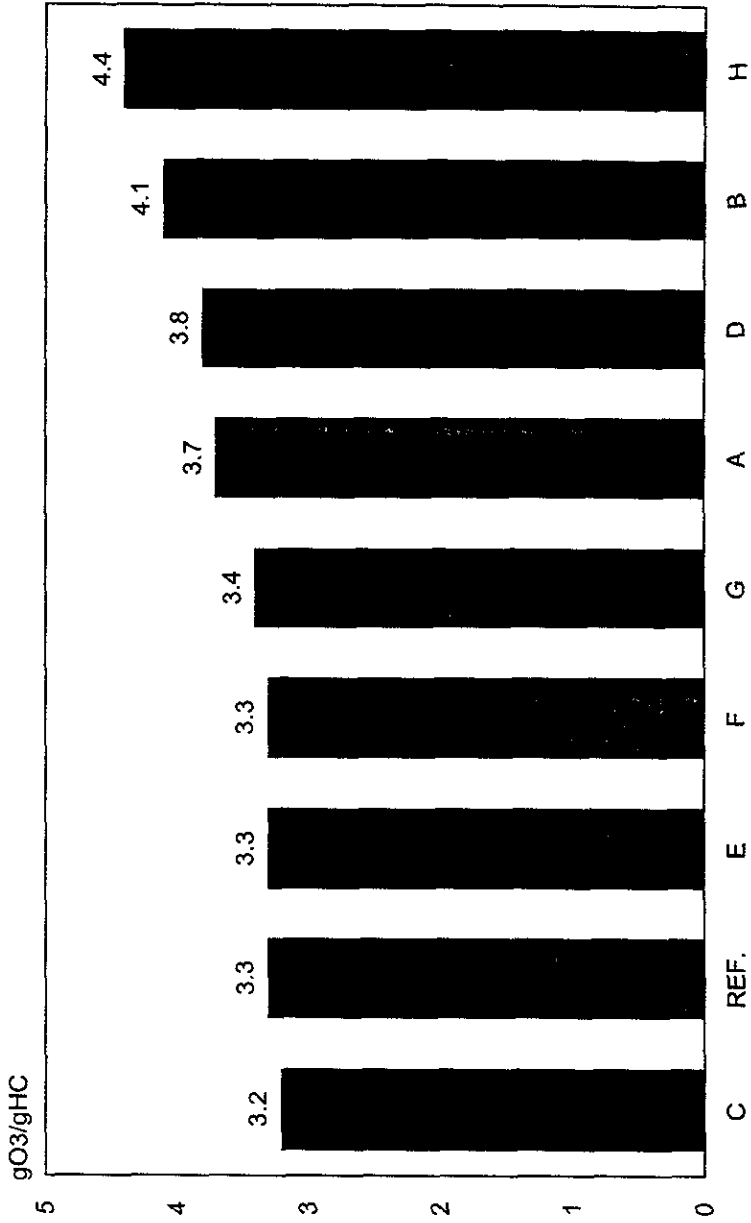
COMPUESTO	FORMULACIONES									
	REF.	FORM. "A"	FORM. "B"	FORM. "C"	FORM. "D"	FORM. "E"	FORM. "F"	FORM. "G"	FORM. "H"	
FORMALDEHIDO	10.7	12.3	11.9	11.8	12.5	13.2	9.7	10.8	14.6	
ACETALDEHIDO	1.9	2.7	1.8	2.3	1.9	1.9	1.3	2.5	3.4	

