



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EVALUACION DE DISPOSITIVOS AHORRADORES EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA A GASOLINA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO

PRESENTA:

JUAN ANTONIO MARQUEZ SANCHEZ

DIRECTOR DE TESIS:

ING. ARMANDO MALDONADO SUSANO



MEXICO, D. F.

2005

m. 341889



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Agradecimientos:

A mi mamá (Margarita Leonor Sánchez Hernández) y a mi papá (Rosendo Márquez Enciso):

Muchas gracias por el ejemplo de llevar una vida honrada, de trabajo, dedicación y esfuerzo; sin él cual no hubiera sido posible alcanzar esta meta tan anhelada. Se que no es fácil dar una educación completa a los hijos y que siempre se requiere de un esfuerzo extra para poder soportar todas las presiones de los desvelos, las preocupaciones para que nunca falte nada en casa y la preocupación más grande que puede haber: que los hijos puedan lograr algo en la vida; es por eso que mi admiración hacia ustedes es muy grande porque han podido superar todos esos obstáculos y me han dado una carrera profesional.

A los dos les agradezco el haberme obligado y enseñado a trabajar desde niño, lo cual me ha dado una visión de cómo son las cosas en el mundo exterior y me ha enseñado a trabajar bajo presión lo cual es muy importante cuando se es adulto.

Gracias por sus consejos, regaños y tiempo dedicado a nosotros, sus hijos.

A mis herman@s: Lorena, Rosendo, Antonio y Mercedes:

Gracias porque a pesar de que nuestra ideología es diferente hemos vivido momentos muy especiales y creo que cada uno de nosotros ha aprendido del otro, nos hemos ayudado en los momentos difíciles y espero que así siga siendo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería mi Alma Máter:

Gracias a esta gran Universidad y Facultad por haberme abierto las puertas y permitir que realizara mis estudios de licenciatura; porque a pesar de todos los problemas que existen dentro y de todo lo malo que se pueda hablar de esta institución; la UNAM es y seguirá siendo la Máxima Casa de Estudios, donde convergen distintas ideologías y culturas de lo cual se aprende mucho; bien lo decía mi profesor de estática el Ing. Pedro Struck Cano: Universidad sólo hay una y es la UNAM.

A mi director de tesis Ing. Armando Maldonado Susano:

Gracias por la paciencia, dedicación y tiempo para la realización de este trabajo, se que nos es fácil dedicar tiempo a la revisión de este trabajo cuando se tienen muchas ocupaciones, es por eso que le agradezco infinitamente la buena voluntad que siempre tuvo.

A la CONAE y al Laboratorio de Máquinas Térmicas:

En primer lugar quiero dar las gracias a la CONAE y en especial al Ing. Javier García Osorio por haberme permitido realizar mi servicio social en esa comisión, lo cual me sirvió para conocer el trabajo que se realiza a nivel gubernamental y gracias por el apoyo recibido para la realización de esta tesis.

Gracias al personal del Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería por el apoyo y facilidades prestadas para la realización de este trabajo.

A todos mis amig@s y compañer@s de la Universidad:

Por haber hecho de la Universidad un lugar agradable en el cual se pudiera estudiar, convivir y divertirse.

En especial a mis amigas: Vero, Nancy, Jeanne, Claudia, Nadia, Ale y Mayra, gracias por su apoyo moral y por las ocasiones en que entraba a la biblioteca sólo a quitarles el tiempo.

A mis amigos: Hugo, Lalo y Jorge por su apoyo y por los buenos momentos que compartimos.

A todos ellos les deseo lo mejor en la vida.

Y un agradecimiento en general a todas las personas que de alguna u otra forma han contribuido a mi formación.

¡Caer está permitido.

Levantarse es obligatorio!

Proverbio ruso

Introducción. - - - - -	V
--------------------------------	---

Capítulo 1. Conceptos básicos.

1.1. Relación aire combustible - - - - -	1
1.2. Coeficiente de aire - - - - -	5
1.3. El ciclo Otto teórico - - - - -	6
1.4. Ciclo Otto real - - - - -	10
1.5. Diferencias entre el ciclo Otto real y el teórico - - - - -	11
1.6. La gasolina y sus propiedades - - - - -	13
1.6.1. Volatilidad - - - - -	14
1.6.1.1. Presión de vapor - - - - -	15
1.6.1.2. Temperatura de destilación - - - - -	16
1.6.2. El índice de octano - - - - -	17
1.7. Emisiones contaminantes y sus principales efectos - - - - -	18
1.7.1. Monóxido de carbono - - - - -	19
1.7.2. Hidrocarburos sin quemar - - - - -	20
1.7.3. Óxidos de nitrógeno (NOx) - - - - -	22
1.7.4. Partículas suspendidas - - - - -	23
1.7.5. Ozono - - - - -	23

Capítulo 2. Sistemas de combustible utilizados en los motores de gasolina.

2.1. Componentes del sistema de alimentación carburado y descripción -	25
2.1.1. Depósito de combustible - - - - -	26
2.1.2. Filtro de combustible - - - - -	26

2.1.3.	Líneas de combustible - - - - -	26
2.1.4.	Bomba de combustible mecánica - - - - -	27
2.1.5.	Múltiple de admisión - - - - -	28
2.1.6.	Carburador - - - - -	29
2.1.6.1.	Circuito de ralentí y de baja velocidad - - - - -	31
2.1.6.2.	Circuito de alta velocidad y de carga parcial - - - - -	32
2.1.6.3.	Circuito de plena potencia - - - - -	33
2.1.7.	Ahogador - - - - -	35
2.1.8.	Válvula de aceleración o estrangulador - - - - -	36
2.1.9.	Filtro de aire - - - - -	36
2.2.	Sistemas de inyección de combustible - - - - -	37
2.2.1.	Descripción de los componentes básicos de los sistemas de inyección - - - - -	40

Capítulo 3. Dispositivos utilizados en el motor para reducir el consumo de combustible.

3.1.	Clasificación y descripción de los dispositivos para el ahorro de combustible - - - - -	46
3.1.1.	Empobrecedores de mezcla - - - - -	47
3.1.2.	Empobrecedores de mezcla en forma de vapor - - - - -	49
3.1.3.	Inyección de líquidos - - - - -	50
3.1.4.	Dispositivos de encendido - - - - -	51
3.1.5.	Dispositivos sobre la línea de combustible (calentadores o enfriadores) - - - - -	52
3.1.6.	Dispositivos sobre la línea de combustible (magnetizadores) -	54
3.1.7.	Dispositivos sobre la línea de combustible (metálicos) - - - - -	55
3.1.8.	Mejoradores de mezcla (debajo del carburador) - - - - -	55
3.1.9.	Mejoradores de mezcla (otros) - - - - -	56

3.1.10.	Dispositivos que modifican el motor -----	57
---------	---	----

Capítulo 4. Pruebas a dispositivos en un motor a gasolina.

4.1.	Características de las pruebas realizadas a dispositivos en los Estados Unidos -----	58
4.1.1.	Requisitos mínimos para implementar la prueba y conocer el consumo de combustible por parte de la <i>EPA</i> -----	59
4.1.2.	Descripción de las pruebas aplicadas por la <i>EPA</i> -----	60
4.2.	Descripción general de las pruebas aplicadas par obtener la caracterización de los dispositivos en esta tesis -----	61
4.2.1.	Características de los equipos utilizados en la evaluación ---	63
4.3.	Evaluación de los dispositivos -----	64
4.3.1.	Evaluación del dispositivo denominado <i>MAGNETIZER</i> -----	64
4.3.2.	Evaluación del dispositivo denominado <i>FUELEX</i> -----	66
4.3.3.	Evaluación del dispositivo denominado <i>EMPOBRECEDOR DE MEZCLA</i> -----	67
4.3.4.	Evaluación del dispositivo denominado <i>THE FORCE</i> -----	69
4.3.5.	Evaluación del dispositivo denominado <i>SIN-SMOG</i> -----	71

Capítulo 5. Análisis de resultados.

5.1.	Parámetros para evaluar los dispositivos -----	74
5.1.1.	Tablas con parámetros de la evaluación del dispositivo denominado <i>MAGNETIZER</i> -----	78
5.1.2.	Tablas con parámetros de la evaluación del dispositivo denominado <i>FUELEX</i> -----	79
5.1.3.	Tablas con parámetros de la evaluación del dispositivo denominado <i>EMPOBRECEDOR DE MEZCLA</i> -----	80

5.1.4. Tablas con parámetros de la evaluación del dispositivo denominado THE FORCE----- 81

5.1.5. Tablas con parámetros de la evaluación del dispositivo denominado SIN-SMOG----- 82

5.1.6. Gráficas de la evaluación del dispositivo denominado MAGNETIZER----- 83

5.1.7. Gráficas de la evaluación del dispositivo denominado FUELEX 84

5.1.8. Gráficas de la evaluación del dispositivo denominado EMPOBRECEDOR DE MEZCLA----- 85

5.1.9. Gráficas de la evaluación del dispositivo denominado THE FORCE
----- 86

5.1.10. Gráficas de la evaluación del dispositivo denominado SIN-SMOG
----- 87

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones.

6.1. Características que debe cumplir un dispositivo ----- 88

6.2. Conclusiones para el dispositivo denominado MAGNETIZER -- -- - 91

6.3. Conclusiones para el dispositivo denominado FUELEX ----- 91

6.4. Conclusiones para el dispositivo denominado EMPOBRECEDOR DE MEZCLA ----- 91

6.5. Conclusiones para el dispositivo denominado THE FORCE ----- 92

6.6. Conclusiones para el dispositivo denominado SIN-SMOG ----- 93

6.7. Conclusiones generales ----- 93

6.8. Recomendaciones ----- 94

Referencias bibliográficas. ----- 96

El automóvil es el vehículo más utilizado como medio de transporte a nivel mundial, tan sólo en México para el año 2000, la cifra ya rebasaba los 7 millones de unidades, la mayoría de estos vehículos utilizan la gasolina como combustible, con un consumo aproximado del 71% de todos los petrolíferos utilizados en el autotransporte.

Otro dato importante a considerar es que solamente el 13% de la energía que libera la gasolina es utilizada para mover el automóvil, un 62% se pierde por fricción y calor en el motor, la marcha en ralentí consume un 17%, mientras que los accesorios necesarios para la operación del vehículo (bomba de agua, aire acondicionado, dirección hidráulica) consumen un 2% y por último el 6% restante se pierde en el tren motriz por fricción.

Del 13% de energía que se puede aprovechar se utiliza un 3% para vencer el arrastre aerodinámico y un 4% para vencer la resistencia al rodamiento.

De aquí la importancia de aprovechar al máximo la energía que libera la gasolina y de obtener día con día procesos de combustión más eficientes.

El objetivo del presente trabajo es el determinar el comportamiento de algunos dispositivos comercialmente disponibles en motores a gasolina, en cuanto a su efecto en el consumo de combustible.

Debido a las malas condiciones económicas, políticas y sociales que privan en el mundo entero, aunado al constante crecimiento de la flota vehicular es que algunas empresas y grupos de personas se han dado a la tarea de investigar, desarrollar, producir y comercializar éste tipo de dispositivos, que en teoría debieran reducir el consumo de combustible en los motores de combustión interna; logrando con esto varios beneficios para la sociedad como lo es: la reducción del costo por viaje, la reducción del costo de mantenimiento preventivo y correctivo, la reducción de emisiones contaminantes, el mejor aprovechamiento de los recursos naturales y tener una atmósfera más limpia.

Esta tesis se desarrollará en seis capítulos, siendo el primero una introducción a los conceptos básicos del proceso de combustión y sus ciclos, las características de las

gasolinas y las principales emisiones contaminantes y sus efectos. En el segundo capítulo se describen los sistemas de combustible utilizados en los motores de gasolina; aunque ya no se comercializan sistemas carburados en nuestro país aún existe un número considerable de este tipo de vehículos por lo tanto se incluirá la descripción de éste. En el capítulo número tres se hará una clasificación de los dispositivos utilizados así como una breve explicación de cada tipo. El capítulo número cuatro esta enfocado a las pruebas realizadas a los cinco dispositivos proporcionados por CONAE, así como a la descripción de las pruebas realizadas en los Estados Unidos. Los últimos dos capítulos se refieren al análisis y a las conclusiones a las que se llegaron después de haber evaluado los dispositivos.

Actualmente en nuestro país no contamos con un protocolo para la evaluación de esta clase de dispositivos, únicamente tenemos la referencia de las pruebas realizadas por la EPA de los Estados Unidos, que si bien se pueden adaptar muchas características de esta prueba a las condiciones de nuestro país, no quiere decir que el 100% de las condiciones se cumpla, por lo cual se deberán modificar algunas variables para poder adaptarlas a las condiciones de clima, de carreteras, de gasolina, topográficas y de vehículos en nuestro país y de esta manera podamos tener una prueba que nos permita evaluar plenamente los dispositivos comercializados en nuestro país.

Capítulo 1. Conceptos básicos.

La ciencia más útil es aquella cuyo fruto es el más comunicable.
Leonardo Da Vinci

Para poder comprender como es que trabaja un motor a gasolina es necesario hacer una revisión de los conceptos básicos sobre los cuales se basa su operación.

Esta revisión nos ayudará de igual forma a entender como podemos obtener una mayor eficiencia en estos motores y en consecuencia disminuir las emisiones contaminantes que tanto afectan al ecosistema.

Una mayor eficiencia no solo significa obtener más energía o potencia en determinado proceso; el obtener un mayor rendimiento trae como consecuencia varios beneficios:

- 1) será menor el combustible consumido,
- 2) se abatirán los costos de operación,
- 3) se aprovecharán mejor los recursos naturales y
- 4) serán menores las emisiones contaminantes y por consiguiente las condiciones ambientales mejorarán.

1.1 RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE.

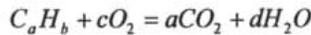
La combustión de gasolina es básicamente una reacción química que como cualquier otra reacción química tiene una relación estequiométrica específica, esto es la relación de aire-combustible, en la cual la reacción de combustión es la más eficiente.

Desafortunadamente no existe una relación aire-combustible que sea óptima para todas las condiciones de operación. La relación aire-combustible para máxima potencia no es la misma que para máxima economía. Los requisitos de esta relación para el arranque, calentamiento y la aceleración son diferentes que para condiciones en operación estable.

Es por esto que el carburador o el sistema de inyección deben de ser diseñados y ajustados para suministrar una mezcla cercana a la estequiométrica bajo todas las condiciones de operación, de otra forma se podría presentar un alto consumo de combustible, una pérdida de potencia u otro tipo de dificultades.

Por estas mismas circunstancias es necesario definir dos condiciones de operación las cuales son de suma importancia debido al consumo de combustible que se presenta, la primera de ellas es la de máxima potencia que se presenta cuando el vehículo se encuentra bajo condiciones de plena carga y la otra es la de máxima economía en la cual no se le demanda el desarrollo de plena potencia al motor; pero antes de definir estas dos condiciones explicaremos como es que se presenta una combustión perfecta o completa.

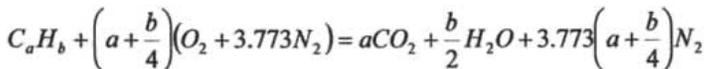
Si hubiera oxígeno suficiente, un hidrocarburo podría ser completamente oxidado, el carbono en el combustible se convertiría en dióxido de carbono (CO_2) y el hidrógeno en agua (H_2O).



Sin embargo el aire contiene nitrógeno, por esta razón debe haber siempre un exceso de aire a fin de garantizar la presencia de suficiente oxígeno para la combustión, cuando los productos de la combustión se encuentran a bajas temperaturas el nitrógeno no es tan afectado por la reacción.

Consideremos la combustión completa de un hidrocarburo en general de composición molecular promedio C_aH_b con aire.

La ecuación general de la combustión completa es:



Y como la composición del combustible puede ser escrita como CH_y , donde $y = \frac{b}{a}$ por lo tanto la relación estequiométrica aire-combustible solo depende de la composición del combustible.

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \frac{\left(1 + \frac{y}{4}\right)(32 + 3.773 \cdot 28.16)}{12.011 + 1.008y} = \frac{34.56(4 + y)}{12.011 + 1.008y}$$

La razón estequiométrica varía poco para los diferentes hidrocarburos que son utilizados como componentes de la gasolina.

El rango de esta razón estequiométrica para un motor encendido por chispa se encuentra entre:

$$12 \leq A/F \leq 18$$

En la práctica en los motores la razón de mezcla se aparta durante el funcionamiento del valor estequiométrico: cuando existe falta de aire, se dice que la mezcla es rica y cuando hay exceso de aire, la mezcla es pobre.

En el caso de máxima economía tenemos que considerar que el motor aspira una cantidad constante de aire y solamente es limitada por el desplazamiento del cilindro, si se aumenta el flujo de combustible permitiendo que una mayor cantidad de él sea introducida en la corriente de aire por el carburador o por la bomba de inyección, la potencia en la flecha aumentará por el aumento de energía química liberada; el aumento de la potencia seguirá creciendo hasta que se alcance un punto en el que todo el aire en el cilindro sea efectivamente utilizado para la combustión. En este caso la potencia máxima está limitada por el flujo del aire, el cual es un parámetro de diseño.

Pero en ocasiones la mezcla entre el aire y el combustible no es perfecta, esto es cuando el combustible no se vaporiza por completo o la cámara de combustión se llena con productos derivados de la combustión que diluyen la concentración de la alimentación fresca; en este caso se hace evidente que para poder obtener la máxima potencia se requiere de un exceso de combustible.

La máxima economía del proceso, se obtendrá idealmente cuando la liberación de energía química, por unidad de combustible, sea un máximo. Esta condición se logra cuando el combustible se quema completamente, y para ello, debe suministrarse un exceso de aire, como parte de la energía liberada se emplea para vencer la fricción, que es relativamente constante, se tendrá que la mezcla para máxima economía no diferirá grandemente de la mezcla químicamente correcta.

En la figura 1.1 se ilustran las relaciones entre potencia, economía y relación aire-combustible para un motor particular encendido por chispa. Se tiene la máxima potencia cuando todo el combustible se quema en la forma de una relación aire-combustible rica; en tanto que se obtiene la máxima economía, cuando se emplea una mezcla pobre. La

diferencia en las relaciones entre estos dos puntos de rendimiento es controlada por el diseño del motor.

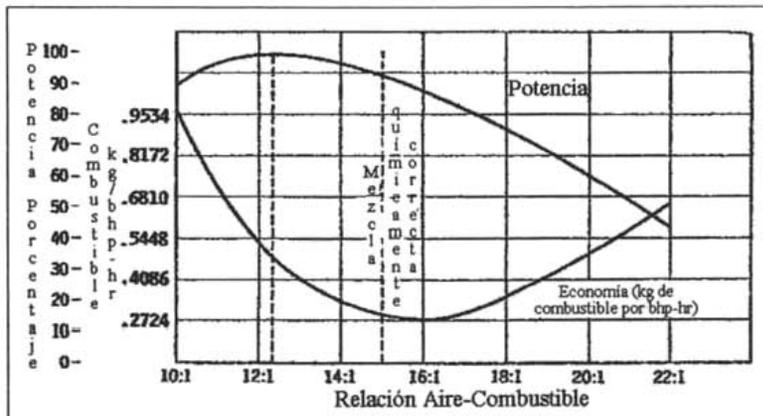


Fig. 1.1 Relación Aire-Combustible.

En el caso de un carburador el cual tiene que alimentar a un motor multicilindrico, el combustible se traslada hacia los cilindros de diversas formas:

- 1) como película líquida sobre las paredes del múltiple,
- 2) como partículas líquidas suspendidas en la corriente de aire y
- 3) como un vapor mezclado con la corriente de aire.

Debido a la falta de homogeneidad y la consiguiente distribución inadecuada, la relación aire-combustible para máxima potencia deberá ser algo más rica para que se pueda quemar todo el combustible, la relación para máxima economía también tiende a ser más rica, puesto que parte del combustible se desperdicia.

Por lo tanto se puede observar que las demandas de las relaciones son influidas por el objetivo en el diseño del motor: ya sea que fuera diseñado para potencia máxima o para economía máxima.

Ya que los motores de vehículos funcionan la mayor parte del tiempo en el margen de carga parcial, los motores están concebidos en su ejecución para un consumo reducido de combustible en este margen de carga.

1.2 COEFICIENTE DE AIRE.

Para la identificación de la divergencia de la mezcla aire-combustible existente realmente respecto a la mezcla teóricamente necesaria (Aprox. 14.7 : 1), se ha elegido el coeficiente de aire o relación de aire λ (Lambda):

$$\lambda = \frac{\text{Masa de aire aportada}}{\text{Aire necesario para la combustión estequiométrica}}$$

A continuación se definirán los valores que toma el coeficiente λ .

$\lambda = 1$: La masa de aire aportada corresponde a la teóricamente necesaria.

$\lambda < 1$: Existe falta de aire o la mezcla es demasiado rica. Se obtiene una potencia máxima con una falta de aire del 5 al 15 % esto es $0.85 < \lambda < 0.95$.

$\lambda > 1$: Existe exceso de aire la mezcla es demasiado pobre. Se obtiene un consumo de combustible mínimo con exceso de aire del 10 al 20 %, esto es $1.1 < \lambda < 1.2$.

$\lambda > 1.3$: La mezcla ya no es capaz de inflamarse se producen fallos de combustión y aumenta intensamente la irregularidad de funcionamiento.

Ya que se han definido los valores que toma el coeficiente λ se podrá observar mediante las figuras 1.2 y 1.3 la influencia de este coeficiente sobre la potencia y el consumo específico de combustible así como el desarrollo de contaminantes.

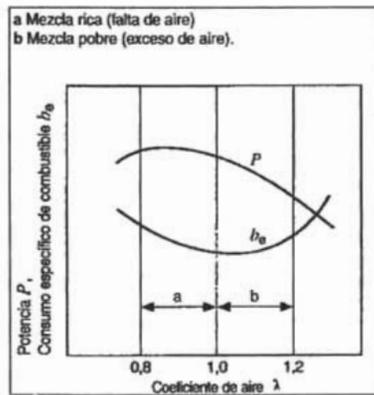


Fig. 1.2 Influencia del coeficiente λ sobre la potencia y el consumo específico de combustible.