**FIGURA 5.9**  
**REACTIVIDAD ESPECIFICA**  
**NISSAN TSURU 1991**

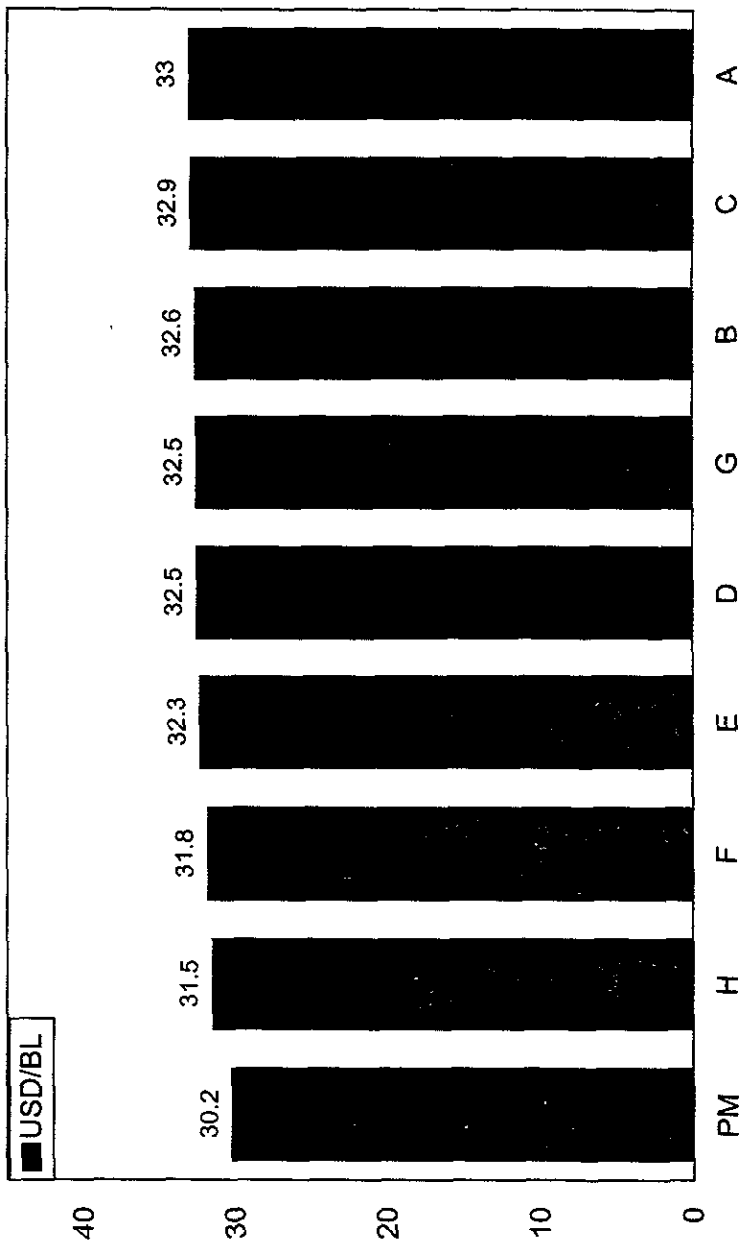




**FIGURA 5.10**  
**REACTIVIDAD ESPECIFICA**  
**CHRYSLER SPIRIT 1993**



**FIGURA A**  
**PRECIOS DE GASOLINAS REFORMULADAS**



**TABLA 5.14**

EMISIONES DE ESCAPE PEMEX MAGNA Y FORMULACIONES I.M.P.  
PRUEBAS DE EFECTO INMEDIATO  
NISSAN TSURU 1991

COMBUSTIBLE	EMISIONES [g/(km)]			FORMULACIONES					VARIACION PORCENTUAL		
	CO	HC	NOx	PVR [litros]	OLEF [%vol]	AROM [%vol]	S [%vol]	S [ppm]	CO	HC	NOx
REFERENCIA	29.70	1.07	0.74	7.2	7.40	24.30	435				
FORM. "D"	19.12	0.79	0.75	7.7	6.47	24.76	310	-35.62	-26.16	1.35	
FORM. "F"	18.60	0.79	0.63	7.3	5.23	19.60	330	-37.37	-26.16	-14.86	

**TABLA 5.15**

EMISIONES DE ESCAPE PEMEX MAGNA Y FORMULACIONES I.M.P.  
PRUEBAS DE EFECTO INMEDIATO  
CHRYSLER SPIRIT 1993

COMBUSTIBLE	EMISIONES [g/(km)]			FORMULACIONES					VARIACION PORCENTUAL		
	CO	HC	NOx	PVR [litros]	OLEF [%vol]	AROM [%vol]	S [%vol]	S [ppm]	CO	HC	NOx
REFERENCIA	2.50	0.29	0.68	7.2	7.40	24.30	435				
FORM. "D"	1.96	0.24	0.67	7.7	6.47	24.76	310	-21.6	-17.2	-1.50	
FORM. "F"	1.93	0.23	0.70	7.3	5.23	19.60	330	-22.8	-22.4	2.94	

FIGURA 5.11

PROMEDIO DE 3 PRUEBAS FTP-75 (g/km)

NISSAN TSURU 1991

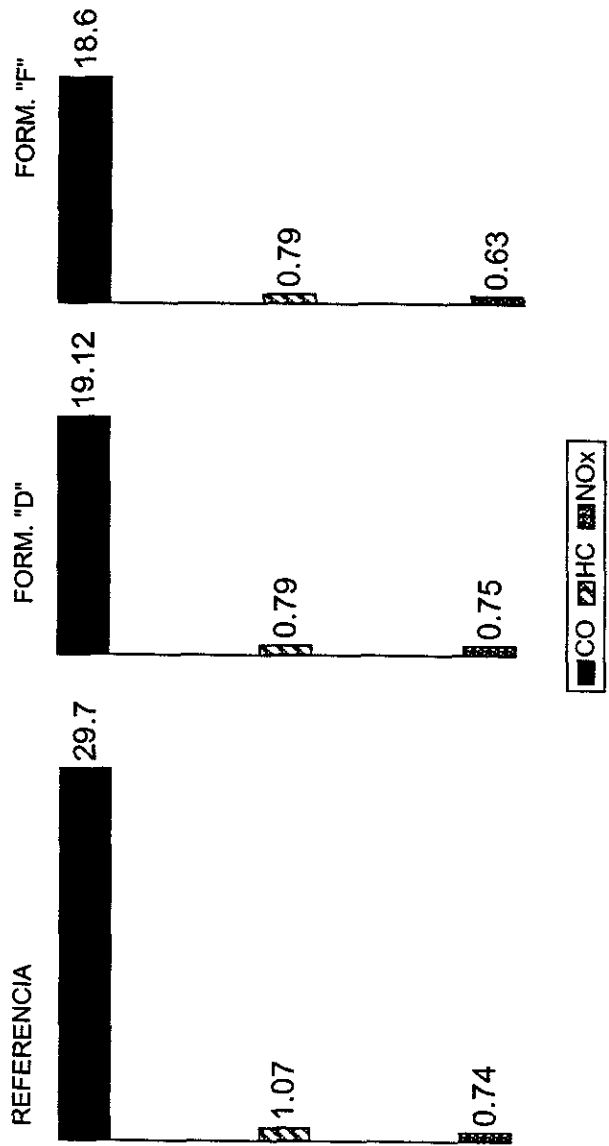


FIGURA 5.12

COMPARACION DE EMISIONES DE ESCAPE  
VARIACION PORCENTUAL

NISSAN TSURU 1991

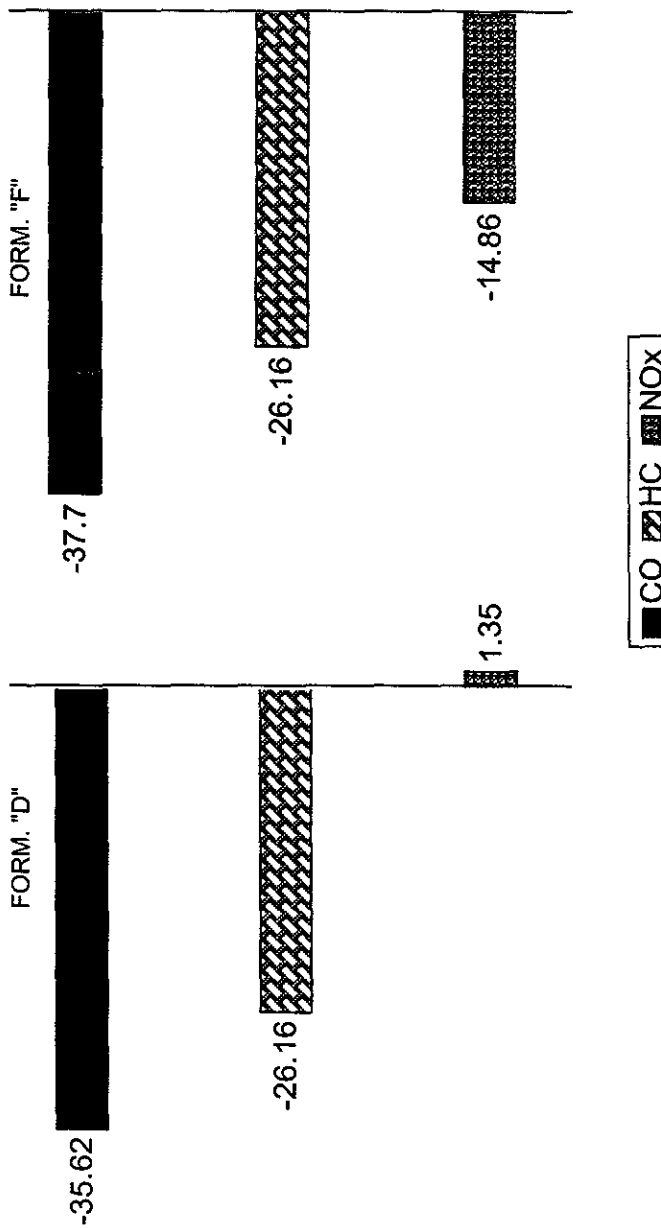
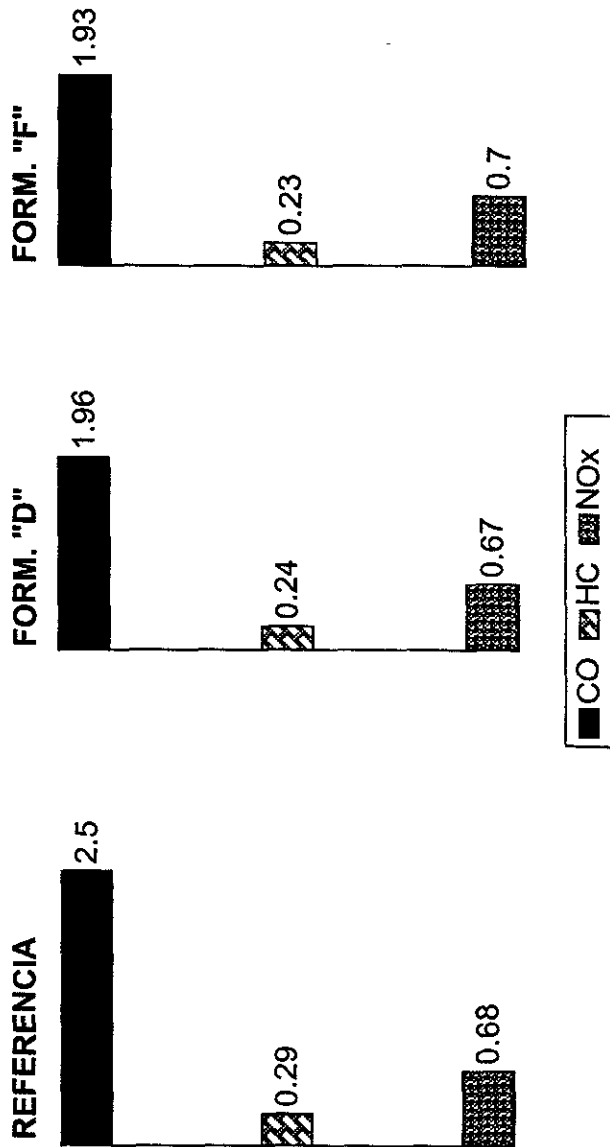