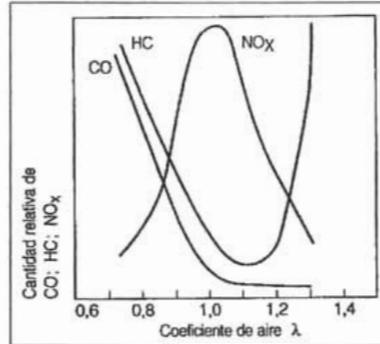


Fig. 1.3 Influencia del coeficiente λ sobre la composición de los gases contaminantes.

Es posible deducir de aquí que no existe una relación de aire ideal en la que todos los factores adopten el valor más favorable. En la práctica han resultado convenientes coeficientes de aire entre $0.9 < \lambda < 1.1$.

Para el tratamiento ulterior catalítico de los gases de escape mediante un catalizador de tres vías se requiere imprescindiblemente el cumplimiento exacto de $\lambda = 1$ con el motor caliente a la temperatura de servicio.

Para conseguir este factor debe determinarse exactamente el caudal de aire aspirado y añadirse una cantidad de combustible exactamente dosificada, a su vez se requiere para el proceso de combustión también una mezcla homogénea, para ello se necesita tener una buena pulverización del combustible.

Si no se cumple este requisito, se depositan grandes gotas de combustible en el tubo de admisión, que conducen a emisiones de HC mayores.

1.3 EL CICLO OTTO TEÓRICO.

En 1862 Beau de Rochas propuso una secuencia de operaciones para el motor de combustión interna que hoy en día son típicas de la mayoría de los motores encendidos por chispa, la secuencia es la siguiente:

- 1) Carrera de admisión: al descender el pistón aumenta el volumen del cilindro y se aspira mezcla de aire-combustible fresca por la válvula de admisión abierta.
- 2) Carrera de compresión: al subir el pistón se reduce el volumen en el cilindro y se comprime la mezcla aire-combustible.
- 3) Explosión y combustión: casi al final de la carrera de compresión la bujía de encendido inflama la mezcla comprimida e inicia la combustión como consecuencia la temperatura aumenta y hay una liberación de energía. La presión en el cilindro aumenta y empuja hacia abajo al pistón. El pistón transmite el trabajo al cigüeñal a través de la biela.
- 4) Carrera de escape: el pistón asciende y expulsa los gases de la combustión a través de la válvula de escape abierta.

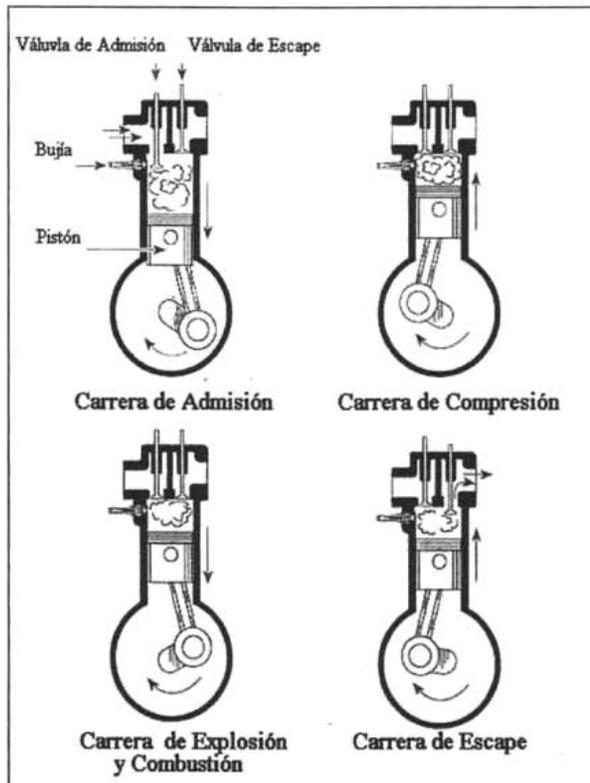


Fig. 1.4 Ciclo de cuatro tiempos para un motor de combustión interna.

En 1876, Nicolás Augusto Otto, usó los principios de Beau de Rochas y construyó un motor que llegó a ser muy exitoso, debido a esto los cuatro procesos son conocidos como el ciclo Otto.

El ciclo Otto teórico es el ciclo ideal del motor de encendido por chispa y puede ser representado por dos gráficos: uno presión contra volumen ($p-v$) y otro temperatura contra entropía ($T-s$) (Fig. 1.5).

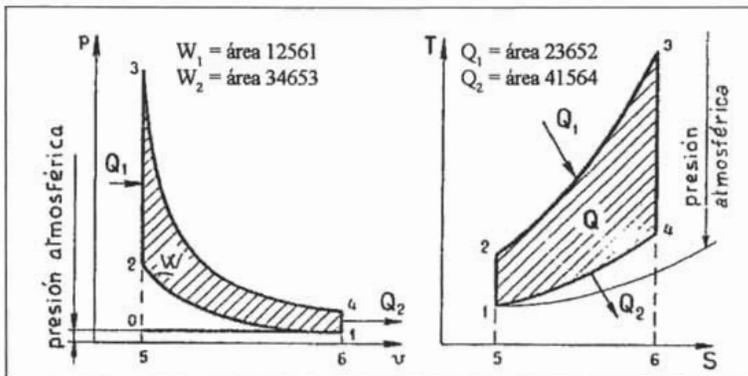


Fig. 1.5 Diagramas $p-v$ y $T-s$ del ciclo Otto teórico.

Los procesos termodinámicos que tienen lugar durante el ciclo son:

1-2 Adiabático o isentrópico (sin transferencia de calor hacia el exterior): compresión del fluido de trabajo, correspondiente al trabajo W_1 realizado por el pistón sobre la mezcla.

2-3 A volumen constante: introducción instantánea del calor aportado Q_1 .

3-4 Adiabático: Expansión correspondiente al trabajo W_2 realizado por el fluido de trabajo sobre el pistón.

4-1 A volumen constante: Extracción instantánea de calor Q_2 .

En el caso de un motor de cuatro tiempos la extracción del calor se produce durante la carrera de escape (1-0) y el fluido es introducido en el motor en la carrera de admisión (0-1).

Los efectos de los dos procesos se anulan entre sí sin ganancia ni pérdida de calor, por lo tanto la carrera de admisión y la de escape normalmente no se consideran en los

diagramas ideales en coordenadas p-v y el ciclo Otto se representa como un ciclo cerrado en el cual el fluido de trabajo regresa a su estado inicial al final de la fase de expulsión del calor (4-1).

Puesto que el calor Q_1 es aportado a volumen constante, el trabajo W_{2-1} realizado durante este proceso es nulo y la ecuación de conservación de la energía del fluido sin flujo resulta:

$$Q_1 = U_3 - U_2 \quad (1.1)$$

Como el ciclo es ideal, el fluido de trabajo es un gas perfecto y la variación de su energía interna durante la transformación a volumen constante es:

$$U_3 - U_2 = C_v(T_3 - T_2) \quad (1.2)$$

Y por lo tanto:

$$Q_1 = C_v(T_3 - T_2) \quad (1.3)$$

Análogamente, como el calor Q_2 es extraído también a volumen constante, es decir, en condiciones para las cuales $W_{4-1}=0$, podemos escribir:

$$Q_2 = U_4 - U_1 \quad (1.4)$$

Y como el fluido es un gas perfecto:

$$Q_2 = C_v(T_4 - T_1) \quad (1.5)$$

Por lo tanto el rendimiento térmico ideal para el ciclo Otto teórico es:

$$\eta = \frac{\text{calor aportado} - \text{calor extraído}}{\text{calor aportado}} \quad (1.6)$$

$$\eta = \frac{C_v(T_3 - T_2) - C_v(T_4 - T_1)}{C_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)} \quad (1.7)$$

Para los procesos adiabáticos de compresión 1-2 y de expansión 3-4, se tiene respectivamente:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \quad (1.8)$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{v_4}{v_3} \right)^{k-1} \quad (1.9)$$

Y como $v_1 = v_4$ y $v_2 = v_3$, se puede escribir:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} \quad (1.10)$$

Por lo tanto:

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \quad (1.11)$$

Si la expresión (1.11) la utilizamos en (1.7) y tomamos en cuenta la ecuación (1.8) se obtiene:

$$\eta = 1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{k-1} \quad (1.12)$$

Si indicamos con r la razón entre el volumen v_1 al comienzo y el volumen v_2 al final de la carrera de compresión, a la cual se le denomina como relación volumétrica de compresión y la sustituimos en (1.12) obtenemos una expresión final del rendimiento térmico ideal del ciclo Otto:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \quad (1.13)$$

De esta última ecuación podemos deducir que el rendimiento térmico del ciclo Otto es influido, tanto por la relación de compresión, como por las propiedades del fluido motriz que son reflejadas por los valores de k y la razón entre calores específicos del fluido de trabajo.

Aumentando r aumenta la eficiencia η ; aumentando los valores de los calores específicos, disminuye k y por lo tanto también disminuye el rendimiento.

1.4 CICLO OTTO REAL.

Si tenemos un motor a plena carga, durante la carrera de admisión la presión en el cilindro es muy cercana a la atmosférica. En la siguiente carrera, la mezcla de aire-combustible se comprime hasta la más alta temperatura que se pueda lograr sin que se autoencienda la mezcla. Entonces una chispa inflama la mezcla, la cual rápidamente se quema mientras el pistón permanece en el punto muerto superior (PMS). Durante este

pequeño período, la combustión de la mezcla se realiza a volumen constante. El incremento en la temperatura del combustible quemado hace que se incremente la presión y por consiguiente el pistón se desplaza hacia el punto muerto inferior (PMI). Para poder obtener la mayor cantidad posible de trabajo la expansión debería de alcanzar la presión atmosférica, pero una expansión completa requiere de una relación de expansión más grande que la relación de compresión, de igual forma el tamaño del motor debería ser más grande. Por estas razones, la válvula de escape se tiene que abrir antes de que finalice la carrera de expansión para permitir que la presión caiga a la atmosférica antes de que la carrera de escape comience.

La carrera de escape expulsa los gases remanentes del cilindro quedándose una pequeña cantidad de estos.

1.5 DIFERENCIAS ENTRE EL CICLO OTTO REAL Y EL TEÓRICO.

Entre los dos ciclos existen diferencias sustanciales tanto en la forma del diagrama como en los valores de las temperaturas y de las presiones.

Las diferencias de forma del ciclo real con respecto al teórico consisten en un diferente recorrido seguido por las curvas de expansión y de compresión, en la sustitución de los tramos rectilíneos y en la sustitución de los ángulos por curvas de enlace. Las causas de estas diferencias se deben a lo siguiente:

- a) Pérdidas de calor: En el ciclo teórico son nulas; en el ciclo real son en cambio apreciables. Puesto que el cilindro y la culata están refrigerados, una parte del calor es transmitida por el fluido a las paredes. Las líneas de compresión y expansión no son por lo tanto adiabáticas, sino politrópicas con exponente n diferente de k . Como el fluido sufre pérdidas de calor, evidentemente para la expansión se tendrá $n < k$. Por lo tanto existe una pérdida de trabajo útil que corresponde al área A de la figura 1.6
- b) Combustión no instantánea. En el ciclo teórico se supone que la combustión se realiza a volumen constante; en el ciclo real, en cambio, se requiere de un cierto

tiempo. Si el encendido tuviera lugar coincidiendo con el P.M.S., la combustión tendría lugar mientras el pistón se va alejando del P.M.S. y el valor de la presión sería inferior al previsto con la consiguiente pérdida de trabajo útil. Por esta razón es preferible anticipar el encendido de tal forma que la combustión se realice antes de que el pistón llegue al P.M.S. lo cual trae como consecuencia un redondeamiento de la línea teórica de aportación de calor con lo cual existe una pérdida de trabajo útil que se representa por las áreas B de la figura 1.6.

- c) Tiempo de apertura de la válvula de escape. Para el ciclo teórico se supone que la extracción de calor se lleva a cabo instantáneamente coincidiendo con la posición del pistón en el P.M.I. Sin embargo en el ciclo real la extracción de calor se produce durante un tiempo relativamente largo: la válvula de escape debe abrirse anticipadamente para dar tiempo a que los gases quemados puedan salir antes de que el pistón llegue al P.M.I., de este modo la presión descenderá aproximadamente hasta la presión atmosférica.

Las causas de las diferencias en los valores de las presiones y temperaturas máximas son:

- a) Aumento de los calores específicos del fluido con la temperatura. Tanto el calor específico a presión constante C_p como el calor específico a volumen constante C_v de un gas real aumentan con la temperatura pero su diferencia permanece constante ($C_p - C_v = R$), por lo tanto al aumentar la temperatura disminuye el valor de la relación $k = C_p / C_v$. Para el caso real los productos de la combustión poseen calores específicos mayores que los del aire y por lo tanto los valores de la presión y de la temperatura máxima son, en realidad, inferiores a los del ciclo teórico; esto trae como consecuencia que el área del ciclo y el rendimiento térmico sean menores.
- b) Disociación en la combustión. Como la disociación de los productos de la combustión, constituidos esencialmente por CO_2 y H_2O , en otros compuestos tales como CO , H_2 y O_2 , es una reacción que se realiza como absorción de calor, la temperatura máxima obtenible se reduce y se pierde una cierta cantidad de trabajo.

Finalmente, el ciclo real presenta otra diferencia importante en comparación con el ciclo teórico: durante la admisión la presión es inferior a la atmosférica y durante el escape es superior. Por lo tanto se crea en el diagrama real un área negativa (área D en la figura 1.6) que corresponde a trabajo perdido y se le llama trabajo de bombeo.

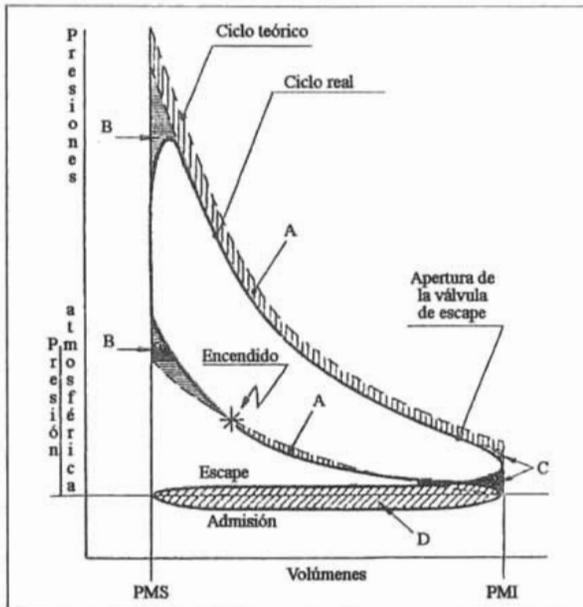


Fig. 1.6 Comparación del ciclo Otto teórico y real.

1.6 LA GASOLINA Y SUS PROPIEDADES.

A pesar de que este producto es tan común para la mayoría de la población, muchos olvidamos que tan sofisticada y cuantas especificaciones debe de cumplir la gasolina, para que esto suceda se deben de cumplir algunas expectativas del conductor:

- Que un motor arranque fácil cuando este frío, que se caliente rápido y que tenga un comportamiento suave bajo todas las condiciones de operación.
- Que el motor sea capaz de desarrollar potencia sin que exista golpeteo.
- Que se obtenga un buen rendimiento y se generen bajas emisiones.

- La gasolina no debe adherirse a los depósitos, no debe contaminar o corroer el sistema de combustible.

La gasolina está compuesta por una mezcla de hidrocarburos parafínicos, isoparafínicos, olefínicos, nafténicos y aromáticos, que principalmente contienen moléculas con cadenas de cinco a nueve carbonos, obtenidos de diversos procesos de refinación como destilación, crackeo térmico y catalítico, reformación catalítica, alquilación e isomerización.

En México se comercializan dos tipos de gasolinas automotrices: Pemex Magna y Pemex Premium.

A continuación se mencionan algunas especificaciones que debe de cumplir una gasolina de buena calidad.

1.6.1 Volatilidad.

La clave principal para que se obtenga un manejo fácil y confortable es la volatilidad; la cual es un índice de evaporación de la gasolina.

La volatilidad del combustible es muy importante ya que los líquidos y sólidos no se queman solo los gases son susceptibles a incendiarse. Por lo tanto la gasolina debe ser evaporada para que pueda hacer combustión.

Al ser la gasolina una mezcla de distintos hidrocarburos, cada uno de los cuales tiene una volatilidad o punto de ebullición diferente, las propiedades de estos deben ser adecuadas para las condiciones de funcionamiento del motor, las diferentes altitudes y temperaturas donde se encuentre funcionando el vehículo, por lo tanto debe de cumplir las siguientes condiciones:

- a) Arranque fácil: Para lograr un arranque fácil cuando el motor se encuentra frío la gasolina debe de ser muy volátil, de modo que se vaporice rápido.
- b) Seguridad contra las burbujas de vapor: Si la gasolina es demasiado volátil el calor desprendido por el motor hará que ésta se vaporice en la bomba de alimentación, produciéndose burbujas de vapor que provocarán un mal funcionamiento.

- c) Calentamiento rápido: La rapidez con que el motor alcance su temperatura de régimen depende en gran parte del porcentaje de componentes de la gasolina capaces de vaporizarse inmediatamente después de que el motor arranca.
- d) Aceleración suave: Debido a las diferentes condiciones de operación del vehículo se pueden presentar ocasiones en que la mezcla cambie bruscamente de rica a pobre y se podrán presentar alteraciones en el funcionamiento.
- e) Bajo consumo: El combustible debe poseer un elevado poder calorífico así como una baja volatilidad, ya que una volatilidad media o alta aumenta el consumo porque se ocupan mezclas ricas.
- f) Limitación del efecto de dilución en el cárter: La dilución del aceite de lubricación se produce cuando la gasolina entra en los cilindros sin haberse vaporizado previamente, con lo cual no participa en el proceso de combustión y fluye entre las paredes del cilindro hacia el cárter, donde diluye el aceite quitándole sus propiedades.

Existen varias propiedades para poder medir la volatilidad de la gasolina entre las más importantes se encuentran: la presión de vapor y la temperatura de destilación.

1.6.1.1 Presión de vapor.

Para los materiales que pueden existir como vapor, parte de éste puede estar presente aún cuando se encuentra en estado sólido o líquido. La presión de vapor es la presión ejercida por el vapor cuando se encuentra en equilibrio con la otra fase presente.

Una gasolina podrá arrancar fácilmente a un motor, pero una vez que éste alcanza la temperatura de funcionamiento, habrá completa libertad para la obstrucción ocasionada por el vapor. La presión de vapor de la gasolina aumenta con la temperatura y, a la vez, depende de su composición.

Para obtener la presión del vapor de las gasolinas se realiza la prueba Reid (ASTM-D-323-90 Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products. Reid Method), la cual indica la tendencia inicial del combustible a la obstrucción por vapor y esta se realiza a

una temperatura de 38.8 °C y una presión de 1 atm. Para el caso de las gasolinas de la Zona Metropolitana del Valle de México este valor es:

- Magna 7.8 lb/pulg²
- Premium 7.6 lb/pulg²

1.6.1.2 Temperatura de destilación.

Como ya se mencionó anteriormente la gasolina debe de cumplir varios requisitos para lo cual los hidrocarburos que la componen necesitan tener diferentes puntos de ebullición, y estos son obtenidos mediante la norma ASTM-D-86-90 Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products.

Los rangos de destilación están relacionados con el comportamiento que pueda tener la gasolina, a continuación se examinara la gráfica que nos indica estos comportamientos.

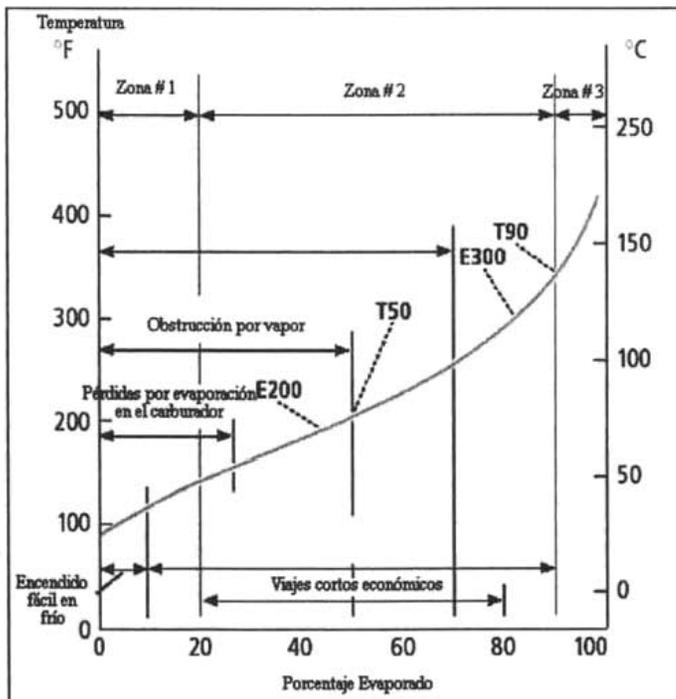


Fig. 1.7 Comportamiento de la gasolina de acuerdo al porcentaje evaporado.

- Zona # 1. La volatilidad es ajustada para proveer:
 - Arranque en frío fácil
 - Arranque en caliente fácil
 - Baja evaporación y bajas emisiones por evaporación.
- Zona # 2. La volatilidad es ajustada para proveer:
 - Rápido calentamiento
 - Economía del combustible en viajes cortos
 - Buena potencia y aceleración
 - Protección contra el congelamiento en el carburador y obstrucción por calentamiento.
- Zona # 3. La volatilidad es ajustada para proveer:
 - Economía del combustible después de que se ha calentado el motor.
 - Evita la formación de los depósitos en el motor.
 - Una mínima dilución del aceite.
 - Mínima emisión de compuestos volátiles orgánicos.

1.6.2 El índice de octano.

El índice de octano de una gasolina es una medida de su capacidad antidetonante, es decir, su habilidad para quemarse sin causar detonación; las gasolinas que tienen un alto índice de octano producen una combustión más suave y efectiva. Este índice se obtiene por comparación del poder detonante de la misma con el de una mezcla de iso-octano y heptano. Al iso-octano se le asigna un poder antidetonante de 100 y al heptano de 0. Una gasolina de 97 octanos se comporta, en cuanto a su capacidad antidetonante, como una mezcla que contiene el 97% de iso-octano y el 3% de heptano.

Existen tres diferentes "números de octano" asociados con cada gasolina. El RON (Research Octane Number) que es medido bajo condiciones de prueba y nos proporciona información de la tendencia de detonación a bajas velocidades. El MON (Motor Octane Number) medido en condiciones de mayor temperatura y velocidad nos indica la habilidad

del combustible para prevenir la detonación en motores de altas velocidades. El valor que relaciona a ambos para dar un panorama más cercano a las condiciones de manejo es el promedio de los dos valores:

$$\text{Road Octane Number} = (\text{RON} + \text{MON})/2$$

Gasolinas Mexicanas	Índice de Octano
Magna	87
Premium	92

*Tabla 1.1 Índice de Octano
en gasolinas mexicanas.*

1.7 EMISIONES CONTAMINANTES Y SUS PRINCIPALES EFECTOS.

Si bien es cierto que los motores de combustión interna nos proporcionan demasiados beneficios, también es cierto que generan impactos adversos sobre la calidad ambiental y la salud humana.

Los motores de combustión interna tanto los encendidos por chispa como los encendidos por compresión son las mayores fuentes de contaminación del aire en las ciudades; las emisiones de estos incluyen las que se deben a escape en los cilindros, a la evaporación y a los escapes propiamente dicho. Estas emisiones pueden variar mucho en cantidad y composición, dependiendo del tipo, diseño y condiciones del motor, tipo del sistema de combustible, volatilidad de este último y punto de operación del motor; una mala combustión genera productos como: hidrocarburos sin quemar, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), partículas suspendidas, gases tóxicos (benceno, formaldehído, 1,3-butadieno, etc.) y otros contaminantes de menor importancia.

1.7.1 Monóxido de carbono.

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro, insípido y no irritable que resulta como consecuencia de una combustión con insuficiencia de oxígeno. Una combustión normal es aquella en la cual el hidrocarburo y el oxígeno interactúan, formándose monóxido de carbono y agua, después comienza a oxidarse con el oxígeno remanente convirtiéndose en monóxido de carbono.

El CO lo podemos encontrar en los productos de la combustión desde una mezcla rica hasta la estequiométrica, siendo menor la proporción cuando la mezcla se acerca a la estequiométrica; es por esto que para poder contener las emisiones de CO es deseable tener una mezcla pobre.

En la práctica, esta situación es un poco compleja. A altas temperaturas y presiones que existen durante el proceso de combustión, cantidades significativas de CO se forman aunque exista suficiente oxígeno para completar la combustión. Esto se debe a la disociación de moléculas de CO_2 en CO y O_2 como consecuencia de las altas temperaturas por la vibración molecular. En la práctica, la reacción a estas temperaturas es incompleta y cesa. Cuando el gas en el cilindro se enfría durante la expansión la mayoría de CO y O_2 se recombina y forma CO_2 , una vez que la válvula de escape se abre, experimentos han demostrado que la caída rápida de presión y temperatura, puede causar alguna desviación, particularmente con mezclas ricas.

Las emisiones de CO se incrementan dramáticamente en climas fríos. Esto se debe a que los motores necesitan más gasolina para arrancar en temperaturas bajas y porque algunos dispositivos de emisiones contaminantes (como sensores de oxígeno y convertidores catalíticos) operan con deficiencia cuando están fríos.

Antes de que entraran en vigor las normas de emisiones vehiculares, la mayoría de los vehículos operaban con mezclas ricas la mayor parte del tiempo y producían mucho CO. Después los vehículos fueron diseñados para minimizar el enriquecimiento de la mezcla, pero algunas compañías aún usan períodos cortos de enriquecimiento para el arranque y para proporcionar más potencia cuando se requiera.

Un vehículo también puede operar con mezclas ricas por accidente, debido al mal funcionamiento del sistema de combustible. Las causas son varias:

- 1) el deterioro o la falla de los componentes como el carburador o el sensor de oxígeno,
- 2) depósitos formados en los inyectores de gasolina o los carburadores debido a una mala calidad de la gasolina ó
- 3) deficiencias en el mantenimiento como un mal ajuste o negligencia.

Efectos del CO sobre la salud.

La concentración de monóxido de carbono en el aire, representa aproximadamente el 75% de los contaminantes emitidos a la atmósfera; sin embargo, es una molécula estable que no afecta directamente a la vegetación o los materiales. Su importancia radica en los daños que puede causar a la salud humana al permanecer expuestos por períodos prolongados a concentraciones elevadas de éste contaminante.

El monóxido de carbono entra al torrente sanguíneo a través de los pulmones y forma carboxihemoglobina (COHb), un compuesto que inhibe la capacidad de la sangre para transportar oxígeno a los órganos y tejidos (hipoxia).

La hipoxia causada por CO puede afectar el funcionamiento del corazón, del cerebro, de las plaquetas y del endotelio de los vasos sanguíneos. Su peligro es mayor en aquellas personas que padecen enfermedades cardiovasculares, angina de pecho o enfermedad vascular periférica. Se le ha asociado con la disminución de la percepción visual, capacidad de trabajo, destreza manual y habilidad de aprendizaje.

La OMS recomienda como límite para preservar la salud pública una concentración de 9 ppm (ó 10,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) promedio de 8 horas 1 vez al año. La Norma Oficial Mexicana de CO establece como límite de protección a la salud, una concentración de 11.00 ppm (ó 12,595 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) promedio de 8 horas, la cual puede rebasarse 1 vez al año, como medida de protección a la salud de la población susceptible.

1.7.2 Hidrocarburos sin quemar.

Los hidrocarburos o más propiamente dicho las emisiones orgánicas son clasificadas de acuerdo a su origen:

- 1) Compuestos Orgánicos Volátiles productos de la evaporación y

- 2) Compuestos Orgánicos Volátiles productos de una mala combustión.

La mayoría no son contaminantes críticos, su importancia radica en el papel que juegan en la formación del ozono (O_3).

- 1) Compuestos Orgánicos Volátiles productos de la Evaporación: Son emisiones de vapores de gasolina que son generadas debido al calentamiento del combustible como resultado de la variación diaria de la temperatura y la operación del vehículo, de igual forma se deben a las fugas que presenta el sistema de combustible. Estas emisiones no contienen productos de la combustión.

El vapor que se escapa del vehículo tiene diversas localizaciones, incluyendo el tanque de gasolina, el carburador y el múltiple de admisión. De igual forma la gasolina puede permanecer en un tanque de plástico o se puede escapar entre las conexiones del sistema de combustible. Los factores que influyen la cantidad de emisiones que se evaporan son: el diseño del sistema de combustible, la temperatura ambiente y la presión de vapor de la gasolina. Y por supuesto existe una evaporación cuando se carga combustible.

- 2) Compuestos Orgánicos Volátiles productos de una mala combustión: La mayoría de la gasolina es quemada antes que los gases salgan del motor, pero una pequeña fracción (entre 1 y 5 %) salen de la cámara de combustión sin quemarse. La mayoría de estas emisiones son hidrocarburos que no se queman, aunque también están presentes pequeñas cantidades de compuestos que contienen oxígeno como los aldehídos.

Es difícil comprender como los combustibles pueden permanecer intactos cuando existe suficiente aire en un ambiente de altas temperaturas y presiones, pero esto es debido en gran parte a que existen zonas frías en la cámara de combustión, estas zonas se originan por el gradiente de temperaturas que existe cerca de las paredes del cilindro por la gran transferencia de calor que existe entre los gases quemados y la pared y a su vez esta con el sistema de enfriamiento.

En estas zonas la temperatura puede reducirse tanto que impida la combustión.

De igual manera los hidrocarburos sin quemar pueden surgir por la absorción de estos por el aceite. Algunos hidrocarburos pueden ser absorbidos por la película de

aceite en las paredes del cilindro durante la admisión, por lo cual no toman parte en la combustión y después son expulsados en la carrera de escape.

Las variables que provocan que los hidrocarburos sean o no sean quemados son: la relación de compresión, la velocidad del motor y el tiempo de encendido.

Una alta relación de compresión incrementa los hidrocarburos sin quemar y son menores las emisiones de estos con una máxima velocidad del motor, lo mismo si el tiempo de encendido se retarda.

1.7.3 Óxidos de nitrógeno (NOx).

NOx es el término genérico que se le da a varios gases reactivos que contienen nitrógeno y oxígeno en diversas relaciones, estas se forman cuando el combustible es quemado a altas temperaturas.

Bajo condiciones normales el monóxido de carbono (NO) no es tóxico pero el dióxido de nitrógeno (NO₂) se adhiere a la hemoglobina en la sangre de igual manera que lo hace el CO.

La formación de los óxidos de nitrógeno depende de las altas temperaturas. Esto ocurre porque existe un equilibrio de concentraciones cuando coexisten el nitrógeno y el oxígeno a altas temperaturas (2000 a 3000 K), formándose rápidamente compuestos NOx.

La reacción inversa en la cual los NOx se dividen en N₂ y O₂ es muy lenta debido al enfriamiento del gas, por lo cual estos compuestos son retenidos como NOx durante un largo tiempo después de que salen del motor, esto da tiempo a que reaccionen con otras sustancias como con los hidrocarburos sin quemar y el ozono que agregándoles la presencia de luz solar forman smog.

Efectos de los NOx sobre la salud.

La acumulación de dióxido de nitrógeno (NO₂), en el cuerpo humano, constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que se ha comprobado que: inicia, reactiva y puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, como sucede con las células polimorfonucleares, macrófagos alveolares y los linfocitos, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica.

En presencia de luz solar el NO_2 se disocia en NO y O , donde el oxígeno atómico (O) reacciona con el oxígeno molecular del ambiente (O_2) para producir ozono (O_3), el cual es un contaminante altamente oxidante de efectos muy nocivos.

Las emisiones de NO_x son un importante precursor en la formación de la lluvia ácida que afecta tanto al ecosistema terrestre como al acuático.

La OMS recomienda como límite para preservar la salud pública una concentración máxima diaria de 0.11 ppm (ó $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) promedio de 1 hora una vez al año, y 0.023 ppm (ó $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en una media aritmética anual. La Norma Oficial Mexicana de NO_2 establece como límite de protección a la salud, una concentración máxima diaria de 0.21 ppm (ó $395 \mu\text{g}/\text{m}^3$) promedio de 1 hora una vez al año para protección de la población susceptible.

1.7.4 Partículas suspendidas.

El término partículas suspendidas es un término usado para describir la mezcla de partículas sólidas y pequeñas gotas que se encuentran en el aire. Estas partículas varían mucho en tamaño y pueden permanecer suspendidas en el aire por períodos muy largos. Las partículas con un tamaño menor a $2.5 \mu\text{m}$ son las más peligrosas para la salud humana porque su tamaño les permite que penetren en los pulmones, dando como consecuencia un decremento en la función pulmonar, incrementa las enfermedades respiratorias y la muerte prematura. Las partículas suspendidas pueden ser emitidas directamente o se pueden formar en la atmósfera como resultado de las reacciones de los SO_x , NO_x y otros gases.

1.7.5 Ozono.

Aunque el ozono no es propiamente un contaminante emitido por los motores de combustión interna, este es formado por la interacción de gases orgánicos reactivos, óxidos de nitrógeno y la luz solar; muchas de estas sustancias que ayudan a la formación del ozono son emitidas por los motores de combustión interna; por lo cual conviene hacer una breve explicación.

El ozono es un gas altamente reactivo de color azul pálido, constituido por tres átomos de oxígeno en su estructura molecular.

Existen dos clases de ozono:

- 1) Ozono estratosférico: Se origina de forma natural en la estratósfera (entre 12 y 50 Km a partir del suelo) mediante la fotodisociación del oxígeno producida por la radiación solar ultravioleta, se concentra en una capa delgada denominada ozonósfera, la cual filtra y modera la intensidad de la radiación solar ultravioleta y otras partículas energéticas que inciden sobre la superficie terrestre. Esta acción protectora de la capa de ozono permite que se lleven a cabo diversos procesos en los ecosistemas naturales, a nivel celular evita que se rompan las moléculas de ADN y enlaces de carbono. En los últimos 50 años la emisión de clorofluorocarbono (CFC), usados en equipos de refrigeración, aire acondicionado, aerosoles y esponjas plásticas, ha provocado el deterioro y debilitamiento de la ozonósfera en un orden de 3% cada diez años. Para tener una idea de su efecto, basta un solo átomo de CFC para destruir 100,000 moléculas de ozono, su permanencia en la atmósfera fluctúa entre 75 y 120 años.
- 2) Ozono troposférico: A nivel de la tropósfera (de 0 a 12 Km a partir de la superficie terrestre) el ozono se produce por la reacción fotoquímica de óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV's) derivados del uso de combustibles fósiles. La reacción fotoquímica se produce cuando los NO_x y los COV's reaccionan con la luz solar, lo que produce un átomo libre de oxígeno (O). Este átomo libre puede adicionarse a una molécula de oxígeno (O_2) y formar una molécula de ozono (O_3). Este proceso es reversible y está condicionado por la intensidad de la radiación solar.

Efectos del ozono sobre la salud.

El ozono se considera como uno de los contaminantes de mayor preocupación en la actualidad, ya que es altamente oxidante y afecta a los tejidos vivos, se asocia con diversos padecimientos en la salud humana. Los individuos que viven en zonas donde se registran regularmente concentraciones altas de ozono, presentan diversos síntomas, como: irritación ocular, de nariz y garganta, tos, dificultad y dolor durante la respiración profunda, dolor sub-esternal, opresión en el pecho, malestar general, debilidad, náuseas y dolor de cabeza.

Capítulo 2. Sistemas de combustible utilizados en los motores de gasolina.

La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.

Aristóteles

Este capítulo tiene como finalidad describir los diferentes sistemas de alimentación de combustible con que se cuentan en la actualidad y de igual forma explicar el objetivo y funcionamiento de este sistema.

Los sistemas de alimentación de combustible tienen la misión de:

- Preparar una mezcla de aire/combustible adaptada lo mejor posible al estado de servicio correspondiente del motor.
- Mezclar el aire y el combustible para el mejor aprovechamiento de este último.
- Dosificar la mezcla aire/combustible en la cámara de combustión.

Para poder cumplir con esta misión se cuentan con los siguientes sistemas de alimentación de combustible.

- Los sistemas carburados de admisión natural.
- Y los sistemas de inyección que pueden ser monopunto o multipunto.

2.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN CARBURADO Y DESCRIPCIÓN.

Este sistema consta esencialmente de:

1. Tanque o depósito de combustible.
2. Filtro de combustible.
3. Líneas de combustible.
4. Bomba de combustible mecánica.
5. Múltiple de admisión.
6. Carburador.
7. Ahogador o "choke".
8. Válvula de aceleración.
9. Línea de retorno.
10. Filtro de aire.

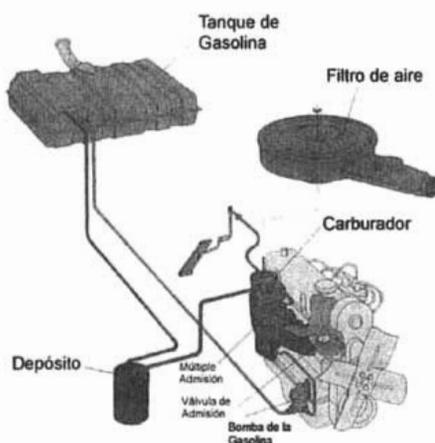


Fig. 2.1 Elementos del sistema de alimentación carburado.

2.1.1 Depósito de combustible.

Normalmente esta colocado en la parte posterior del vehículo. Era construido de placa metálica y fijado al chasis, estaba recubierto de aleación de plomo y estaño, para evitar la corrosión; actualmente estos se fabrican a base de polímeros.

El orificio de llenado del mismo está cerrado por un tapón. El extremo de la línea de alimentación va conectado al depósito por su parte inferior; en algunos casos se coloca un filtro en el punto de conexión entre la tubería y el depósito. Contiene, además, el dispositivo captador para el medidor de nivel de combustible y algunas veces un tubo de ventilación para permitir el escape del aire cuando se produce el llenado.

2.1.2 Filtro de combustible.

Los filtros son necesarios para evitar que las suciedades del combustible puedan entrar en el carburador o a la bomba. La suciedad puede dar lugar a un mal funcionamiento de estos dispositivos y como consecuencia la afectación de las características del motor. Unos filtros van incorporados a la bomba de combustible, otros, son unidades independientes que pueden ir conectadas en las tuberías entre el depósito y la bomba o entre ésta y el carburador, incluso pueden ir en el propio carburador.

2.1.3 Líneas de combustible.

Las tuberías del combustible son tubos de metal o de manguera flexible. Los primeros están hechos de aleación de aluminio recocido, mientras que las últimas son de caucho sintético y tela. El tamaño del tubo o de la manguera va de acuerdo con los requisitos del flujo de combustible del motor. Las mangueras flexibles y abrazaderas conectan las secciones de las tuberías de metal y las unen a la bomba, válvulas y otras unidades del sistema. Estas conexiones flexibles evitan el daño debido a vibración y simplifican el reemplazo de las unidades.

2.1.4 Bomba de combustible mecánica.

La bomba de alimentación hace circular el combustible desde el depósito al carburador; las bombas mecánicas usadas para automóvil son generalmente del tipo alternativas de diafragma. Este diafragma es altamente flexible e impermeable, para obtener la cantidad y presión debida de combustible. La bomba de diafragma movida por el motor suministra combustible al carburador en todas las condiciones de funcionamiento. Al aumentar la velocidad del motor la capacidad de la bomba es suficiente para mantener llena la cámara del flotador, debido a la mayor velocidad de la acción del diafragma.

La bomba de alimentación mecánica posee un balancín, y uno de sus extremos esta apoyado constantemente sobre la leva excéntrica del árbol de levas. Al girar el eje de levas, la excéntrica hace oscilar el balancín, cuyo extremo se apoya en un diafragma flexible montado y fijado entre las partes superior e inferior del cuerpo de la bomba. Bajo el diafragma hay un muelle que le mantiene en constante tensión, de modo que cuando el balancín al oscilar desciende, tira del diafragma hacia abajo; posteriormente, al haber ya pasado el punto de alzada máxima de la leva, el balancín suelta al diafragma que empujado por el muelle hacia arriba le obliga a reproducir el movimiento oscilante del balancín. Este movimiento alternativo del diafragma da lugar, alternativamente a un vacío parcial y a una sobrepresión en la cámara que se forma encima del citado diafragma. Cuando el diafragma o membrana elástica desciende, se produce un vacío parcial, con lo cual la presión atmosférica que actúa sobre el combustible en el depósito le hace circular a través de la tubería hacia la bomba. La válvula de entrada se abre para permitir el paso del líquido, en primer lugar el combustible pasa a través de un filtro y un colador. Cuando la membrana es liberada por la oscilación de retorno del balancín, es el muelle el que la empuja hacia arriba produciendo una sobrepresión en la cámara ocupada por el líquido succionado anteriormente; esta sobrepresión obliga a cerrar la válvula de entrada y fuerza a la de salida haciendo así circular al combustible hacia al carburador.

El combustible impelido por la bomba se dirige al carburador, donde entra en la cámara del flotador a través de una válvula de aguja accionada por el flotador. Si el carburador ya esta lleno, dicha válvula cierra la entrada impidiendo el paso del combustible; entonces la bomba de alimentación no puede bombear más combustible; en ese caso, el balancín sigue

oscilando, pero no obstante, el diafragma no le sigue en su movimiento, sino que permanece en la posición más elevada de su carrera puesto que su muelle no puede forzarle hacia abajo mientras que la cámara del carburador no admita más líquido. A medida que se consume combustible, el nivel en la cámara descende y la válvula de aguja admite la entrada, lo cual ya permite al diafragma desplazarse hacia abajo.

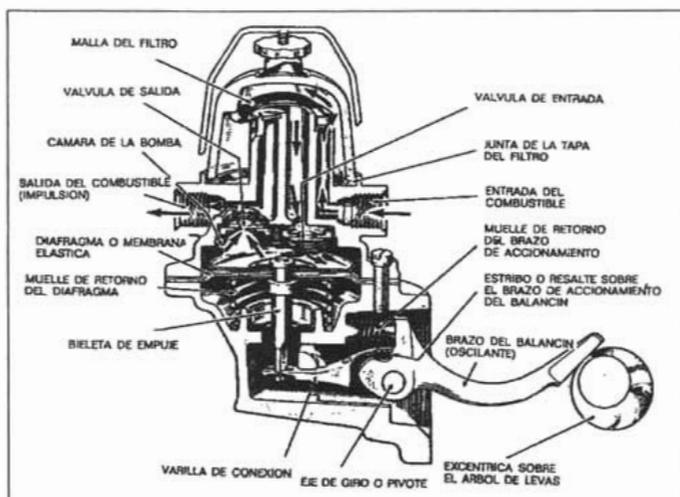


Fig. 2.2 Funcionamiento de una bomba.

2.1.5 Múltiple de admisión.

Las lumbreras existentes en la parte lateral del bloque de cilindros del motor (o en la parte lateral de la cabeza en motores de válvulas en culata) están conectadas al carburador por el colector de admisión. La mezcla aire-combustible del carburador pasa a través del colector de admisión a las lumbreras de admisión y, por ellas, a los cilindros (cuando las válvulas de admisión están abiertas). El colector de admisión es una serie de pasos que desde un punto central (en donde se monta el carburador) se dirigen a las lumbreras de admisión del motor. Está diseñado de tal forma que se pueda conseguir una distribución uniforme de la mezcla aire-combustible a los cilindros. En el diseño se evitan ángulos cerrados, ya que estos podrían crear remolinos que alterarían la uniformidad de la mezcla a los cilindros y alguno de ellos quedaría quizás escasamente alimentado.