FIGURA 5.13

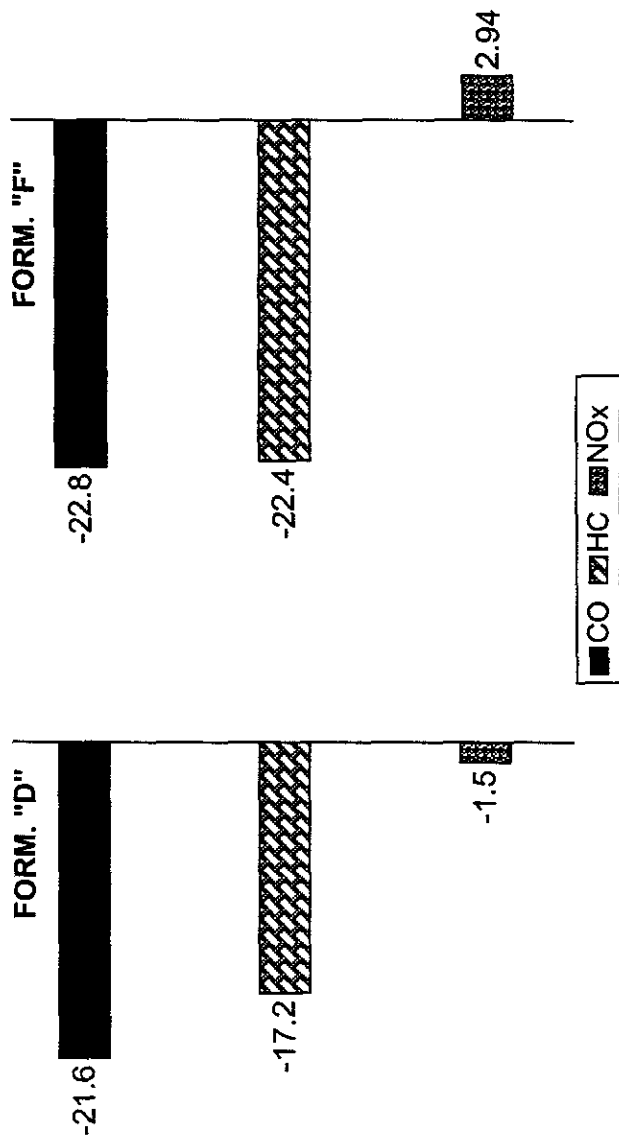
PROMEDIO DE 3 PRUEBAS FTP-75 (g/km)