2.1.6 Carburador.

El carburador era el dispositivo comúnmente usado para dosificar el combustible dentro de la corriente de aire, en la proporción requerida por la velocidad y la carga; esta proporción debía mantenerse muy cercana a la relación estequiométrica. Existen varios tipos de carburadores pero todos ellos se basan sobre el mismo concepto mostrado en la figura 2.3; el aire entra al carburador proveniente del filtro de aire, después fluye a través de una tobera convergente-divergente llamada Venturi (2) donde la velocidad del aire se incrementa y el valor de la presión cae. El nivel del combustible es mantenido a una altura constante en la cámara del flotador (3) debido a que esta conectada por un conducto (4) a la entrada del carburador (1). El combustible fluye de la cámara del flotador hacia el tubo de descarga a través de un orificio calibrado (5) debido a la diferencia de presiones entre la cámara del flotador y la garganta del Venturi, entonces el combustible es descargado en la garganta del Venturi donde el flujo de aire atomiza el combustible. La mezcla aire-combustible fluye hacia la sección divergente del Venturi donde el flujo se desacelera y ocurre una recuperación de presión. Después el flujo pasa por el estrangulador y entra en el múltiple de admisión.

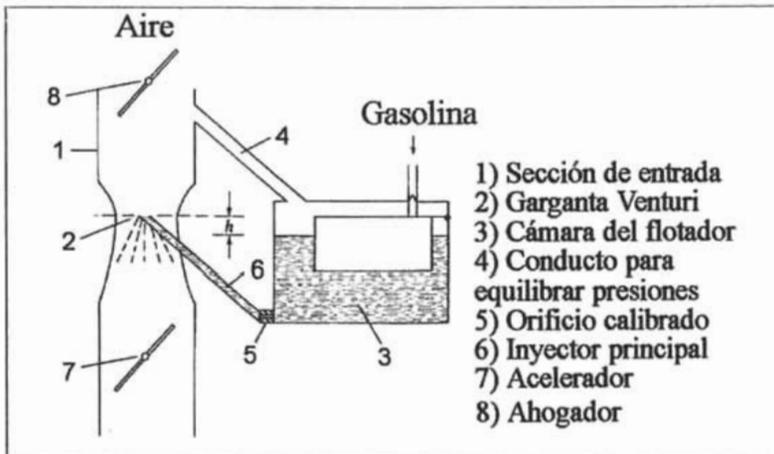
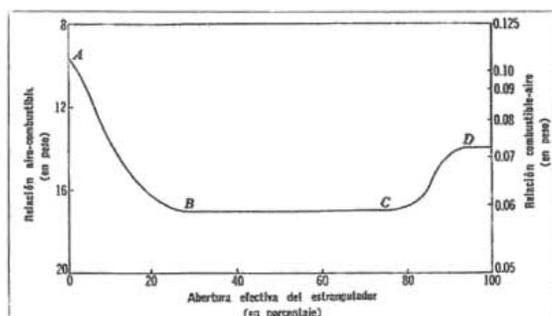


Fig. 2.3 Arreglo general de un carburador.

El motor requiere diferentes relaciones de aire-combustible para las diversas condiciones de carga, como se puede observar en la figura 2.4, en la cual se pueden observar tres condiciones.

- a) En vacío y con poca carga de A a B.
- b) Zona económica con cargas medias de B a C.
- c) Zona de potencia, a plena carga de C a D.



*Fig. 2.4 Relaciones de aire-combustible
para diferentes condiciones de carga.*

- a) En vacío y poca carga: Esta condición existe cuando no hay una demanda externa de energía y el acelerador se encuentra cerrado. Un motor en vacío requiere de una mezcla rica y a medida que se abre el acelerador, la mezcla se empobrece; esto se debe a que la presión en el múltiple de admisión está por debajo de la presión atmosférica cuando el acelerador casi se encuentra cerrado, mientras que al final de la carrera de escape, la presión es muy aproximada a la atmosférica. Al abrir la válvula de admisión, habrá mayor presión en el cilindro que en el múltiple de admisión por lo que el gas de escape, con presión relativamente alta, se dilata dentro del múltiple. A medida que el émbolo desciende durante la carrera de admisión, los gases del escape son absorbidos hacia el interior del cilindro junto con una porción fresca de aire-combustible, por lo tanto la mezcla contendrá un gran porcentaje de gases del escape. Para compensar los efectos de estos gases, que diluyen y debilitan a la mezcla, se debe de suministrar más combustible. A medida que se abre el acelerador se

induce una mayor cantidad de mezcla y el porcentaje de gases del escape disminuyen. La línea AB, en la figura 2.4 representa el cambio de la relación de la carga desde la posición en vacío, hasta una velocidad de aproximadamente 40 Km/hr.

- b) Escala de economía: Una vez que la dilución debida a los gases de escape es menor, es conveniente trabajar con mezclas más económicas, la cual se señala como la línea BC de la figura 2.4.
- c) Escala de potencia: Al abrir el acelerador hasta aproximadamente tres cuartos, la mezcla se enriquece debido a que se está demandando el desarrollo de potencia máxima.

Para que el carburador pueda realizar las dosificaciones para cada necesidad del operador y el motor existen diversos circuitos que son los siguientes:

1. Circuito de la cuba con el flotador.
2. Circuito de ralenti y de baja velocidad.
3. Circuito de alta velocidad y carga parcial.
4. Circuito de alta velocidad y plena potencia.
5. Circuito de la bomba de aceleración.
6. Estrangulador.

De los cuales se explicarán: el circuito de ralenti y de baja velocidad, el circuito de alta velocidad y carga parcial y el circuito de alta velocidad y plena potencia; debido a que estos circuitos son los que consumen una mayor cantidad de combustible.

2.1.6.1 Circuito de ralenti y de baja velocidad.

Cuando la válvula de aceleración está cerrada total o parcialmente, solo una pequeña cantidad de aire puede circular a través del carburador. La velocidad de este flujo es pequeña, dando como resultado una presión insignificante con la cual no se logra vencer la tensión superficial del combustible. Por ello es necesario proveer de un circuito de vacío que suministre una mezcla rica con flujos reducidos de aire al motor cuando se dan estas

circunstancias. El funcionamiento de este circuito se puede observar en la figura 2.5. Está constituido por una serie de pasos a través de los cuales circula el aire y combustible. Con la válvula de aceleración cerrada como se ve en la figura, hay una elevada depresión en el múltiple de admisión, debajo de la válvula. La presión atmosférica fuerza el paso, tanto del aire como del combustible, por esos canales, mezclándose y saliendo a través de un orificio de paso regulable por medio de la junta cónica de un tornillo de reglaje del ralentí. Esta mezcla es muy rica y se empobrece ligeramente a medida que se mezcla con la pequeña cantidad de aire que pasa a través de la válvula cerrada, de todos modos la dosificación final sigue siendo lo suficientemente rica para mantener la marcha al ralentí.

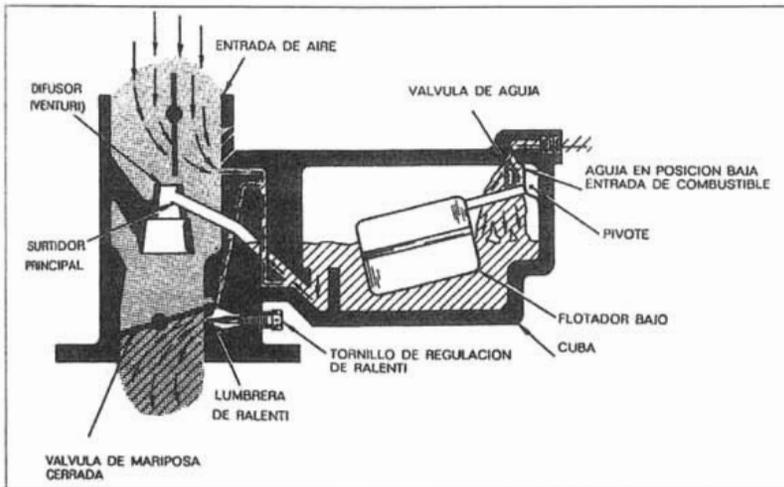


Fig. 2.5 Circuito de ralentí y de baja velocidad.

2.1.6.2 Circuito de alta velocidad y de carga parcial.

Cuando la válvula de aceleración está lo suficientemente abierta, pasando el cuello del Venturi, existe una ligera diferencia de presiones entre la parte superior e inferior del canal de paso de aire del carburador. En estas condiciones, en el Venturi, se succionará solo una ligera cantidad de mezcla. Pero por otra parte, ahora la cantidad de aire que circula por el canal o tubería de entrada es ya lo suficientemente grande como para dar lugar a que el valor de la presión sea mucho menor y se den condiciones para que el inyector principal

funcione.

El inyector principal suministra el combustible necesario del motor durante el tiempo en que éste funciona con la válvula de aceleración, parcial o completamente, abierta. Su funcionamiento puede observarse en la figura 2.6 y es llamado circuito de alta velocidad y carga parcial.

Cuando mayor es la abertura de la válvula, mayor es la velocidad con que el aire atraviesa el carburador y, por lo tanto, mayor será también la depresión creada en el Venturi, con lo cual se obtendrá una mayor cantidad de gasolina aspirada o absorbida del surtidor principal; de este modo se obtiene una dosificación de la mezcla prácticamente constante.

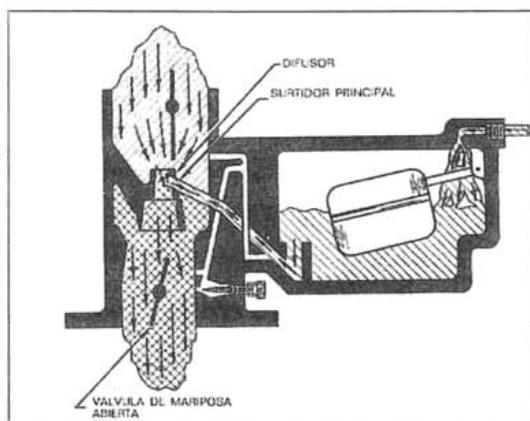


Fig. 2.6 Circuito de alta velocidad y carga parcial.

2.1.6.3 Circuito de plena potencia.

Al demandarle plena potencia al motor, éste se encontrará funcionando a altas velocidades y con la válvula de aceleración completamente abierta por lo tanto la mezcla debe enriquecerse, para lo cual se disponen en el carburador dispositivos adicionales especiales que son accionados, bien sea por mando mecánico o gobernados por el vacío, del múltiple de admisión.

- **Circuito De Plena Potencia Accionado Mecánicamente:** Este circuito está

constituido por un economizador, que consta de un orificio calibrado de precisión y una varilla o aguja del economizador terminada en punta cónica (fig. 2.7). La aguja del economizador está unida al varillaje de mando de la válvula de aceleración (fig. 2.8). Cuando la válvula es abierta, la válvula del economizador se eleva, mientras que cuando está solo parcialmente abierta, la aguja permanecerá más baja, de modo que el orificio de paso se ve obstruido por la varilla, restringiendo el caudal de gasolina que podía pasar de la cuba al surtidor principal; no obstante, la riqueza obtenida es suficiente para el funcionamiento a apertura parcial, y cuando la válvula de aceleración está completamente abierta, la aguja del economizador está levantada, de modo que el menor de sus diámetros obstruye el paso a través del orificio; el caudal que circulará será mayor y, por consiguiente, la mezcla obtenida, más rica.

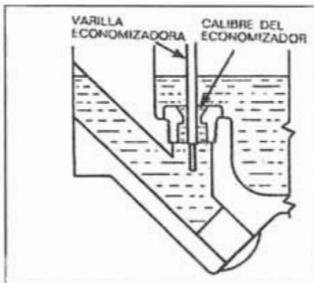
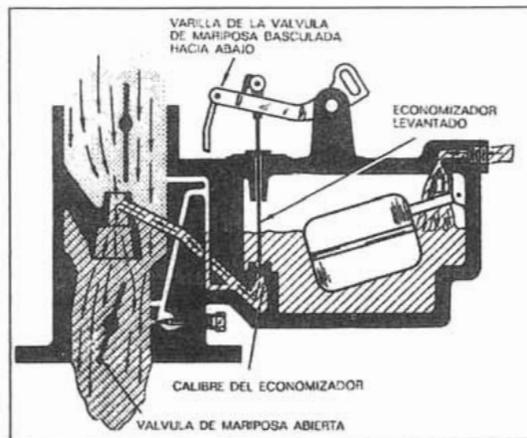


Fig. 2.7 Economizador.



*Fig. 2.8 Circuito de plena potencia
accionado mecánicamente.*

- **Circuito De Plena Potencia Accionado Por Vacío:** El accionamiento por el vacío, del múltiple de admisión, consta de un pistón o diafragma de vacío (también llamado servomotor de vacío) unido por palanca o varillas, a una válvula o economizador parecido al descrito anteriormente. En la figura 2.9 se puede observar un conjunto y su funcionamiento es el siguiente: cuando se opera con apertura parcial, el pistón (o diafragma) es mantenido en su posición más baja por el vacío

del múltiple de admisión; al abrirse completamente la válvula de aceleración, el vacío en dicho colector se reduce, lo que permite al muelle del diafragma empujarlo hacia arriba elevando con él a la aguja del economizador y liberando el paso a través del calibre, así que puede circular una mayor cantidad de gasolina de acuerdo con los mayores requerimientos del motor para poder suministrar su plena potencia.

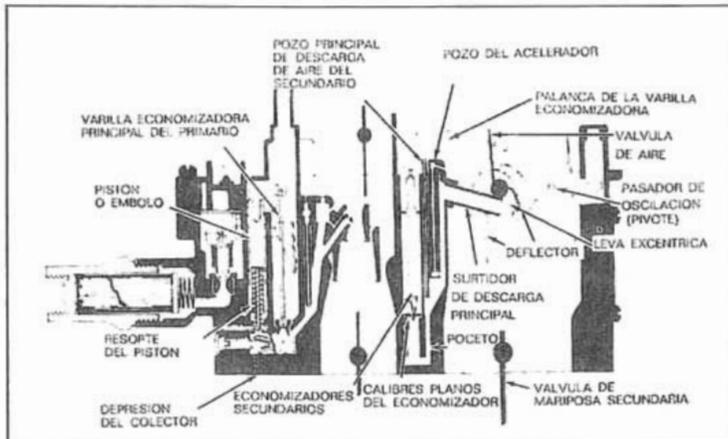


Fig. 2.9 Circuito de plena potencia accionado por vacío.

2.1.7 Ahogador.

Es una válvula colocada antes del Venturi (fig. 2.3), la cual debe permanecer completamente cerrada solo al arrancar el motor. Estando, tanto el carburador como el motor, fríos, solo una parte de la gasolina se evaporará, por lo que es necesario suministrar más combustible.

Al principio la velocidad del aire a través del Venturi es muy pequeña por lo que la depresión provocada por el efecto Venturi, así como la que haya debajo de la válvula de aceleración, debida a la aspiración de los cilindros, es muy pequeña y por lo tanto, insuficiente para absorber del inyector principal la cantidad necesaria de gasolina. Para ello se coloca el ahogador, el cual estando cerrado sólo permite pasar una pequeña cantidad de aire y, por lo tanto, se crea una fuerte depresión en el conducto del carburador, dando como resultado una succión de combustible fuerte y formando una mezcla rica, tan pronto como

se produce el arranque del motor, su velocidad aumenta y a partir de ese momento se requiere de una cantidad mayor de aire por lo cual la válvula deja de operar de forma automática.

2.1.8 Válvula de aceleración o estrangulador.

Esta válvula puede girar alrededor de su eje, para permitir o cerrar el paso del aire; cuando la mariposa alcanza su posición horizontal, corta totalmente el paso de aire; al desviarse de esta posición el aire puede circular libremente.

Un juego de palancas relaciona la válvula de aceleración en un pedal emplazado en el compartimiento del conductor, de modo que éste puede adecuar la abertura de la válvula de acuerdo con las necesidades de funcionamiento.

2.1.9 Filtro de aire.

Durante la marcha normal del motor, el carburador suministra una mezcla de relación entre 12:1 a 18:1, por lo tanto serán varios metros cúbicos de aire los que pasen por el motor, susceptible de contener grandes cantidades de polvo e impurezas que podrían dañar seriamente al motor y a sus piezas si se permitiese su entrada en los cilindros; para evitarlo, se introduce un filtro que las detenga. El filtro se monta en el lado atmosférico de la entrada de aire del carburador, el cual consiste en un amplio tambor cuya parte superior contiene un aro de material de filtro ininflamable (hilos o cinta de metal formando masa, papel especial, fibra de celulosa o poliuretano) a través de la cual debe pasar el aire. Este material forma un laberinto que detiene las partículas de suciedad.

El filtro desempeña una segunda función: aminora el ruido producido por la admisión de aire en el carburador y en el múltiple de admisión y su paso hacia las válvulas de admisión. Sin la presencia del filtro, el sonido de la admisión del aire sería más perceptible y molesto para el conductor, también retiene las llamas en caso de explosiones del motor que ocurran en el carburador.

Este fenómeno puede ocurrir alguna vez como consecuencia de inflamación de la mezcla aire-combustible en el cilindro antes de que la válvula de admisión se cierre.

Cuando esto ocurre se produce un momentáneo retroceso de la llama en el carburador y en el colector de admisión. El filtro de aire impide que la llama pase más allá del carburador y la posible combustión de los vapores de gasolina existentes en las zonas próximas al carburador.

2.2 SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE.

Los sistemas de inyección de gasolina emplean, en lugar de carburadores, inyectores y bombas de alimentación de alta presión que pulverizan el combustible en la corriente de aire que entra en los cilindros. El efecto final sigue siendo el mismo que con los carburadores; no obstante, este sistema de alimentación es más seguro y más adecuado para motores de elevada potencia y alta velocidad, ya que puede cumplir de forma más estricta los límites preestablecidos respecto a la composición de la mezcla, dando como resultado un mínimo consumo de combustible y una reducción significativa de contaminantes; por estas razones la inyección ha desplazado al carburador.

Un sistema de inyección debe satisfacer los siguientes requisitos:

- i) Inyectar la cantidad de combustible requerida por la carga aplicada al motor y mantener esta cantidad medida:
 - constante, de ciclo a ciclo de funcionamiento,
 - constante, de cilindro a cilindro.
- ii) Atomizar el combustible hasta el grado deseado.
- iii) Distribuir el combustible dentro de toda la cámara de combustión.
- iv) Mantener un control relativamente estricto sobre la relación aire-combustible.

Si realizamos una comparación entre el sistema de inyección y el carburador podemos observar que:

- I. Se obtendrá una mayor potencia en la flecha, como consecuencia del aumento en el rendimiento volumétrico, debido a:
 - Múltiples de admisión más grandes, con menores pérdidas de presión.
 - Eliminación de las pérdidas de presión en el carburador.

- Eliminación del calentamiento del múltiple.
- II. La aceleración es más rápida, ya que el combustible es inyectado cerca del cilindro.
- III. Se elimina el efecto de congelación en el múltiple.
- IV. Existe una mejor refrigeración, ya que la vaporización del combustible se realiza sin adición de calor en las carreras de admisión y compresión.
- V. Existe una disminución del golpeteo al no necesitarse el suministro de calor para promover la distribución de combustible.
- VI. Se obtiene un diseño más compacto del motor.
- VII. Se pueden utilizar combustibles menos volátiles.

La mayoría de estos sistemas constan de un colector de entrada de aire con un regulador de caudal, una bomba de combustible y un colector de admisión con inyectores. El colector de admisión de aire tiene una válvula de mariposa conectada al pedal del acelerador, cuando el conductor pisa el pedal, aumenta la cantidad de aire que entra al colector; unos controles interconectados actúan para poder regular el caudal de combustible inyectado, y lo aumentan. El combustible es trasvasado al depósito por una bomba de gasolina corriente. La bomba de combustible de alta presión que está en el depósito, accionada exteriormente desde el distribuidor de encendido, lo suministra a la cámara de regulación, de donde pasa a los inyectores o bien retorna al depósito.

Los sistemas de inyección se clasifican en dos:

- a) Inyección individual o multipunto: En estos equipos cada cilindro tiene asignada una válvula de inyección la cual se encarga de suministrar el combustible directamente en el cilindro. Un ejemplo de un sistema de inyección individual es el denominado K-Jetronic de Bosch. El aire aspirado fluye a través del filtro y el medidor del caudal de aire, pasa por la mariposa principal y va al colector de admisión, desde donde se distribuye a los distintos cilindros. El combustible es aspirado del depósito por una bomba celular de rodillos y enviado a través del acumulador y el filtro, al distribuidor-dosificador. Un regulador de presión del sistema en el distribuidor-dosificador mantiene constante la presión de

combustible. El sobrante de combustible que no necesita el motor circula de vuelta al depósito.

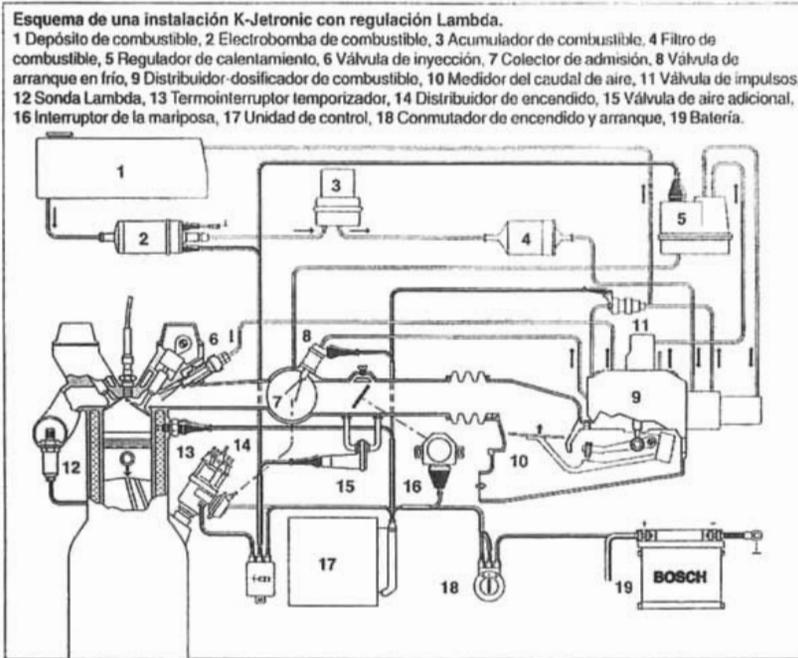


Fig. 2.10 Sistema de inyección individual.

- b) Inyección centralizada o monopunto: Es un sistema de inyección controlado electrónicamente en el cual una válvula de inyección electromagnéticamente dispuesta en un lugar central por encima de la mariposa, inyecta combustible intermitentemente en el múltiple de admisión. Un sistema típico de este tipo de inyección es el que efectúa la instalación Mono-Jetronic de Bosch, el cual inyecta el combustible intermitentemente en el aire aspirado, por medio de una única válvula de inyección. La pieza fundamental es la unidad central de inyección, que abastece al motor de combustible preparado exactamente. La distribución del combustible a los distintos cilindros se realiza igual que en los carburadores a través de un múltiple de admisión.

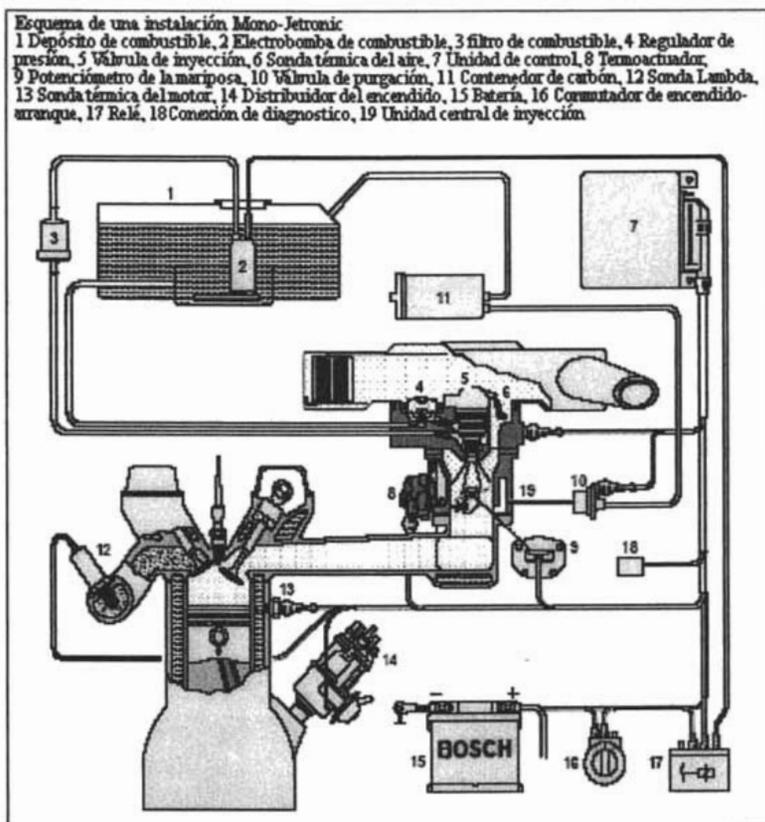


Fig. 2.11 Sistema de inyección centralizada.

2.2.1 Descripción de los componentes básicos de los sistemas de inyección.

- Electrobomba de combustible.

La electrobomba de combustible transporta continuamente el combustible desde el depósito de combustible. La bomba puede estar montada directamente dentro del depósito de combustible o en la tubería de combustible.

Las bombas en el depósito empleadas hoy día por regla general (fig. 2.12) están integradas en unidades incorporadas en el depósito que contiene también el transmisor del nivel de llenado y un cuerpo de rotación para la separación de burbujas de vapor en el retorno del combustible. En las bombas que se encuentran en las tuberías, puede montarse, para evitar problemas de suministro en caliente, una bomba previa en el depósito de

combustible a reducida presión hacia la bomba principal. Con el fin de mantener la presión de combustible necesaria bajo todas las condiciones de servicio, el caudal de suministro es superior a la demanda máxima de combustible del motor. Un circuito de seguridad impide el suministro de combustible cuando se encuentra conectado el encendido de la electrobomba y el motor está parado.

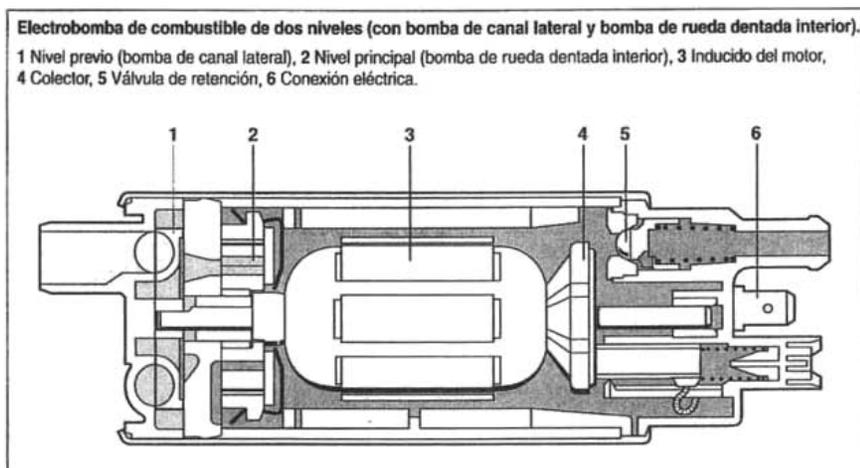


Fig. 2.12 Esquema general de una electrobomba.

- *Filtro de combustible.*

Las impurezas en el combustible pueden afectar el funcionamiento de las válvulas de inyección y del regulador de presión. Por este motivo, detrás de la electrobomba de combustible va dispuesto un filtro. El filtro lleva un elemento filtrante de papel de una porosidad media de $10\ \mu\text{m}$. y un tamiz dispuesto detrás de él, ésta combinación consigue un elevado efecto de limpieza. Está fijado con una placa soporte en el interior del cuerpo metálico.

- *Regulador de presión.*

La misión de este elemento es ajustar con precisión la presión en el circuito de combustible, retornando al depósito el exceso de caudal de gasolina que circule por el circuito que forman la bomba, el filtro, la válvula reguladora y el depósito, con el fin de

mantener el motor de la bomba a un nivel aceptable de refrigeración en situaciones de consumo mínimo o de corte de la inyección.

Este regulador consta de un cuerpo metálico dividido en dos cámaras por una membrana rebordeada; en una cámara va alojado el muelle helicoidal pretensado que somete a carga la membrana; la otra cámara contiene el combustible. Cuando se supera la presión ajustada, una válvula accionada por la membrana deja libre el orificio para la tubería de retorno, con lo que el combustible sobrante puede volver sin presión al depósito, la cámara del muelle del regulador va unida a través de una tubería al tubo de aspiración del motor, detrás de la mariposa. Esto hace que la presión en el sistema dependa de la presión absoluta en el tubo de aspiración.

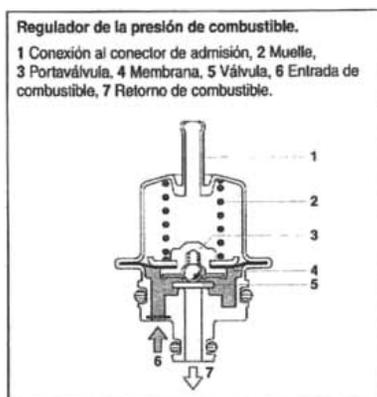


Fig. 2.13 Regulador de presión.

- *Válvula de inyección electromagnética.*

Estas válvulas controlan electrónicamente la dosificación de combustible tanto del sistema monopunto como el multipunto. Son accionadas electromagnéticamente, abriéndose y cerrándose en respuesta a los impulsos eléctricos del aparato de mando. La válvula de inyección consta de un cuerpo de válvula y de la aguja del inyector con el inducido magnético superpuesto. El cuerpo de la válvula contiene el devanado magnético y la guía para la aguja del inyector. Cuando el devanado magnético está sin corriente, la aguja es presionada por un muelle helicoidal contra su asiento que se encuentra en la salida de la válvula. Cuando se excita el electroimán, la aguja es levantada de su asiento

aproximadamente 0.1 mm., y el combustible puede salir por una ranura anular de precisión. En el extremo delantero de la aguja de inyector existe una espiga pulverizadora.

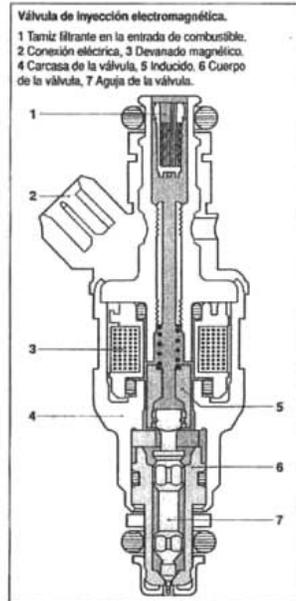


Fig. 2.14 Válvula de inyección.

Así mismo los dos tipos de sistemas de inyección se apoyan en otros dispositivos para su correcta operación como lo son:

- a. Sonda Lambda: La cual mide la relación aire-combustible en la mezcla. Este dispositivo está provisto con electrodos de platino permeables a los gases; uno de ellos está en contacto con la corriente de los gases de escape, mientras que el otro está en contacto con el aire exterior. Si el contenido de oxígeno no es igual en ambos lados, se establece una diferencia de potencial eléctrico y esta señal es mandada a una unidad de control capaz de modificar los parámetros para obtener una relación estequiométrica.

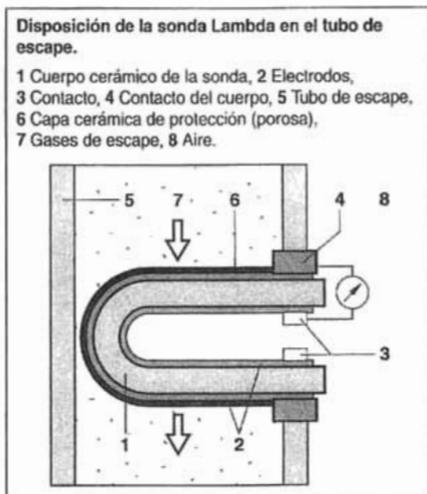


Fig. 2.15 Sonda Lambda.

- b. Medidor del caudal de aire: Se encuentra entre el filtro de aire y la mariposa y registra el flujo volumétrico de aire (m^3/h) aspirado por el motor. El flujo de aire aspirado desvía una aleta-sonda contra la fuerza de recuperación constante de un muelle. La posición del ángulo de la aleta-sonda se registra mediante un potenciómetro. La tensión del potenciómetro es conducida a la unidad de control y es comparada allí con la tensión de alimentación del potenciómetro. Esta relación de tensión representa una medida para el flujo volumétrico de aire aspirado por el motor.
- c. Medidor de masa de aire: Existen dos tipos, el de hilo caliente y el de película caliente, los cuales son sensores de carga térmicos. Estos se encuentran montados entre el filtro de aire y la mariposa y registran el flujo de masa de aire (kg/h) aspirado por el motor. Ambos sensores trabajan bajo el mismo principio. En el flujo de aire aspirado se encuentra un cuerpo calentado eléctricamente que es enfriado por el aire que pasa. Un circuito regulador reajusta la corriente calefactora de forma tal que este cuerpo adopta un exceso de temperatura constante respecto a la temperatura del aire aspirado. La corriente calefactora es entonces una medida del flujo de masa de aire. En este principio de medición se

considera también la densidad del aire, ya que ésta contribuye a determinar la magnitud de calor que entregará el circuito.

- d. Sensor de la temperatura del motor: Éste tiene una resistencia dependiente de la temperatura que penetra en el circuito de agua refrigerante del motor y que adopta su temperatura. La tensión que disminuye a través de la resistencia es registrada por el convertidor analógico-digital y constituye una medida de la temperatura. En el ordenador está almacenada, en memoria, una tabla que indica para cada valor de tensión la temperatura correspondiente y compensa con ello la relación "n" lineal entre la tensión y la temperatura.
- e. Unidad de control (computadora): Es el "centro de cálculo y de mando" del sistema de control del motor. La unidad calcula a partir de las señales de entrada suministradas por los sensores, con ayuda de las funciones almacenadas en memoria y algoritmos, las señales de activación para los elementos actuadores (p. ej. bobina de encendido, válvula de inyección, etc.) y los controla directamente mediante etapas finales de potencia.

Capítulo 3. Dispositivos utilizados en el motor para reducir el consumo de combustible.

La ignorancia afirma o niega rotundamente; la ciencia duda.

François Marie Arouet Voltaire

Ante la imperiosa necesidad de nuestra sociedad (consumidores) de obtener de cada proceso un mayor rendimiento, lo cual significa obtener una mayor potencia a un menor consumo de energía, los científicos y la iniciativa tanto privada como pública se han dado a la tarea de mejorar los procesos; esta cuestión no se queda rezagada en el ámbito del transporte, debido a que sus efectos son más visibles por cuestiones ambientales y económicas, por lo cual las compañías automotrices han perfeccionado el funcionamiento de los motores de combustión interna y de igual manera han mejorado el diseño de los vehículos, aunado a esto varias empresas de la iniciativa privada han realizado investigaciones para inventar productos que se denominan “Dispositivos para el Ahorro de Combustible”, y con esto se pretende reducir el consumo específico de combustible dando como resultados la disminución en las emisiones contaminantes y la reducción de los costos que implican los traslados diarios de personas y mercancías.

En lo que a esta tesis concierne se hará únicamente mención de la clasificación de los dispositivos utilizados en los motores de combustión interna, en particular los usados en automóviles, puesto que existe una gran variedad de ellos en el mercado, sin embargo, todos ellos entran en alguna clasificación de acuerdo a su principio de operación.

3.1 CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL AHORRO DE COMBUSTIBLE.

Antes de dar una clasificación de estos dispositivos debemos decir que estos pueden ser cualquier componente que sea diseñado para que puedan ser instalados en los automóviles como complemento, reemplazo, alteración o modificación de cualquier parte original y que sus fabricantes garanticen un ahorro en el consumo de combustible en comparación con los componentes originales del automóvil; este término incluye los aditivos para la gasolina. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos ha clasificado a estos dispositivos en diez diferentes clases de acuerdo a sus características de operación, muchos

Capítulo 3. Dispositivos utilizados en el motor para reducir el consumo de combustible.

de estos dispositivos han llegado a México bajo diferentes nombres y presentaciones y gran parte de estos se comercializan vía Internet.

3.1.1 Empobrecedores de mezcla.

La principal función de estos dispositivos es suministrar aire en exceso de forma que se obtenga una mezcla pobre, por consiguiente al haber una mayor cantidad de oxígeno el combustible en su totalidad será quemado con lo cual teóricamente se aprovechará al máximo la energía química liberada por este y con esto se logrará disminuir el consumo de combustible.

Dentro de esta clasificación entran la gran mayoría de dispositivos que podemos encontrar en el mercado debido a que en teoría es una de las formas más fáciles y prácticas de mejorar la eficiencia de un proceso de combustión.

Estos dispositivos los podemos encontrar en diferentes presentaciones que van desde un mecanismo como complemento al equipo original, hasta el reemplazo de piezas originales.

Un gran porcentaje de estos dispositivos utiliza la línea de Ventilación Positiva del Cáster (PCV) para poder realizar su función la cual consiste en introducir más aire a la mezcla aire-combustible. Un ejemplo de estos dispositivos es una válvula que es colocada en la línea PCV y su operación es la siguiente el aire entra por arriba de la válvula y es filtrado, después pasa a través de un mecanismo de resorte ajustable y entra a la línea PCV. Bajo condiciones en donde exista una presión de vacío alta en el múltiple de admisión (por ejemplo: ralentí o velocidades bajas) el mecanismo es diseñado para que cierre, esto es que no entre aire fresco. En condiciones de una baja presión de vacío en el múltiple (por ejemplo: aceleraciones o altas velocidades) el mecanismo abrirá la válvula permitiendo que entre aire fresco a la línea PCV.

Capítulo 3. Dispositivos utilizados en el motor para reducir el consumo de combustible.

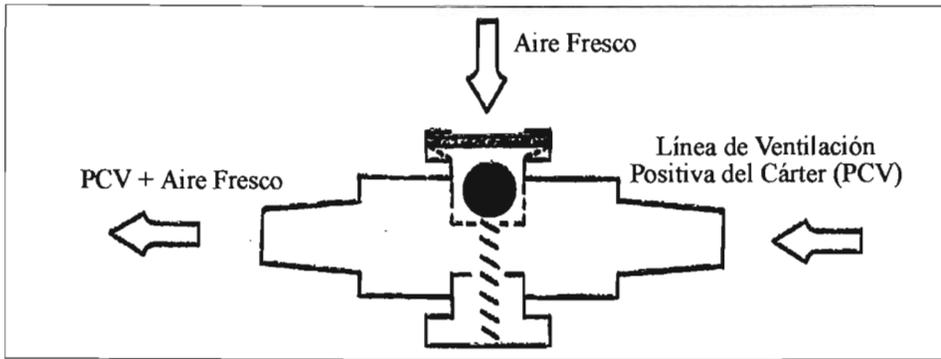


Fig. 3.1 Diagrama del ejemplo de un dispositivo empobrecedor de mezcla tipo válvula.

El fabricante de este dispositivo afirma que los beneficios de este dispositivo son:

- 1) Reducción de emisiones de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x).
- 2) Incremento en el ahorro de combustible.
- 3) Mejor desempeño del motor.
- 4) Reducción de depósitos en la cámara de combustión.

En otros casos el dispositivo es una placa la cual es diseñada para ser colocada debajo del carburador, la placa esta acanalada por dentro para poder controlar el flujo de aire en los surtidores de combustible lo cual permite atomizar el combustible y formar un ciclón de modo que se pueda retener el líquido dentro del carburador sin pasar al múltiple de admisión con lo cual se previene que gotas de combustible formen parte de los gases de escape e incrementen las emisiones contaminantes.

Algunos dispositivos manejan dos válvulas, una de ellas es colocada en la línea PCV y realiza la misma función que el anterior dispositivo, la otra válvula es colocada en el múltiple de escape de gases barrenando este último y su función la realiza cuando en el múltiple existe una baja presión con lo cual la válvula permite el paso de aire y diluye las emisiones contaminantes.

Capítulo 3. Dispositivos utilizados en el motor para reducir el consumo de combustible.

En otros casos el dispositivo reemplaza el tornillo de regulación de ralenti y su misión es controlar la mezcla en condiciones de ralenti y baja velocidad, en estos casos el dispositivo en cuestión es un tornillo con pasadizos para la entrada de aire barrenados a lo largo de todo el tornillo, el diámetro de estos pasadizos es debidamente controlado para regular la cantidad de aire que entra al dispositivo. Cualquier flujo que pase a través del surtidor deberá pasar a través de este dispositivo, y se combinará con el aire que entre por este dispositivo.

En todos estos casos los dispositivos trabajan en función de la carga del motor, algunos otros dispositivos son dependientes tanto de la carga como de la altitud a la cual se encuentre el motor, y su función es introducir aire y causar una turbulencia con lo cual se mejorará el proceso de combustión. En este caso el dispositivo consiste de dos válvulas una de ellas es controlada por la presión atmosférica y la segunda es controlada por la carga del motor y son colocadas en serie en la línea PCV.

Otra de las características de los dispositivos que son colocados en la línea PCV es el provocar el retorno de los gases de combustible que se escapan de la cámara de combustión para que puedan ser quemados en su totalidad.

3.1.2 Empobrecedores de mezcla en forma de vapor.

Estos dispositivos son similares a los empobrecedores mencionados anteriormente con la diferencia que el aire que es introducido por medio de burbujas a través de un contenedor de agua y una mezcla anti-congelante.

Uno de los dispositivos de esta clase introduce burbujas de aire por medio de una solución 50/50 de agua y alcohol, con lo cual mejorará la eficiencia del proceso de combustión debido a una mejor atomización del combustible y de igual manera contribuirá a una reducción de la temperatura del motor; igual que los anteriores dispositivos el fabricante asegura que se reducirán las emisiones contaminantes y habrá una mejora en el consumo de combustible.

Capítulo 3. Dispositivos utilizados en el motor para reducir el consumo de combustible.

Este dispositivo utiliza la presión de vacío del múltiple de admisión para introducir aire dentro del contenedor de la solución agua-alcohol lo cual causa que la solución comience a formar burbujas y se forme en la parte superior de este contenedor una brizna de alcohol y agua, después esta brizna es enviada al múltiple de admisión por lo general se hace a través de la línea PCV. Otra de las ventajas que se le atribuyen a este dispositivo es que al ser vapor lo que se introduce será un buen agente que ayudará a eliminar los depósitos de carbón que se forman en la bujías y en las paredes de los cilindros.

Otro dispositivo similar a este último no utiliza alcohol solamente agua; la cual se encuentra en un contenedor especial y se le inyecta aire para que se formen burbujas ésta mezcla de agua y aire entra al múltiple de admisión y se convierte en vapor debido a las altas temperaturas que se producen en el motor, por lo tanto el volumen de éste aumentará instantáneamente ayudando a crear la energía necesaria para empujar el pistón hacia abajo.

Un dispositivo diferente a los demás en cuanto a la sustancia utilizada, es aquel que adiciona aire mezclado con un concentrado de platino el cual se encuentra en un depósito que es conectado a la línea PCV. Los fabricantes argumentan que este concentrado mejorará la combustión.

A diferencia de los empobrecedores que solo adicionan aire, estos dispositivos basan su efectividad en el supuesto que estas mezclas ayudarán a limpiar las cámaras de combustión con lo cual se eliminarán los depósitos de carbón tanto de las paredes como de las bujías consiguiendo con esto que todo el volumen de combustible en la cámara sea quemado.

3.1.3 Inyección de líquidos.

Esta clase de dispositivos adicionan un líquido al sistema de admisión y no directamente en la cámara de combustión. Según los fabricantes de esta clase de dispositivos el objetivo de estos es: incrementar la eficiencia del motor, incrementar la vida del motor, prevenir la contaminación por carbón, incrementar la potencia efectiva, incrementar el número de octano, reducir los gases que escapan de la cámara de

Capítulo 3. Dispositivos utilizados en el motor para reducir el consumo de combustible.

combustión, incrementar la vida del aceite, reducir las emisiones de CO y los NOx e incrementar los kilómetros recorridos por litro de combustible.

Uno de estos dispositivos comienza a funcionar al encender el motor, y éste consiste de un tanque en donde se almacena agua y alcohol; éste dispositivo tiene un tubo que conecta al múltiple de admisión con la cámara de vacío que contiene el dispositivo, mientras que otro tubo conecta al múltiple de escape con el tanque de combustible; el dispositivo utiliza el vacío que se crea al encender el motor y los gases de escape. Una de sus funciones es abastecer de combustible el tanque ya mencionado, esto sucede mientras en la cámara de vacío exista una alta presión de vacío de manera que pueda ser vencida la presión del resorte de la bomba y pueda entrar el combustible que servirá como reserva cuando las condiciones de operación del motor demanden una mayor cantidad de combustible; durante esta operación la válvula que permite la salida del combustible permanecerá cerrada.