CHRYSLER SPIRIT 1993



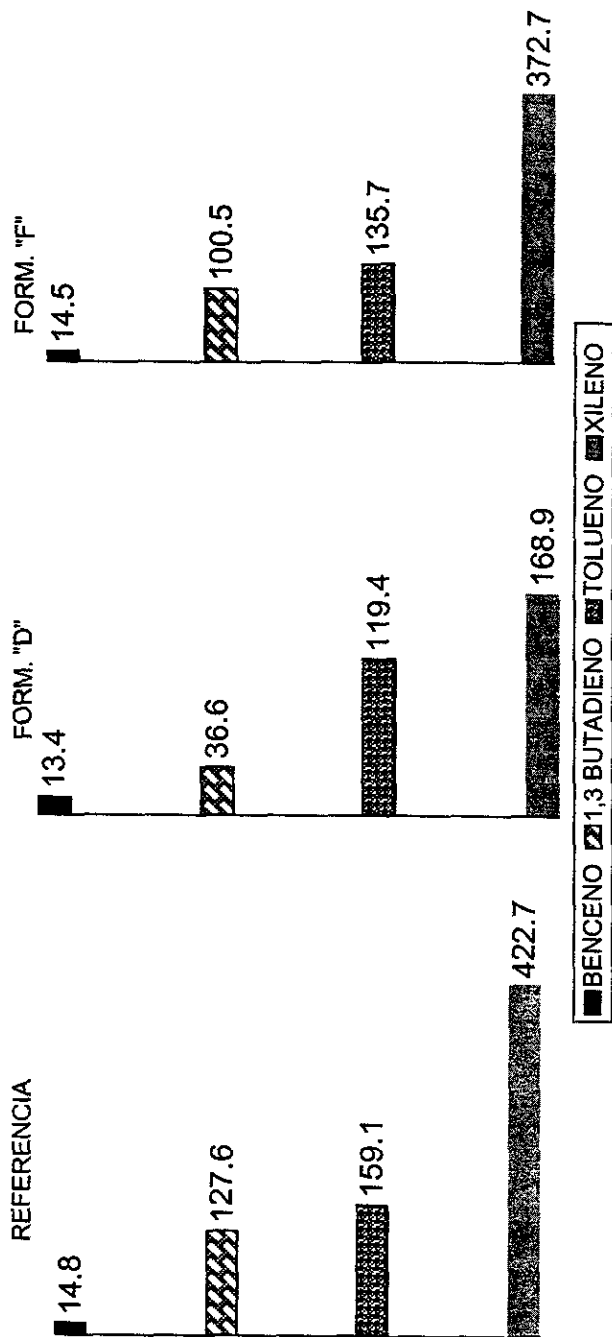
**FIGURA 5.14**  
**COMPARACION DE EMISIONES DE ESCAPE**  
**VARIACION PORCENTUAL**

CHRYSLER SPIRIT 1993



**FIGURA 5.15**  
**PRINCIPALES COMPUESTOS TOXICOS Y POTENCIALES**  
**A LA FORMACION DE OZONO (mgO3/km)**

NISSAN TSURU 1991





**FIGURA 5.16**  
**PRINCIPALES COMPUESTOS TOXICOS Y POTENCIALES**  
**A LA FORMACION DE OZONO (mgO<sub>3</sub>/km)**

CHRYSLER SPIRIT 1993

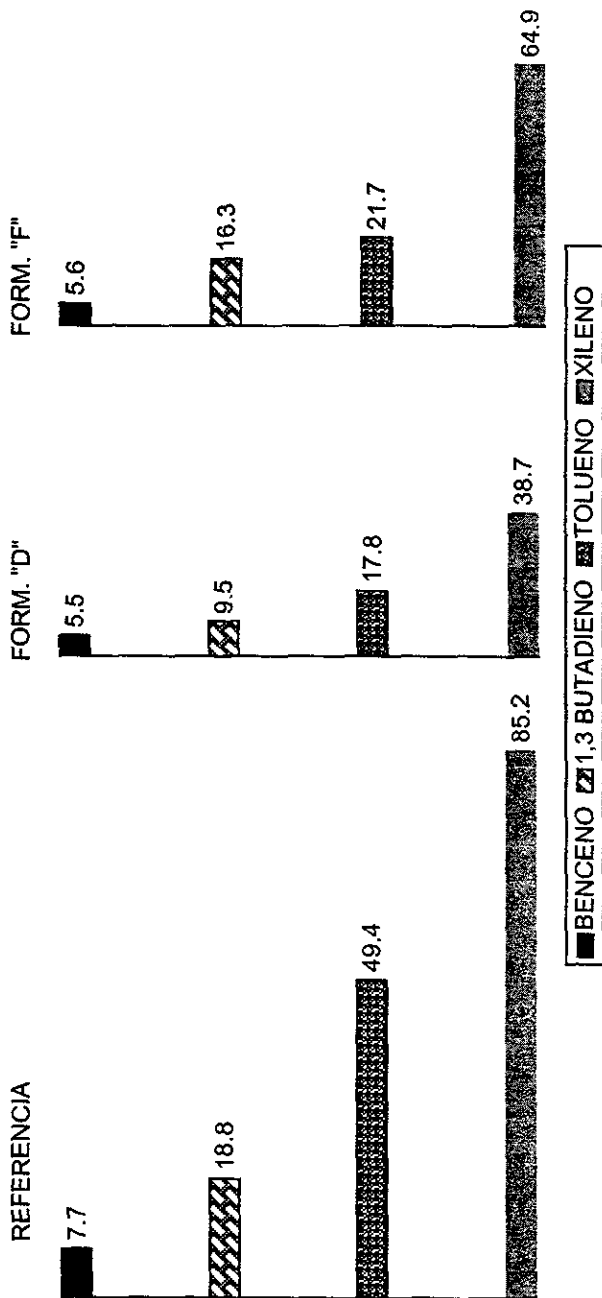
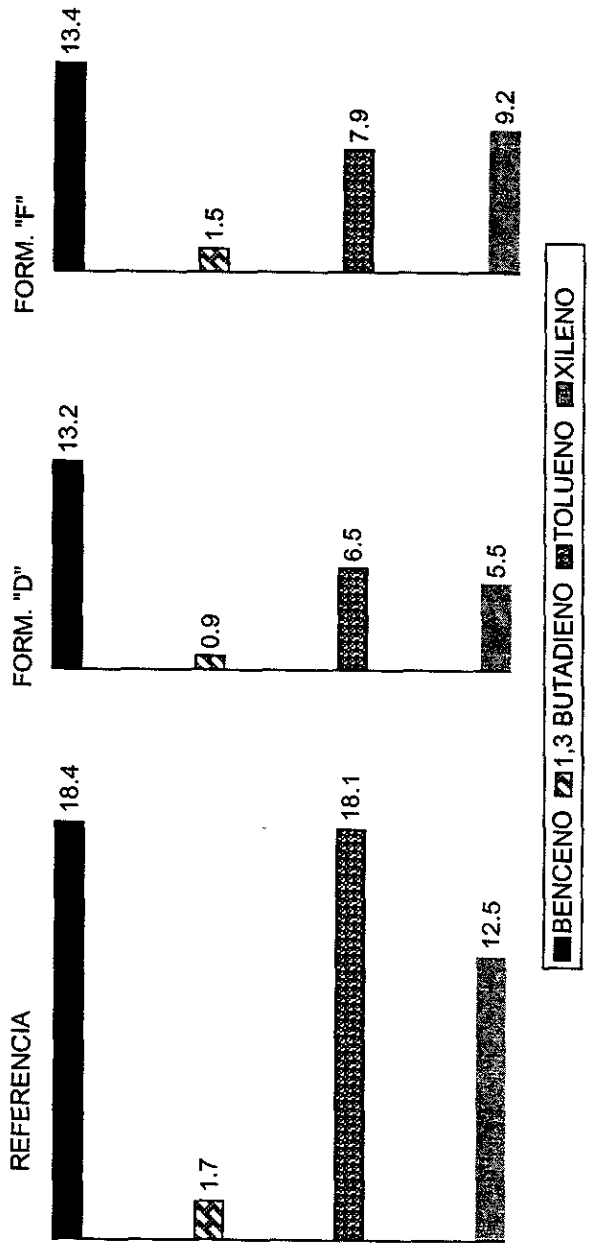


FIGURA 5.17

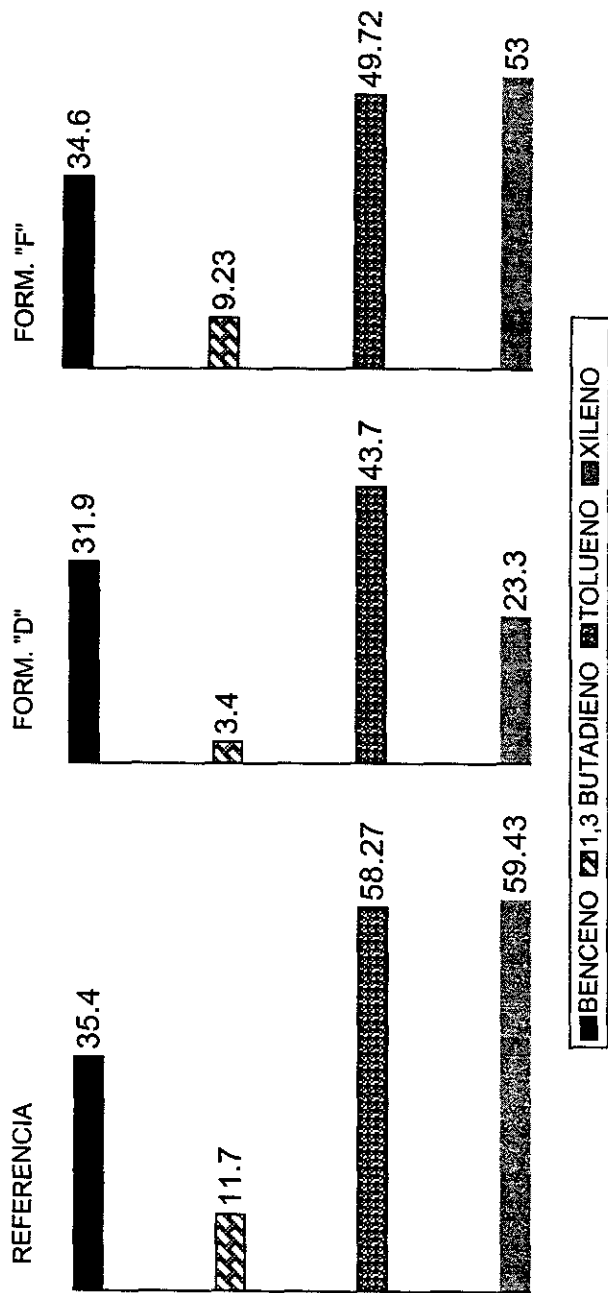
HIDROCARBUROS TOXICOS EN EL ESCAPE (mgHC/km)