En el caso en donde se requiera de un alto par éste dispositivo funciona como abastecedor adicional de combustible. Pero cuando se encuentra en ralentí el dispositivo no funciona como abastecedor.

Esta clase de dispositivos utilizan la presión del múltiple de escape para poder seguir abasteciendo de combustible al carburador cuando no se demande de una carga total del motor.

3.1.4 Dispositivos de encendido.

Estos dispositivos son adheridos al sistema de encendido o son usados para reemplazar equipo o partes originales.

Como ejemplo de estos dispositivos tenemos el que se compone de un resistor que tiene una resistencia de bajo valor y un dispositivo eléctrico no lineal, en un tubo; estos son conectados en serie y a su vez estos dos componentes se conectan en paralelo con un capacitor que se conectan al devanado primario del bobinado de encendido y son controlados por un interruptor; con un arreglo como este se puede obtener un alto voltaje, que puede ser generado instantáneamente para completar el encendido de la mezcla aire-combustible en las cámaras de combustión. El objetivo de este dispositivo es proveer de un

Capítulo 3. Dispositivos utilizados en el motor para reducir el consumo de combustible.

sistema de encendido el cual puede controlar los cambios de corriente cuando el interruptor es abierto o cerrado. Otro objetivo del dispositivo es proveer de un sistema que permita encender de forma ideal la mezcla.

Los fabricantes de este dispositivo argumentan que la principal razón para usarlo es que los capacitores del sistema original de encendido tienen un bajo valor para que puedan soportar los grandes voltajes que se generan y además los interruptores se pueden dañar por trabajar a altas velocidades.

Otro fabricante de esta clase dispositivos alega que su dispositivo puede modificar el encendido de la bujía mediante un condensador secundario atornillado a la bujía para que suministre mayor energía en un período más corto. Esto lo fundamenta al decir que se necesita de una mayor cantidad de combustible en la mezcla si es que se quiere tener una combustión completa, debido a que las bujías suministran muy poco calor como para quemar en su totalidad la mezcla.

Los fabricantes de otro dispositivo dicen que éste es capaz de convertir la corriente directa de alta tensión proporcionada por el bobinado de encendido en una corriente alterna de alta frecuencia la cual es de 20,000 Hz, con lo cual se pretende tener varias chispas de encendido en la bujía en un menor tiempo.

3.1.5 Dispositivos sobre la línea de combustible (calentadores o enfriadores).

Estos dispositivos calientan la gasolina antes de que ésta entre en el carburador. Usualmente, la gasolina es calentada por el sistema de enfriamiento, por los gases de escape o por un sistema eléctrico.

Un dispositivo de estos funciona como un intercambiador de calor y esta construido de cobre o latón y consiste de un tubo de un diámetro relativamente grande por donde pasa el agua del radiador que es utilizada como fuente de calor, al interior de este tubo se encuentra un tubo que sirve como línea de combustible y que conecta a la bomba con el carburador, la transferencia de calor se hace por medio de conducción. Este dispositivo es instalado lo más cerca posible al carburador. El fabricante argumenta que el calentar la gasolina

Capítulo 3. Dispositivos utilizados en el motor para reducir el consumo de combustible.

contribuirá a que se tenga una vaporización más rápida y el combustible se pueda quemar por completo y de una forma más eficiente.

Algunos dispositivos son colocados encima del radiador para aprovechar el calor que es transferido de éste. La mayoría de los fabricantes argumentan que no se afectan los parámetros originales de diseño del motor.

Otro dispositivo común es un intercambiador de calor el cual ésta dentro en un contenedor aislado y en su interior se encuentra un líquido que facilita la transferencia de calor normalmente glicol-etileno, el combustible atraviesa el contenedor mediante un tubo, de preferencia de cobre, completamente sellado. Dentro del contenedor se encuentra un elemento de calentamiento eléctrico el cual se encuentra a lo largo de todo el contenedor y éste es controlado por un termostato de estado sólido.

Existe otro dispositivo que actúa de forma diferente a los demás pero que a decir de los fabricantes mejora el consumo de combustible en zonas donde la temperatura es muy baja, se trata de un dispositivo intercambiador de calor que es colocado en la parte inferior del radiador, su función es calentar el líquido refrigerante y el calor es transferido mediante convección y conducción, su propósito es facilitar el arranque en frío.

Otro dispositivo que se comercializa, es básicamente un catalizador de la combustión, a decir de los fabricantes y consiste de un calentador de combustible eléctrico que en su interior contiene una película de platino sobre un sustrato inerte. De acuerdo a los fabricantes una pequeña cantidad de platino es adicionada al combustible con lo cual se mejorará la combustión, debido a que se producirán temperaturas más altas dentro de la cámara de combustión.

Por último un fabricante argumenta que debido a la generación de calor dentro del motor se pueden alcanzar muy altas temperaturas con lo cual una parte de combustible se evaporará, por lo tanto éste dispositivo pretende mantener la temperatura de la mezcla no por encima de los 4 °C, mediante dos compartimientos uno de ellos se encarga de enfriar el combustible y el otro sirve para enfriar la mezcla aire-combustible. Todo esto lo hace a través de intercambiadores de calor y mediante un líquido refrigerante.

Capítulo 3. Dispositivos utilizados en el motor para reducir el consumo de combustible.

3.1.6 Dispositivos sobre la línea de combustible (magnetizadores).

Estos dispositivos son puestos sobre la línea de combustible y según sus fabricantes afirman que pueden cambiar la estructura molecular del combustible.

La mayoría de estos dispositivos consisten de dos barras magnetizadas permanentemente y dos placas de metal; cubiertas por un plástico. Los fabricantes de esta clase de dispositivos recomiendan colocarlos sobre la línea de combustible y alejados del carburador aproximadamente 3", para que puedan realizar su función.

El fabricante de uno de estos dispositivos afirma que la presencia de un campo magnético sobre el combustible puede favorecer la combustión, incrementar el proceso de evaporización y mejorar la transferencia de calor.

Los fabricantes de otros dispositivos aseguran que los beneficios son notorios después de haber rellenado el tanque de dos a tres veces, según esto es para que el dispositivo pueda limpiar el motor de los depósitos de carbón; de esta manera podemos observar que la función de este dispositivo es hacer una limpieza dentro del motor.

Otros fundamentan sus dispositivos en la siguiente teoría: "Los electrones que se encuentran rodeando al núcleo del átomo tienen dipolos los cuales se encuentran en estado neutro. Sin embargo estos dipolos pueden ser afectados por las fuerzas eléctricas y magnéticas causando una pequeña deflexión de los dipolos. El hidrógeno tiende a entrelazarse con otros elementos, sin formar compuestos, solamente pseudo-compuestos de forma temporal. Cuando estos pseudo-compuestos son influenciados por un campo eléctrico o magnético causan una gran interacción con el oxígeno propiciando una mejor combustión".

Otro fabricante expone que estos dispositivos trabajan debido a que las moléculas de aire y combustible pueden ser polarizadas por fuerzas externas, el efecto es la creación de un campo magnético permanente creado por el movimiento de los electrones, que se encuentran en el último nivel, hacia niveles cuánticos más altos. Esto hace que las valencias que estaban compartiendo los átomos se rompan y pueda existir una asociación libre del combustible con los átomos del aire; aunado a que la polarización produce un alineamiento de las moléculas.

Capítulo 3. Dispositivos utilizados en el motor para reducir el consumo de combustible.

3.1.7 Dispositivos sobre la línea de combustible (metálicos).

Estos dispositivos contienen una cantidad de partículas de metales diferentes que son instalados en la línea del combustible y su función supuestamente es ionizar el combustible.

Un fabricante de esta clase de dispositivos asegura que en todo proceso eléctrico existe la formación de iones por lo tanto él aprovecha esto para aplicarlo a su dispositivo que trabaja con los cationes atraídos a la terminal negativa de la batería, que son atraídos al dispositivo mediante un oscilador y son juntados en un bloque de fibra (no especifica el material), después son transportados al cuerpo del motor y el vehículo mediante un alambre de hierro emplomado; y esto hace que se forme un campo alrededor del tanque de combustible, lo cual causa una perturbación en la carga molecular del combustible. Esto significa que las moléculas se separan ligeramente con lo cual al combinarse con el aire se requerirá de una menor cantidad de combustible.

3.1.8 Mejoradores de mezcla (debajo del carburador).

Estos dispositivos son montados entre el carburador y el múltiple de admisión y supuestamente mejoran la mezcla o la evaporización de la mezcla aire-combustible.

El ejemplo de uno de estos dispositivos consiste de una placa hecha de aluminio y que en su interior contiene cuatro láminas con diferentes aberturas, las cuales permiten mezclar los gases del múltiple de escape con la mezcla proveniente del carburador. La cantidad de gases del múltiple de escape que entran al dispositivo son controlados por un tornillo.

Otro dispositivo lo constituye una unidad, en la cual se encuentra un dispositivo eléctrico entre dos mallas muy finas, este dispositivo tiene la finalidad de restringir el paso del combustible con lo cual las gotas de combustible son interceptadas y atomizadas, creando una suspensión de partículas muy diminutas en el aire lo cual produce una bruma que es forzada a salir del dispositivo como un vórtice debido a la restricción. El calor suministrado al combustible por el dispositivo es suficiente para que este alcance una temperatura cercana a la de combustión, por lo que al llegar a la cámara de combustión el gradiente de temperaturas ya no será muy grande con lo cual se pretende lograr una mejor combustión.

Capítulo 3. Dispositivos utilizados en el motor para reducir el consumo de combustible.

Existe otro dispositivo similar al último solo que en vez de tener dos mallas finas tiene un Venturi el cual es más cerrado que el original, además cuenta con dos dispositivos eléctricos que calientan el flujo de combustible; con esto el fabricante pretende que no exista un exceso de combustible en las cámaras de combustión y esto lo consigue con un menor diámetro en el Venturi.

Algunos dispositivos están compuestos por dos mallas una de las cuales tiene una película de níquel y la otra tiene una película de cadmio; con esto se pretende lograr un efecto catalizador en la combustión.

3.1.9 Mejoradores de mezcla (Otros).

Estos dispositivos tienen la finalidad de hacer algunas modificaciones al sistema de admisión del vehículo. Y los podemos encontrar en diferentes presentaciones y con diferentes funciones pero siempre la misma finalidad a decir de sus fabricantes.

El ejemplo de uno de estos dispositivos son dos recubrimientos, uno de ellos sirve para aislar el múltiple de admisión y con esto lograr que no se pierda el calor y exista una mejor evaporización del combustible; el otro recubrimiento sirve para enfriar el múltiple de escape y el monoblock.

Otro dispositivo de esta clase son unas juntas que son instaladas entre el múltiple de admisión y las cabezas de los cilindros, estas juntas tienen perforaciones similares a las que tiene el múltiple original solo que con un tamaño menor de modo que se aumente la velocidad con la que pasa el combustible y se tenga un flujo turbulento con lo que la mezcla se hará más homogénea.

Existen dispositivos diferentes a estos que se encargan de controlar la válvula de aceleración o el ahogador. En el caso del ahogador, el dispositivo está compuesto de un resorte bi-metálico que tiene la función de controlar la abertura de esta válvula, esto se logra porque el resorte es calentado por medio de un dispositivo eléctrico en vez de que sea calentado por los gases de escape; a su vez este dispositivo es controlado por un sensor colocado en el block, de esta manera el sensor manda una señal cuando el motor ha alcanzado la temperatura adecuada para que se abra el ahogador y no se desperdicie más combustible.

Capítulo 3. Dispositivos utilizados en el motor para reducir el consumo de combustible.

3.1.10 Dispositivos que modifican el motor.

Estos dispositivos tienen la finalidad de hacer cambios físicos o de tipo mecánico al motor para poder lograr incrementar la eficiencia de éste.

De esta clase de dispositivos no se encuentran muchos en el mercado así que solo se dará el ejemplo de un dispositivo.

El dispositivo en cuestión desactiva la mitad de los cilindros de un motor, esto se consigue mediante el cierre de las válvulas de admisión y de escape, y lo hace mediante un mecanismo que puede ser activado manualmente, mecánicamente o eléctricamente por medio de controles que son colocados en el interior del vehículo.

Capítulo 4. Pruebas a dispositivos en un motor a gasolina.

En los momentos de crisis, sólo la imaginación es más importante que el conocimiento.
Albert Einstein

El objetivo de esta tesis es comprobar si realmente existe una disminución en el consumo de combustible cuando se utilizan los dispositivos que ya hemos mencionado en el capítulo anterior, para ello la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) ha proporcionado cinco dispositivos diferentes para que sean evaluados en el motor de gasolina del Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería.

Las pruebas realizadas a los dispositivos no pretenden ser un sistema de certificación o aprobación, sino simplemente tener una visión general del comportamiento que pueden presentar este tipo de dispositivos, que a decir de sus inventores o fabricantes pueden reducir el consumo específico de combustible en motores a gasolina y en algunos casos en motores a Diesel.

Otra restricción para esta tesis, es que no se realizaron pruebas a todas las clases de dispositivos, ya que en México no son comunes las diez clases de dispositivos reconocidas por la EPA, esto se debe a:

- Los altos costos que puede implicar la adquisición de un dispositivo.
- La serie de modificaciones que se tienen que realizar al motor original.
- O simplemente porque en México no se comercializan esa clase de dispositivos.

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS A DISPOSITIVOS EN LOS ESTADOS UNIDOS.

Así como la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos reconoce una clasificación de estos dispositivos, de igual manera ha desarrollado una serie de normas para poder determinar la efectividad de los dispositivos que se comercializan en ese país. En este caso las pruebas realizadas a los dispositivos incluyen la medición de dos o más de los siguientes parámetros:

1. Emisiones de gases contaminantes.
2. Emisiones de partículas suspendidas u otras emisiones.

3. Consumo de combustible.
4. Potencia, aceleración y desempeño del motor o vehículo.

Los gases contaminantes que son cuantificados se refieren a las emisiones que no son completamente quemadas de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOx). En ocasiones también pueden ser medidas las emisiones de sulfatos, aldehídos y otras emisiones que por lo general no representan un alto volumen. Estas emisiones son cuantificadas por medio de la Federal Test Procedure (FTP), en la cual los vehículos simulan el manejo en áreas urbanas.

El consumo de combustible es cuantificado tanto para velocidades y cargas propias de una zona urbana como para las que se presentan en una autopista. En este caso se utilizan dos pruebas la FTP y la HFET (Highway Fuel Economy Test) para poder obtener el consumo de combustible que es calculado a partir de los gases de escape usando el método de balanceo de carbono.

La potencia del motor es medida sobre el dinamómetro y solo es cuantificada cuando el dispositivo en cuestión señala que puede existir un incremento en la potencia que entrega el motor.

Los tiempos de aceleración pueden ser medidos tanto en el dinamómetro de chasis como en una prueba de campo.

4.1.1 Requisitos mínimos para implementar la prueba y conocer el consumo de combustible por parte de la EPA.

La norma para poder medir si verdaderamente existe una disminución en el consumo de combustible especifica las condiciones mínimas que se deben de observar para poder realizar esta prueba. Se requiere que los dispositivos sean probados en dos vehículos diferentes y la prueba se haga en tres ocasiones. El vehículo debe ser seleccionado de diferentes compañías y deberán de representar a los más vendidos en el país; cada vehículo deberá ser ajustado a las especificaciones originales del fabricante y tanto las emisiones como el consumo de combustible tendrán que estar dentro de los límites para los cuales el vehículo fue certificado.

Las pruebas serán realizadas una tras otra y se realizaran de acuerdo a las siguientes condiciones:

- a) Si en la instalación del dispositivo no se requiere de hacer algún ajuste al vehículo original (tiempo de avance, relación de mezcla, velocidad de ralentí, etc.) entonces se harán tres pruebas con las condiciones originales del vehículo y después se harán tres pruebas con el dispositivo ya colocado en el vehículo.
- b) Si la instalación del dispositivo requiere que se haga algún ajuste de los parámetros originales, entonces se realizaran tres pruebas con las condiciones originales, después se realizaran los ajustes necesarios y se instalará el dispositivo, hecho esto se procederá a realizar tres pruebas en estas condiciones, por último se desarrollaran tres pruebas solamente con los ajustes que se le hicieron al vehículo.

De igual manera si la acumulación de algún kilometraje es requerida para poder observar los efectos del dispositivo, ésta se mantendrá constante para todas las pruebas ya sea con dispositivo o sin éste.

Por último se deberán de realizar tres pruebas extras en cualquiera de los dos casos, para conocer si existe algún efecto negativo después de haber sido retirado el dispositivo.

4.1.2 Descripción de las pruebas aplicadas por la EPA.

- A. Federal Test Procedure (FTP): Se trata de una prueba normalizada que se realiza en un laboratorio que cuente con un dinamómetro de chasis y que éste sea capaz de reproducir las condiciones de una carretera así como el peso del vehículo, un sistema de muestreo de volumen constante y diferentes tipos de analizadores que cuantifiquen las emisiones contaminantes. Esta prueba trata de reproducir las condiciones que se tienen al manejar en zonas urbanas y consiste en simular el recorrido de 12 kilómetros de forma intermitente, con una velocidad promedio de 32 Km/h y una velocidad máxima de 91 Km/h. La prueba se realiza en un lapso de 23 minutos e incluye 18 pausas. Del tiempo total de la prueba aproximadamente 4 minutos son sin velocidad alguna con lo cual se trata de simular los semáforos. Como la prueba se realiza con el motor frío es

necesario repetir por lo menos los primeros 8 minutos de la prueba a fin de tener las condiciones de un motor que ha alcanzado su temperatura de funcionamiento.

- B. Highway Fuel Economy Test (HFET): Las condiciones para esta prueba son similares a la anterior, pero los ciclos de manejo son diferentes y trata de simular la situación al conducir en autopistas, por lo cual consiste de un recorrido de 16 kilómetros con una velocidad promedio de 77 Km/h y una velocidad máxima de 97 Km/h; la prueba se realiza en 13 minutos y no incluye ninguna pausa.

En las dos pruebas se determinará la cantidad de emisiones contaminantes.

4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS PRUEBAS APLICADAS PARA OBTENER LA CARACTERIZACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS EN ESTA TESIS.

La evaluación de estos dispositivos se realizó en un motor Ford que tiene acoplado un freno hidráulico a través de una flecha motriz, esto con la finalidad de reproducir las condiciones de carga que se pueden presentar en un vehículo que opera normalmente en carretera y se hará de acuerdo al procedimiento que será descrito a continuación.

Lo primero que se deberá hacer antes de encender el motor es revisar el sistema de enfriamiento tanto del motor como del freno para asegurarnos de que están abastecidos de agua a fin de evitar que sufran algún daño; en el caso del freno hidráulico la válvula de entrada deberá abrirse girando solamente un cuarto de vuelta, mientras que la válvula de salida deberá estar completamente abierta. Para el sistema de enfriamiento del motor solo se requiere que exista un flujo constante y se deberá tener cuidado de conservar un nivel mínimo en el tanque.

Después de esto se deberá verificar que el freno tenga una carga máxima de 5 Kg., puesto que un motor de combustión interna no es capaz de comenzar a operar con plena carga. De igual manera se constatará que la válvula de aceleración no se encuentra totalmente abierta y se mantendrá un nivel mínimo de gasolina en el tanque.

Capítulo 4. Pruebas a dispositivos en un motor a gasolina.

Una vez que se ha realizado esto se procederá a encender el motor con una carga mínima y una velocidad de 800 rpm's, estas condiciones se mantendrán hasta que el agua del sistema de enfriamiento alcance una temperatura aproximada a los 40 °C.

Después de que las condiciones de temperatura sean alcanzadas, se procederá a incrementar a 2300 rpm's la velocidad del motor conservando una carga mínima de 5 Kg., y se comenzará a realizar las pruebas.

Los parámetros a cuantificar son los siguientes:

- a. Tomar la lectura del cronómetro cada que el nivel del depósito de gasolina baje dos centímetros.
- b. Registrar la temperatura de salida de los gases de escape y la temperatura del agua a la salida del sistema de enfriamiento, esto se hará cada que el nivel del depósito baje cuatro centímetros.

La prueba consiste en tomar las mediciones de los parámetros señalados anteriormente cada vez que el consumo de combustible represente un volumen de 0.4 litros, manteniendo una velocidad constante de 2300 rpm's y variando la carga aplicada al freno desde 5 Kg. hasta 15 Kg., esto se hará con el dispositivo instalado y sin él. En el caso de la lectura del tiempo se hará en dos ocasiones por prueba, una cuando el volumen de consumo de combustible sea de 0.2 litros y la otra lectura cuando el consumo sea de 0.4 litros, para que poder descartar cualquier error.

Primero se hará la prueba sin el dispositivo instalado y con carga mínima, después de haber registrado las lecturas se procederá a instalar el dispositivo y la prueba será repetida bajo las mismas condiciones.

Una vez concluidas las dos pruebas se aumentará en 2 Kg. la carga del freno y se procederá de una manera similar a la explicada anteriormente hasta alcanzar una carga de 15 Kg., con lo cual concluirá la evaluación del dispositivo.

Para concluir el procedimiento la velocidad del motor tendrá que ser disminuida hasta las 1000 rpm's y simultáneamente se disminuirá la carga del freno hasta alcanzar los 5 Kg., estas condiciones se mantendrán hasta lograr una disminución de la temperatura del motor. Después de esto se podrá apagar el motor y se cerraran las válvulas de flujo de agua.

4.2.1 Características de los equipos utilizados en la evaluación.

Para poder realizar la evaluación de estos dispositivos se requirió del siguiente equipo:

1. Un cronómetro digital.

2. Motor de Combustión Interna Encendido por Chispa.

Marca:	FORD
Desplazamiento:	5750 cm ³ (351 Pulg. Cub.)
Tipo:	V-8; válvulas a la cabeza
Diámetro y carrera (cm):	10.2 x 8.9
Relación de compresión:	8.13 : 1 Nominal
Caballos de fuerza al freno:	182 a 3600 rpm
Par de fuerza a 2400 rpm:	43.2 Kg.-m (312 lb-pie)
Punterías:	Hidráulicas
Carburador:	2 Vénturis

3. Freno Hidráulico (Dinamómetro).

Marca:	Froude
Tipo:	DPX4
Carga máxima:	50 x 2 Kg.