CHRYSLER SPIRIT 1993



**FIGURA 5.18**  
**HIDROCARBUROS TOXICOS EN EL ESCAPE (mgHC/km)**

NISSAN TSURU 1991



## CONCLUSIONES

La reformulación de combustibles es una de las alternativas más importantes desde el punto de vista técnico y ecológico debido a que reduce los niveles de los hidrocarburos potenciales a la formación de ozono y tóxicos (hidrocarburos totales y óxidos de nitrógeno) en éstas, aunque no se ha llegado a alcanzar un balance óptimo entre la magnitud en la reducción de emisiones y los costos de producción.

Con la finalidad de obtener información necesaria que permita definir el efecto del cambio en los combustibles sobre las emisiones de los vehículos automotores, se llevaron a cabo pruebas de efecto inmediato en dos vehículos de tecnología diferente.

En base a los resultados obtenidos de los dos vehículos de prueba, Chrysler Spirit 1993 y Nissan Tsuru II 1991, realizando pruebas en éstos con las formulaciones de más bajas emisiones en base al estudio Costo Efectividad, observándose los siguientes resultados:

En el Vehículo Chrysler Spirit 1993:

Formulación "D". Al efectuar pruebas de emisiones en dinámometro de chasis y de efecto inmediato el CO disminuyó 21.6%, los HC 17.2% y por lo que respecta a los NOx hubo una reducción del 1.5%.

Formulación "F", el CO disminuyó 22.8%, los HC redujeron 22.4% y los NOx se incrementaron en un 2.94%.

Vehículo Nissan Tsuru II 1991:

Formulación "D". En este vehículo al igual que en el anterior se realizaron las mismas pruebas observando que el CO disminuyó 35.62%, los HC disminuyeron 26.2% y los NOx aumentaron 1.35%.

Formulación "F", el CO disminuyó 37.37%, los HC y NOx disminuyeron 26.16% y 14.86% respectivamente.

Con los resultados anteriormente mencionados se concluye que para ambos vehículos la formulación "D" presenta un mejor comportamiento en cuanto a reducción de emisiones de escape.

Al evaluar la potencialidad de las emisiones de hidrocarburos a formar ozono en función de la masa emitida por los vehículos, se obtuvo en promedio para cada formulación, resultando la "D" como la que mejor comportamiento presenta debido a su bajo contenido de olefinas y aromáticos lo que reduce su potencialidad a formar ozono, ya que las olefinas son los compuestos más reactivos.

Basándose en el análisis de los resultados para cada una de las formulaciones de emisiones de hidrocarburos reactivos correspondientes se puede deducir que en el vehículo Spirit la reactividad se redujo en un 29.3% para la formulación "D" y un aumento de 6.06% para la formulación "F". Por otro lado, para el vehículo Tsuru ambos combustibles reportaron una disminución de 0.014%.

En lo que respecta a la emisión de compuestos tóxicos de los cuales se consideran principalmente el 1,3 butadieno, benceno, formaldehído y acetaldehído como los compuestos que requieren ser controlados al introducir cambios en la composición de la gasolina, Para las formulaciones "D" y "F" se observó una reducción de 68.5% y 20.3% respectivamente.

La reformulación de combustibles es considerada como una medida efectiva para mejorar la calidad del aire a corto y mediano plazo. Sin embargo los costos de producción de las corrientes de naftas que intervienen en la formulación son elevados y aunado a esto, solo lo demandan aquellos vehículos de tecnología reciente y otro de los factores importantes es el lugar donde se va a consumir dicho combustible.