4. Depósito de gasolina.

Con una base de 10 x 10 cm., y una altura de 40 cm.



Fig. 4.1 Banco de pruebas del Laboratorio de Máquinas Térmicas.

4.3 EVALUACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS.

A continuación se presentarán los resultados obtenidos en la evaluación de los diferentes dispositivos así como una breve descripción de estos.

4.3.1 Evaluación del dispositivo denominado MAGNETIZER.

Este producto pertenece a la clase de dispositivos colocados sobre la línea de combustible y que son magnetizadores.

A decir de los fabricantes el MAGNETIZER tiene la función de modificar las valencias de las moléculas en los fluidos energéticos, creando una mejor mezcla entre los hidrocarburos y el oxígeno con lo cual se pretende reducir las emisiones contaminantes y disminuir el consumo de combustible.

El MAGNETIZER consiste de un número de imanes permanentes de cerámica de bario-ferrita, simétricos, arreglados perpendicularmente al eje del conducto por el mismo polo, el opuesto es dirigido hacia afuera. Por lo cual solo un polo de los imanes actúa sobre el medio, el polo enfocado en el eje del fluido.

Este dispositivo fue colocado cerca del carburador del motor (fig. 4.1), sobre la línea que abastece combustible, como el dispositivo dispone de dos barras metálicas no es necesario sujetarlo por otros medios, luego se procedió a realizar las pruebas que nos permitieran conocer el comportamiento de éste, a continuación se presentará la tabla de las lecturas hechas con este dispositivo.

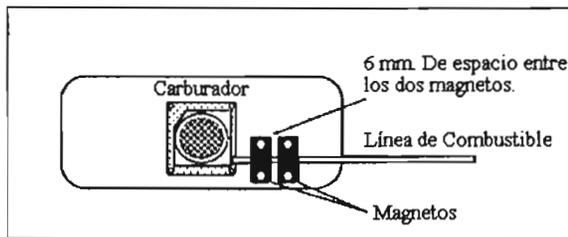


Fig. 4.1 Vista en planta del arreglo del Magnetizer.

**Capítulo 4. Pruebas a dispositivos
en un motor a gasolina.**

Prueba #	Fuerza (Kg.)	Tiempo (s)	Temperatura de agua de salida (° C)	Temperatura de gases de escape (° C)
1	5	93		
		185	47	470
2	7	86		
		173	46	480
3	9	79		
		159	47	490
4	11	72		
		149	49	505
5	13	62		
		129	50	530

Tabla 4.1 Lecturas obtenidas con el MAGNETIZER.

A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.

Prueba #	Fuerza (Kg.)	Tiempo (s)	Temperatura de agua de salida (° C)	Temperatura de gases de escape (° C)
1	5	94		
		189	48	445
2	7	85		
		171	46	480
3	9	78		
		156	47	490
4	11	71		
		142	49	505
5	13	64		
		128	50	520

Tabla 4.2 Lecturas obtenidas sin el dispositivo.

A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.

4.3.2 Evaluación del dispositivo denominado FUELEX.

Este producto al igual que el anterior pertenece a los magnetizadores. Por lo tanto su funcionamiento es el mismo y el objetivo por el cual fue construido es similar al anterior solo que en este caso el fabricante asegura que es mucho más potente el fenómeno de magnetización. La colocación del dispositivo es igual sobre la línea de combustible solo que en este caso se trata de una sola pieza y es sujeta a la línea por medio de un cincho de plástico.

A continuación se presentan las tablas con los datos que fueron obtenidos durante la evaluación.

Prueba #	Fuerza (Kg.)	Tiempo (s)	Temperatura de agua de salida (° C)	Temperatura de gases de escape (° C)
1	5	89		
		179	38	435
2	7	86		
		170	38	475
3	9	78		
		154	38	485
4	11	70		
		140	38	500
5	13	67		
		124	38	520
6	15	60		
		120	38	525

Tabla 4.3 Lecturas obtenidas con el FUELEX.

A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.

**Capítulo 4. Pruebas a dispositivos
en un motor a gasolina.**

Prueba #	Fuerza (Kg.)	Tiempo (s)	Temperatura de agua de salida (° C)	Temperatura de gases de escape (° C)
1	5	90		
		182	36	455
2	7	87		
		172	36	470
3	9	76		
		152	38	485
4	11	66		
		137	38	500
5	13	63		
		125	38	515
6	15	58		
		119	40	530

Tabla 4.4 Lecturas obtenidas sin el dispositivo.

A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.

4.3.3 Evaluación del dispositivo denominado EMPOBRECEDOR DE MEZCLA.

Este dispositivo permite una mayor entrada de aire con lo cual la mezcla aire-combustible será pobre y es colocado en la toma de aire adicional del motor, por lo cual aprovechará el vacío del múltiple de admisión. El dispositivo posee un filtro con lo cual no se permite la entrada de impurezas al múltiple.

Debido a que este dispositivo permite la entrada de una mayor cantidad de aire el comportamiento del motor se ve afectado y esto se pudo observar debido a la variación del número de revoluciones cuando se colocaba el dispositivo, ya que el motor en un principio fue calibrado para que trabajara a 2300 rpm's.

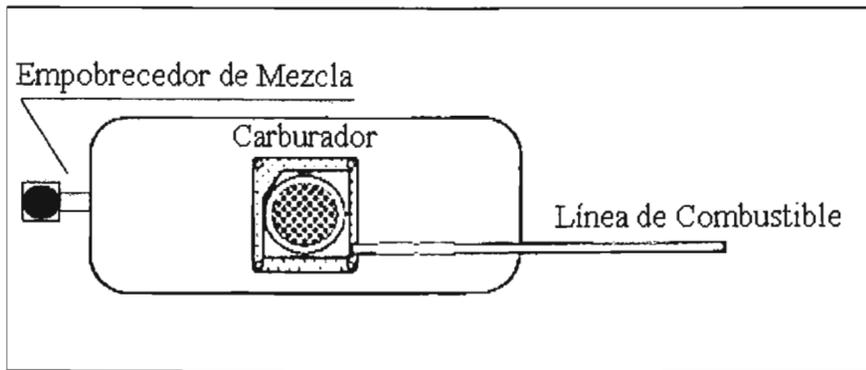


Fig. 4.2 Vista en planta del arreglo del Empobrecedor de Mezcla.

Prueba #	Fuerza (Kg.)	Tiempo (s)	Temperatura de agua de salida (° C)	Temperatura de gases de escape (° C)	Revoluciones por Minuto (RPM)
1	5	100			
		201	36	430	2100
2	7	85			
		170	36	470	2300
3	9	79			
		159	36	475	2200
4	11	73			
		145	36	490	2260
5	13	64			
		132	38	505	2300
6	15	60			
		123	38	515	2200

Tabla 4.5 Lecturas obtenidas con el EMPOBRECEDOR DE MEZCLA.

Con un volumen constante de 0.4 litros.

**Capítulo 4. Pruebas a dispositivos
en un motor a gasolina.**

Prueba #	Fuerza (Kg.)	Tiempo (s)	Temperatura de agua de salida (° C)	Temperatura de gases de escape (° C)	Presión en el Múltiple de Admisión (in)
1	5	104			
		204	36	415	15
2	7	84			
		173	36	460	13.8
3	9	80			
		159	36	475	12.5
4	11	70			
		141	36	485	11.6
5	13	65			
		130	38	500	10.8
6	15	60			
		120	38	510	9.6

Tabla 4.6 Lecturas obtenidas sin el dispositivo.

A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.

4.3.4. Evaluación del dispositivo denominado THE FORCE.

Este dispositivo pertenece a la clase de empobrecedores de mezcla en forma de vapor. Se trata de un tubo de nylon de 10 pulgadas de largo que contiene un catalizador que ataca al carbono que causa el deterioro del motor y se instala alrededor del filtro de aire del motor (fig. 4.3), el contenido se evapora y se mezcla con el aire que entra al carburador.

El aire que es mezclado con el *The Force* tarda más en quemarse y su combustión es más completa, con lo cual teóricamente se obtiene mayor potencia.

Capítulo 4. Pruebas a dispositivos en un motor a gasolina.

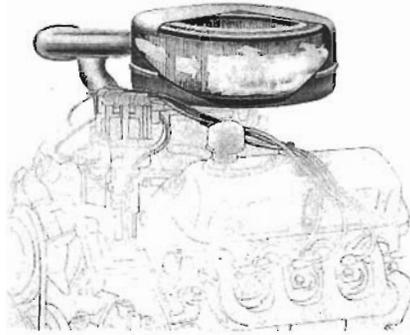


Fig. 4.3 Colocación del THE FORCE.

A continuación se presenta los resultados que se obtuvieron al evaluar este dispositivo en el motor.

Prueba #	Fuerza (Kg.)	Tiempo (s)	Temperatura de agua de salida (° C)	Temperatura de gases de escape (° C)
1	5	100		
		197	42	430
2	7	83		
		168	42	450
3	9	79		
		161	44	470
4	11	72		
		145	44	480
5	13	68		
		135	44	500
6	15	60		
		119	45	510

Tabla 4.7 Lecturas obtenidas con el THE FORCE.

A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.

**Capítulo 4. Pruebas a dispositivos
en un motor a gasolina.**

Prueba #	Fuerza (Kg.)	Tiempo (s)	Temperatura de agua de salida (° C)	Temperatura de gases de escape (° C)
1	4.5	100		
		197	40	410
2	7	82		
		166	42	460
3	9	78		
		157	42	465
4	11	72		
		146	44	485
5	13	66		
		132	44	495
6	15	60		
		120	45	515

Tabla 4.8 Lecturas obtenidas sin el dispositivo.

A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.

4.3.5. Evaluación del dispositivo denominado SIN-SMOG.

El último dispositivo evaluado permite mejorar la mezcla y se coloca debajo del carburador (fig. 4.4). Cuenta con una entrada de aire con lo cual se empobrecerá la mezcla aire-combustible, al mismo tiempo dispone de una rejilla con lo cual se verá obstruido el paso de la mezcla y ayudará a atomizar las gotas del combustible. La rejilla ayuda a crear un flujo turbulento con lo cual se pretende obtener una mezcla más uniforme.

**Capítulo 4. Pruebas a dispositivos
en un motor a gasolina.**

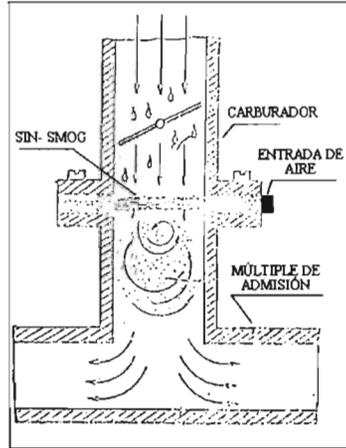


Fig. 4.4 Colocación del SIN-SMOG.

Resultados obtenidos en la evaluación del *Sin-Smog*.

Prueba #	Fuerza (Kg.)	Tiempo (s)	Temperatura de agua de salida (° C)	Temperatura de gases de escape (° C)
1	5	94		
		190	38	425
2	7	88		
		176	40	445
3	9	78		
		156	40	460
4	11	71		
		142	42	470
5	13	69		
		138	42	490
6	15	60		
		121	44	500

Tabla 4.9 Lecturas obtenidas con el SIN-SMOG.

A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.

**Capítulo 4. Pruebas a dispositivos
en un motor a gasolina.**

Prueba #	Fuerza (Kg.)	Tiempo (s)	Temperatura de agua de salida (° C)	Temperatura de gases de escape (° C)
1	5	91		
		185	36	430
2	7	83		
		170	40	455
3	9	79		
		161	42	460
4	11	72		
		143	42	475
5	13	65		
		132	44	490
6	15	61		
		124	44	500

Tabla 4.10 Lecturas obtenidas sin el dispositivo.

A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.

Capítulo 5. Análisis de resultados.

Las ciencias tienen las raíces amargas, pero muy dulces los frutos.

Aristóteles

5.1 PARÁMETROS PARA EVALUAR LOS DISPOSITIVOS.

Después de haber realizado las pruebas que nos ayudarán a caracterizar los dispositivos es necesario analizar las lecturas obtenidas ya que con la ayuda de éstas obtendremos parámetros que nos ayudarán a determinar la variación en el consumo de combustible y en la eficiencia.

Los parámetros para poder complementar la evaluación son los siguientes:

- a) Potencia al Freno: Nos indica la cantidad de trabajo por unidad de tiempo que un motor entrega en la flecha y se obtiene de la siguiente relación:

$$\dot{W}_b = T \cdot \omega \quad (\text{W}) \quad (5.1)$$

$$T = F \cdot d \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (5.2)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \quad (\text{rad/s}) \quad (5.3)$$

donde:

\dot{W}_b	-	potencia al freno	(W)
T	-	par torsional	(N·m)
ω	-	velocidad angular	(rad/s)
F	-	fuerza al freno	(N)
d	-	brazo de palanca	(m)
N	-	revoluciones por minuto	(rpm)

Sustituyendo en la ecuación (5.1) las ecuaciones (5.2) y la (5.3) obtenemos:

$$\dot{W}_b = \frac{F \cdot d \cdot 2\pi \cdot N}{60} \quad (5.4)$$

De acuerdo a las características del equipo tenemos que $d = 0.6411$ m, por lo tanto podemos agrupar los parámetros que son constantes y así obtener la constante del freno:

$$K = \frac{1}{\frac{d(2\pi)}{60}} = 14.8952 \quad (5.5)$$

Sustituyendo la constante al freno (5.5) en la ecuación (5.4) obtenemos:

$$\dot{W}_b = \frac{F \cdot N}{K} \quad (5.6)$$

- a) Gasto de combustible: Es el consumo por unidad de tiempo de combustible que requiere el motor en operación y se determina de la siguiente forma:

$$Gc = \frac{V \cdot \rho}{t} \quad (\text{kg/s}) \quad (5.7)$$

donde:

Gc	-	gasto de combustible	(kg/s)
V	-	volumen consumido	(dm ³)
ρ	-	densidad del combustible	(kg/dm ³)
t	-	tiempo	(s)

La densidad del combustible se considero de 0.734 (kg/dm³).

- b) Consumo específico de combustible: Éste parámetro nos ayuda a determinar con cuanta eficiencia un motor convierte la energía liberada por el combustible en trabajo.

$$CEC = \frac{Gc}{\dot{W}_b} \left(\frac{kg}{s-W} \right) \quad (5.8)$$

donde:

CEC	-	consumo específico de combustible	$\left(\frac{kg}{s-W} \right)$
Gc	-	gasto de combustible	(kg/s)
\dot{W}_b	-	potencia al freno	(W)

- c) Energía suministrada: Es la energía que libera el combustible por unidad de tiempo y que es entregada al motor.

$$Es = Gc \cdot PCA \quad (w) \quad (5.9)$$

donde:

Es	-	energía suministrada	(W)
Gc	-	gasto de combustible	(kg/s)
PCA	-	poder calorífico bajo del combustible	(J/kg)

El poder calorífico del combustible se considero de 44×10^6 (J/kg).

- d) Eficiencia térmica o total del motor: Es la relación que nos indica que porcentaje de potencia al freno se obtiene de la energía suministrada al motor.

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_b}{E_s} \cdot 100 \quad (5.10)$$

donde:

η_{th}	-	eficiencia total	(adimensional)
\dot{W}_b	-	potencia al freno	(W)
E_s	-	energía suministrada	(W)

Con las fórmulas anteriores se obtendrán los valores de los parámetros mencionados y se elaborarán tablas de la evaluación de cada uno de los dispositivos.

Para cada dispositivo se elaborarán dos tablas, una que muestre los valores obtenidos cuando el motor funciona con el dispositivo y la otra con el motor funcionando con el equipo original, de esta forma podremos observar la variación en el comportamiento de los parámetros que caracterizan al motor.

Después de haber obtenido las tablas se harán dos tipos de gráficas para todos los dispositivos con lo cual podremos tener un panorama más general del comportamiento de este tipo de artefactos. En la primera gráfica obtendremos la línea Willans; esta línea nos indica el gasto de combustible bajo diferentes condiciones de carga en un motor, manteniendo las revoluciones del motor constantes. La segunda gráfica nos relaciona el consumo específico con la potencia.

A continuación presentaremos las tablas y gráficas de cada dispositivo.

# Prueba	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Temperatura de Agua de Salida (° C)	Temperatura de Gases de Salida (° C)	Potencia al Freno (W)	Gasto de Combustible (kg/s)	Consumo Específico de Combustible (kg/s - W)	Energía Suministrada (W)	Eficiencia Total del Motor
1	49.05	185	47	470	7573.92	1.5870E-03	2.0954E-07	69829.19	10.09
2	68.67	173	46	480	10603.48	1.6971E-03	1.6005E-07	74672.83	13.21
3	88.29	159	47	490	13633.05	1.8465E-03	1.3545E-07	81247.80	15.61
4	107.91	149	49	505	16662.62	1.9705E-03	1.1826E-07	86700.67	17.88
5	127.53	129	50	530	19692.18	2.2760E-03	1.1558E-07	100142.64	18.29

*Tabla 5.1 Parámetros obtenidos con el MAGNETIZER.
A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.*

# Prueba	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Temperatura de Agua de Salida (° C)	Temperatura de Gases de Salida (° C)	Potencia al Freno (W)	Gasto de Combustible (kg/s)	Consumo Específico de Combustible (kg/s - W)	Energía Suministrada (W)	Eficiencia Total del Motor
1	49.05	189	48	445	7573.92	1.5534E-03	2.0510E-07	68351.32	10.31
2	68.67	171	46	480	10603.48	1.7170E-03	1.6192E-07	75546.20	13.06
3	88.29	156	47	490	13633.05	1.8821E-03	1.3805E-07	82810.26	15.31
4	107.91	142	49	505	16662.62	2.0676E-03	1.2409E-07	90974.65	17.04
5	127.53	128	50	520	19692.18	2.2938E-03	1.1648E-07	100925.00	18.15

*Tabla 5.2 Parámetros obtenidos sin el MAGNETIZER.
A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.*

# Prueba	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Temperatura de Agua de Salida (° C)	Temperatura de Gases de Salida (° C)	Potencia al Freno (W)	Gasto de Combustible (kg/s)	Consumo Específico de Combustible (kg/s - W)	Energía Suministrada (W)	Eficiencia Total del Motor
1	49.05	179	38	435	7573.92	1.6402E-03	2.1656E-07	77582.57	9.76
2	68.67	170	38	475	10603.48	1.7271E-03	1.6288E-07	81689.88	12.98
3	88.29	154	38	485	13633.05	1.9065E-03	1.3984E-07	90177.14	15.12
4	107.91	140	38	500	16662.62	2.0971E-03	1.2586E-07	99194.86	16.80
5	127.53	124	38	520	19692.18	2.3677E-03	1.2024E-07	111994.19	17.58
6	147.15	120	38	525	22721.75	2.4467E-03	1.0768E-07	115727.33	19.63

Tabla 5.3 Parámetros obtenidos con el THE FORCE.
A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.

# Prueba	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Temperatura de Agua de Salida (° C)	Temperatura de Gases de Salida (° C)	Potencia al Freno (W)	Gasto de Combustible (kg/s)	Consumo Específico de Combustible (kg/s - W)	Energía Suministrada (W)	Eficiencia Total del Motor
1	49.05	182	36	455	7573.92	1.6132E-03	2.1299E-07	76303.74	9.93
2	68.67	172	36	470	10603.48	1.7070E-03	1.6098E-07	80740.00	13.13
3	88.29	152	38	485	13633.05	1.9316E-03	1.4168E-07	91363.68	14.92
4	107.91	137	38	500	16662.62	2.1431E-03	1.2862E-07	101367.01	16.44
5	127.53	125	38	515	19692.18	2.3488E-03	1.1928E-07	111098.24	17.73
6	147.15	119	40	530	22721.75	2.4672E-03	1.0858E-07	116699.83	19.47

Tabla 5.4 Parámetros obtenidos sin el THE FORCE.
A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

# Prueba	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Temperatura de Agua de Salida (° C)	Temperatura de Gases de Salida (° C)	Revoluciones por Minuto (RPM)	Potencia al Freno (W)	Gasto de Combustible (kg/s)	Consumo Específico de Combustible (kg/s - W)	Energía Suministrada (W)	Eficiencia Total del Motor
1	49.05	201	36	430	2100	6915.32	1.4607E-03	2.1123E-07	69090.95	10.01
2	68.67	170	36	470	2300	10603.48	1.7271E-03	1.6288E-07	81689.88	12.98
3	88.29	159	36	475	2200	13040.31	1.8465E-03	1.4160E-07	87341.38	14.93
4	107.9	145	36	490	2260	16372.83	2.0248E-03	1.2367E-07	95774.34	17.10
5	127.5	132	38	505	2300	19692.18	2.2242E-03	1.1295E-07	105206.67	18.72
6	147.2	123	38	515	2200	21733.85	2.3870E-03	1.0983E-07	112904.72	19.25

Tabla 5.5 Parámetros obtenidos con el EMPOBRECEDOR DE MEZCLA.
Con un volumen constante de 0.4 litros.

# Prueba	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Temperatura de Agua de Salida (° C)	Temperatura de Gases de Salida (° C)	Presión en el Múltiple de Admisión (in)	Potencia al Freno (W)	Gasto de Combustible (kg/s)	Consumo Específico de Combustible (kg/s - W)	Energía Suministrada (W)	Eficiencia Total del Motor
1	49.05	204	36	415	15	7573.92	1.4392E-03	1.9002E-07	68074.90	11.13
2	68.67	173	36	460	13.8	10603.48	1.6971E-03	1.6005E-07	80273.29	13.21
3	88.29	159	36	475	12.5	13633.05	1.8465E-03	1.3545E-07	87341.38	15.61
4	107.9	141	36	485	11.6	16662.62	2.0823E-03	1.2497E-07	98491.35	16.92
5	127.5	130	38	500	10.8	19692.18	2.2585E-03	1.1469E-07	106825.23	18.43
6	147.2	120	38	510	9.6	22721.75	2.4467E-03	1.0768E-07	115727.33	19.63

Tabla 5.6 Parámetros obtenidos sin el EMPOBRECEDOR DE MEZCLA.
Con un volumen constante de 0.4 litros.