## APÉNDICE A

### UNIDADES DE VOLUMEN

$$1 \text{ in}^3 = 1.6387 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ in}^3 = 1.6387 \times 10^1 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ cm}^3 = 6.1023 \times 10^{-2} \text{ in}^3$$

$$1 \text{ cm}^3 = 1.0 \times 10^{-3} \text{ l}$$

$$1 \text{ in}^3 = 5.7870 \times 10^{-14} \text{ ft}^3$$

### UNIDADES DE VELOCIDAD

$$1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h}$$

$$1 \text{ m/s} = 196.85 \text{ ft/min}$$

$$1 \text{ m/s} = 2.237 \text{ Mi/h}$$

$$1 \text{ km/h} = 0.6214 \text{ Mi/h}$$

### UNIDADES DE VELOCIDAD ANGULAR

$$1 \text{ rad/s} = 9.55 \text{ rev/min}$$

$$1 \text{ rev/min} = 0.1047 \text{ rad/s}$$

### UNIDADES DE TRABAJO O ENERGÍA

$$1 \text{ J o Nm} = 0.10197 \text{ kg}_f \text{ m}$$

$$1 \text{ J} = 2.778 \times 10^{-7} \text{ KW h}$$

$$1 \text{ J} = 3.777 \times 10^{-7} \text{ CV h}$$

$$1 \text{ J} = 3.725 \times 10^{-7} \text{ HP h}$$

$$1 \text{ J} = 2.388 \times 10^{-4} \text{ Kcal}$$

$$1 \text{ Cal} = 4.187 \text{ J}$$

$$1 \text{ Kcal} = 426.9 \text{ kg}_f \text{ m}$$

$$1 \text{ BTU} = 778.2 \text{ ft lb}_f$$

### UNIDADES DE TEMPERATURA

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$$

$$^{\circ}\text{F} = 1.8 ^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 273.15$$

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{R} - 459.67$$

$$^{\circ}\text{R} = 1.8 ^{\circ}\text{K}$$

### UNIDADES DE TORQUE

$$1 \text{ lb ft} = 1.3825 \times 10^{-1} \text{ Kg m}$$

$$1 \text{ lb ft} = 1.3558 \text{ N m}$$

$$1 \text{ N m} = 1.0197 \times 10^{-1} \text{ Kg m}$$

$$1 \text{ N m} = 7.3576 \times 10^{-1} \text{ lb ft}$$

### UNIDADES DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

$$1 \text{ l/km} = 4.2513 \times 10^{-1} \text{ Gal/Mi}$$

$$1 \text{ Gal/Mi} = 2.35221 \text{ l/km}$$

### UNIDADES DE POTENCIA

$$1 \text{ Hp} = 0.7457 \text{ KW}$$

$$1 \text{ CV} = 0.1757 \text{ Kcal/s}$$

$$1 \text{ Hp} = 1.014 \text{ CV}$$

$$1 \text{ CV} = 0.6971 \text{ BTU/s}$$

$$1 \text{ Hp} = 76.04 \text{ Kg}_f \text{ m/s}$$

$$1 \text{ CV} = 0.7355 \text{ KW}$$

$$1 \text{ Hp} = 550 \text{ ft lb/s}$$

$$1 \text{ CV} = 0.9863 \text{ HP}$$

$$1 \text{ Hp} = 0.1781 \text{ Kcal/s}$$

$$1 \text{ CV} = 75 \text{ Kg}_f \text{ m/s}$$

$$1 \text{ Hp} = 0.7068 \text{ BTU/s}$$

$$1 \text{ CV} = 542.5 \text{ ft lb/s}$$

### UNIDADES DE FUERZA

$$1 \text{ N} = 2.2481 \times 10^{-1} \text{ lb}$$

$$1 \text{ lb} = 4.4482 \text{ N}$$

$$1 \text{ lb} = 4.53589 \text{ Kg}$$

$$1 \text{ kg} = 2.2046 \text{ lb}$$

$$1 \text{ kg} = 9.81 \text{ N}$$

## BIBLIOGRAFIA

### **1.- Termodinámica**

Irving Granet

Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. de C.V.

3ª edición

México 1993

### **2.- Dinámica de máquinas**

Juan León

Limusa

1ª edición

México 1983

### **3.- Energéticos y desarrollo tecnológico**

Manuel Polo Encinas

Limusa

1ª edición

México 1979

### **4.- Introducción al proyecto**

Morris Asimow

Herrero Hnos. S:A:

4ª edición

México 1975

### **5.- Motores de combustión interna (análisis y aplicaciones)**

Edward F. Obert

Cía. editorial Continental, S.A. de C.V.

2ª edición

México 1987



**6.- Energía y máquinas térmicas**

Fco. Roselló Coria

Limusa

**7.- Marks Manual del Ingeniero Mecánico**

Baumeister / Avallone / Baumeister III

McGraw Hill

8ª edición

México 1984

**8.- Química y tecnología del petróleo y del gas.**

V. Érij, M. Rásina, M. Rudin

Editorial Mir Moscú

Moscú 1988

**9.- Inyección electrónica de combustible.**

Departamento de Servicio de Entrenamiento Técnico.

Ford de México

**10.- Motores de combustión interna alternativos**

Dr. M. Muñoz, Dr. F. Payri

Sección de Publicaciones de la E.T.S. de Ingenieros Industriales undación  
General U.P.M.

Madrid 1989