# Prueba	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Temperatura de Agua de Salida (° C)	Temperatura de Gases de Salida (° C)	Potencia al Freno (W)	Gasto de Combustible (kg/s)	Consumo Específico de Combustible (kg/s - W)	Energía Suministrada (W)	Eficiencia Total del Motor
1	49.05	197	42	430	7573.92	1.4904E-03	1.9677E-07	70493.81	10.74
2	68.67	168	42	450	10603.48	1.7476E-03	1.6482E-07	82662.38	12.83
3	88.29	161	44	470	13633.05	1.8236E-03	1.3376E-07	86256.40	15.81
4	107.91	145	44	480	16662.62	2.0248E-03	1.2152E-07	95774.34	17.40
5	127.53	135	44	500	19692.18	2.1748E-03	1.1044E-07	102868.74	19.14
6	147.15	119	45	510	22721.75	2.4672E-03	1.0858E-07	116699.83	19.47

*Tabla 5.7 Parámetros obtenidos con el THE FORCE.
A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.*

# Prueba	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Temperatura de Agua de Salida (° C)	Temperatura de Gases de Salida (° C)	Potencia al Freno (W)	Gasto de Combustible (kg/s)	Consumo Específico de Combustible (kg/s - W)	Energía Suministrada (W)	Eficiencia Total del Motor
1	49.05	197	40	410	7573.92	1.4904E-03	1.9677E-07	70493.81	10.74
2	68.67	166	42	460	10603.48	1.7687E-03	1.6680E-07	83658.31	12.67
3	88.29	157	42	465	13633.05	1.8701E-03	1.3717E-07	88454.01	15.41
4	107.91	146	44	485	16662.62	2.0110E-03	1.2069E-07	95118.36	17.52
5	127.53	132	44	495	19692.18	2.2242E-03	1.1295E-07	105206.67	18.72
6	147.15	120	45	515	22721.75	2.4467E-03	1.0768E-07	115727.33	19.63

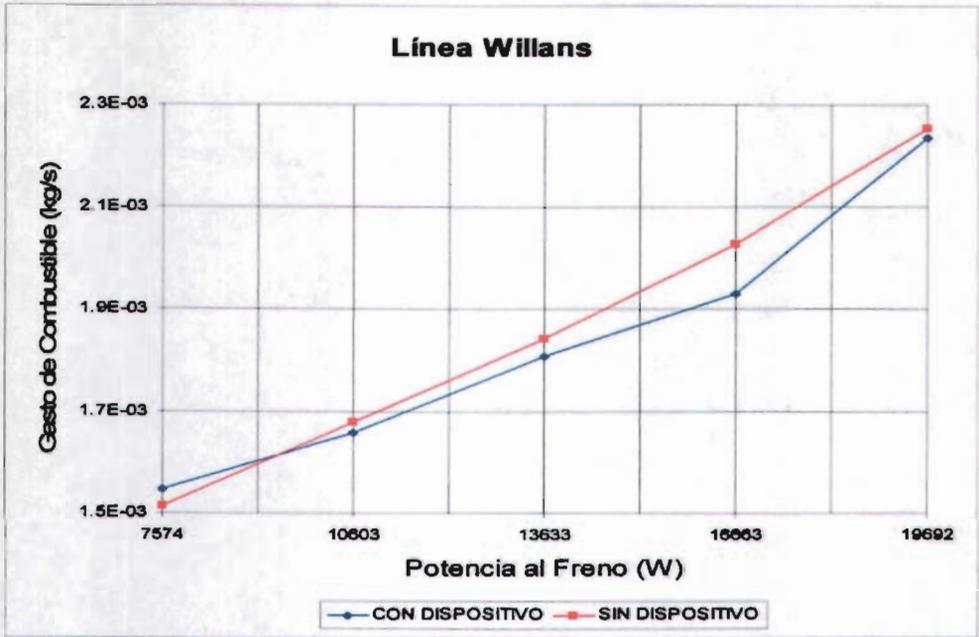
*Tabla 5.8 Parámetros obtenidos sin el THE FORCE.
A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.*

# Prueba	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Temperatura de Agua de Salida (° C)	Temperatura de Gases de Salida (° C)	Potencia al Freno (W)	Gasto de Combustible (kg/s)	Consumo Específico de Combustible (kg/s - W)	Energía Suministrada (W)	Eficiencia Total del Motor
1	49.05	190	38	425	7573.92	1.5453E-03	2.0402E-07	73090.95	10.36
2	68.67	176	40	445	10603.48	1.6682E-03	1.5732E-07	78905.00	13.44
3	88.29	156	40	460	13633.05	1.8821E-03	1.3805E-07	89021.03	15.31
4	107.91	142	42	470	16662.62	2.0676E-03	1.2409E-07	97797.75	17.04
5	127.53	138	42	490	19692.18	2.1275E-03	1.0804E-07	100632.46	19.57
6	147.15	121	44	500	22721.75	2.4264E-03	1.0679E-07	114770.91	19.80

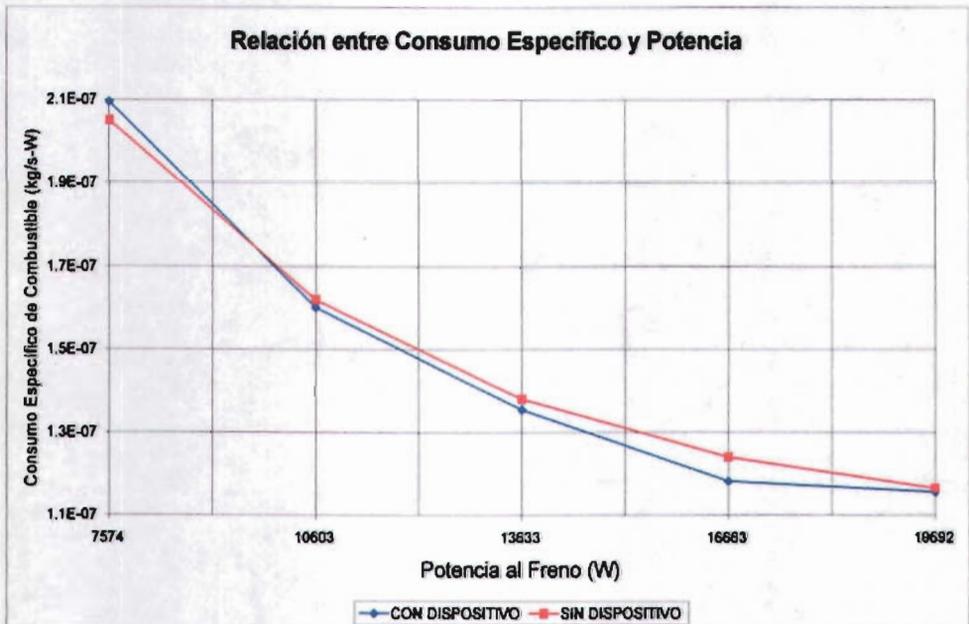
*Tabla 5.9 Parámetros obtenidos con el SIN-SMOG.
A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.*

# Prueba	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Temperatura de Agua de Salida (° C)	Temperatura de Gases de Salida (° C)	Potencia al Freno (W)	Gasto de Combustible (kg/s)	Consumo Específico de Combustible (kg/s - W)	Energía Suministrada (W)	Eficiencia Total del Motor
1	49.05	185	36	430	7573.92	1.5870E-03	2.0954E-07	75066.38	10.09
2	68.67	170	40	455	10603.48	1.7271E-03	1.6288E-07	81689.88	12.98
3	88.29	161	42	460	13633.05	1.8236E-03	1.3376E-07	86256.40	15.81
4	107.91	143	42	475	16662.62	2.0531E-03	1.2322E-07	97113.85	17.16
5	127.53	132	44	490	19692.18	2.2242E-03	1.1295E-07	105206.67	18.72
6	147.15	124	44	500	22721.75	2.3677E-03	1.0421E-07	111994.19	20.29

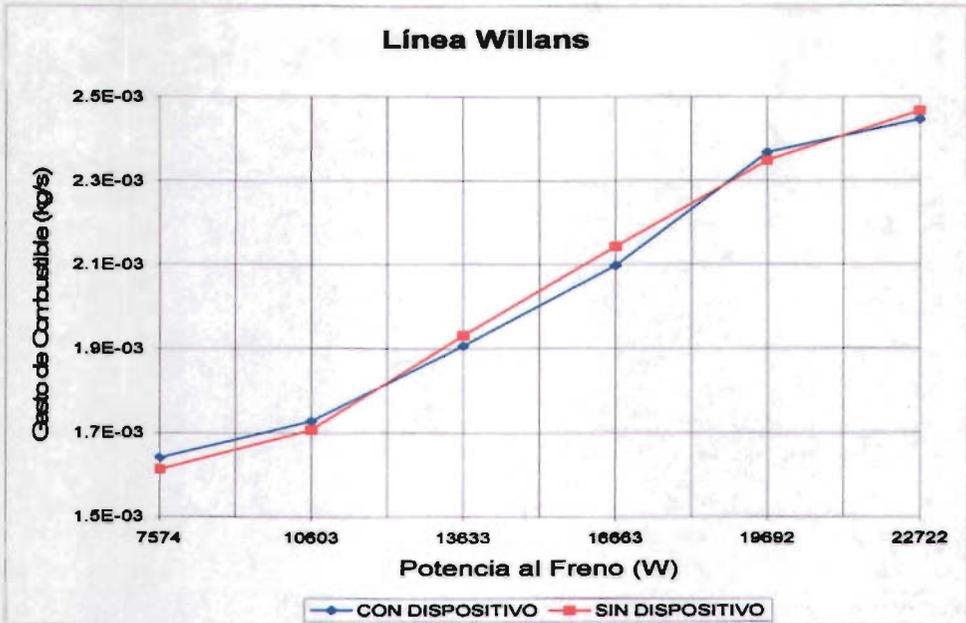
*Tabla 5.10 Parámetros obtenidos sin el SIN-SMOG.
A 2300 rpm's y con un volumen constante de 0.4 litros.*



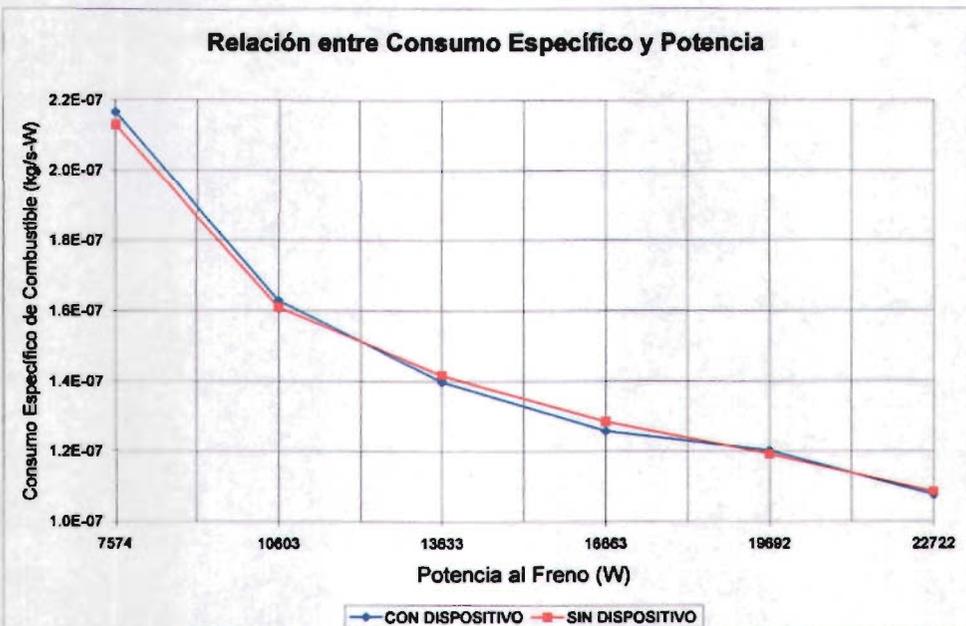
Gráfica 5.1 Línea Willans para el MAGNETIZER.



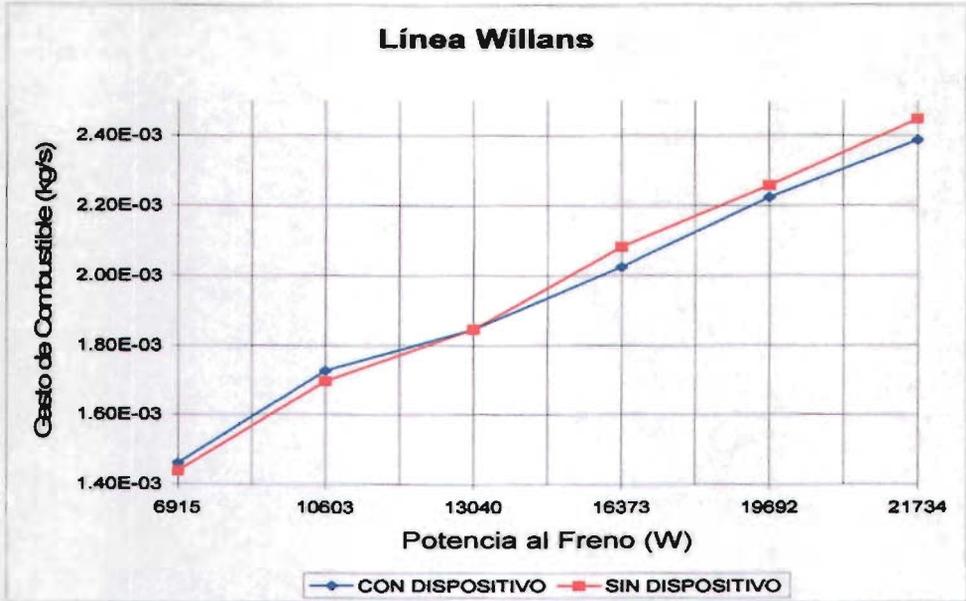
Gráfica 5.2 Relación entre Consumo Específico y Potencia para el MAGNETIZER.



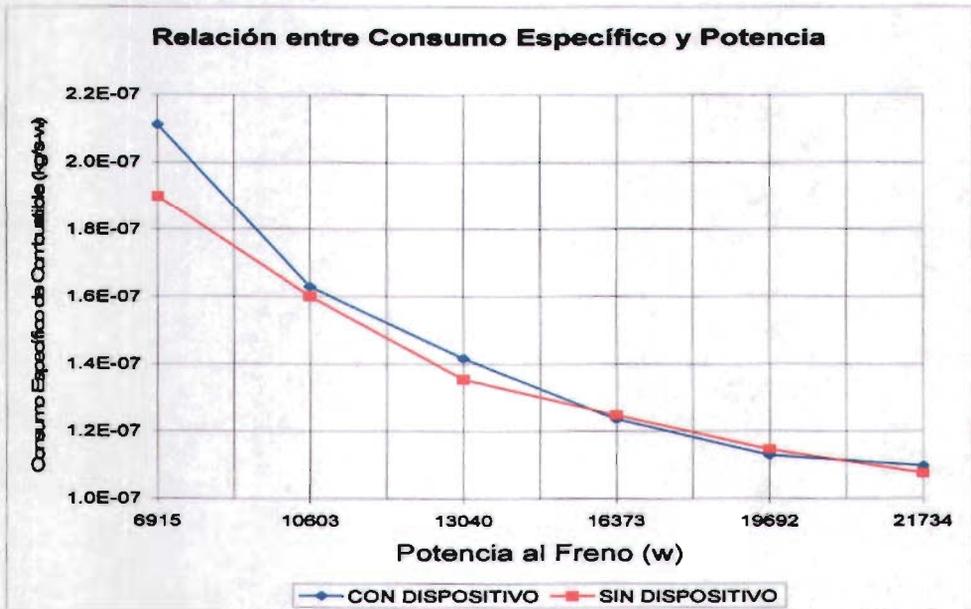
Gráfica 5.3 Línea Willans para el FUELEX.



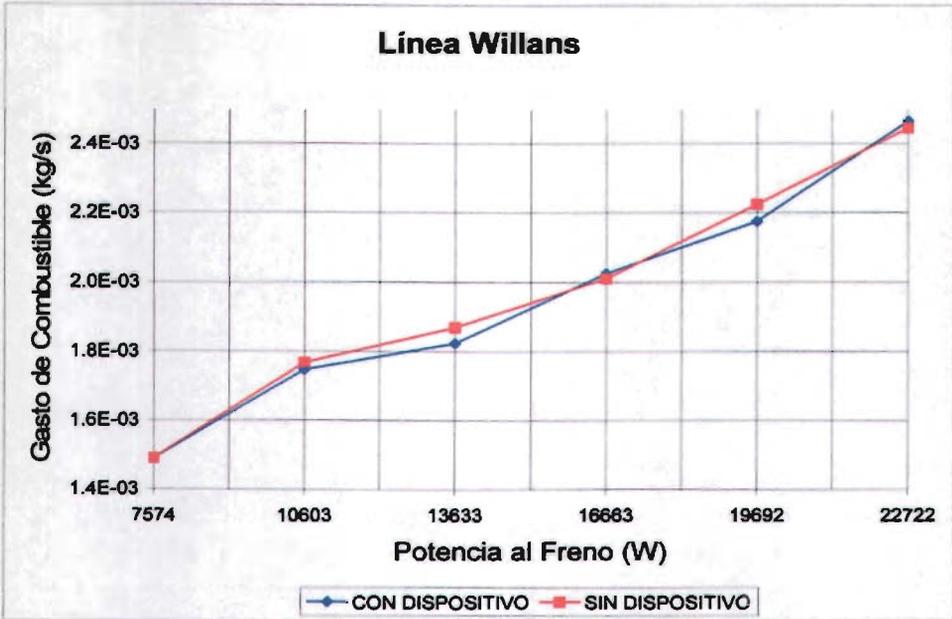
Gráfica 5.4 Relación entre Consumo Específico y Potencia para el FUELEX.



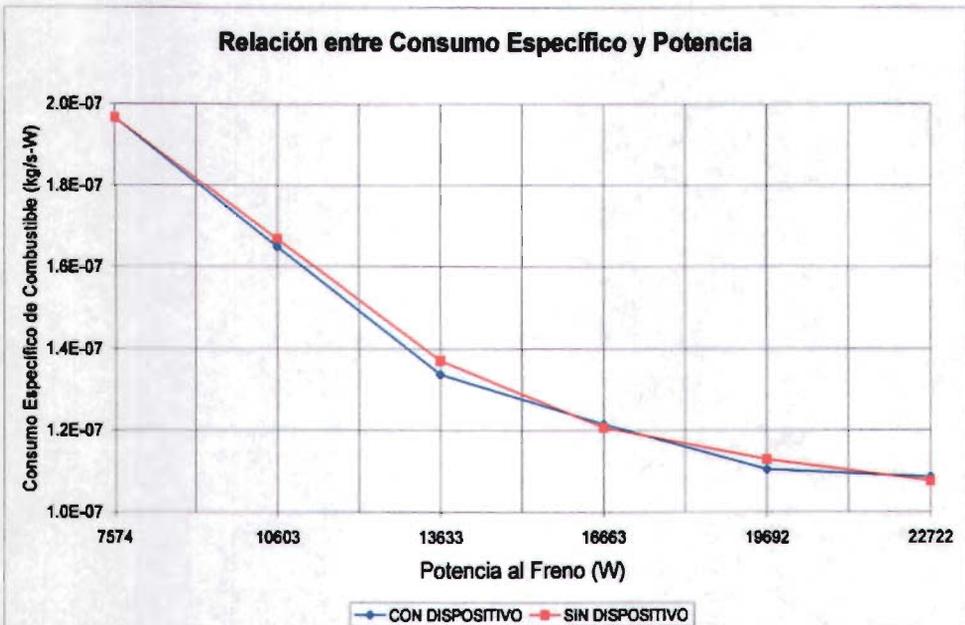
Gráfica 5.5 Línea Willans para el EMPOBRECEDOR DE MEZCLA.



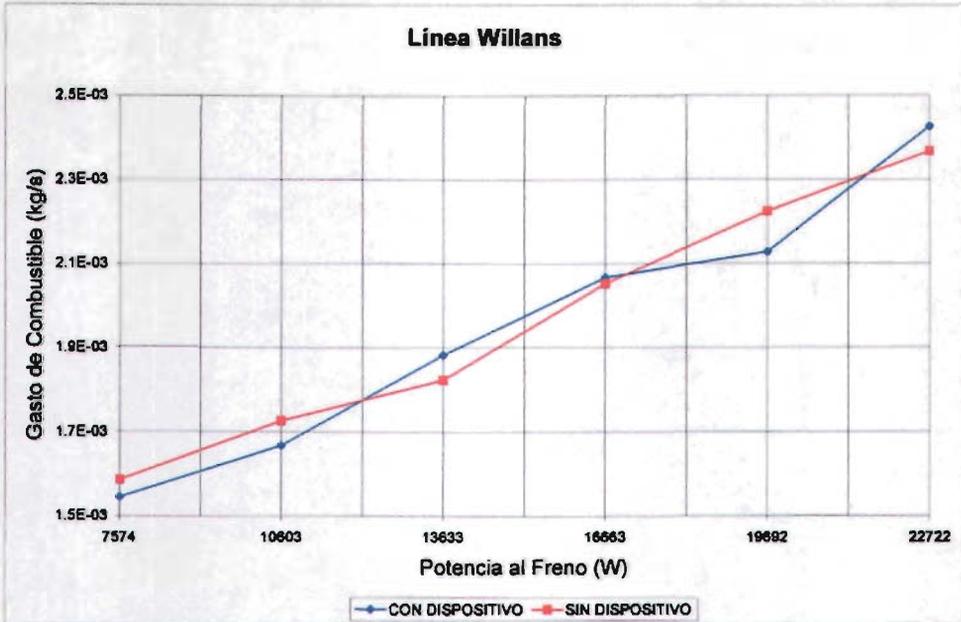
Gráfica 5.6 Relación entre Consumo Específico y Potencia para el EMPOBRECEDOR DE MEZCLA.



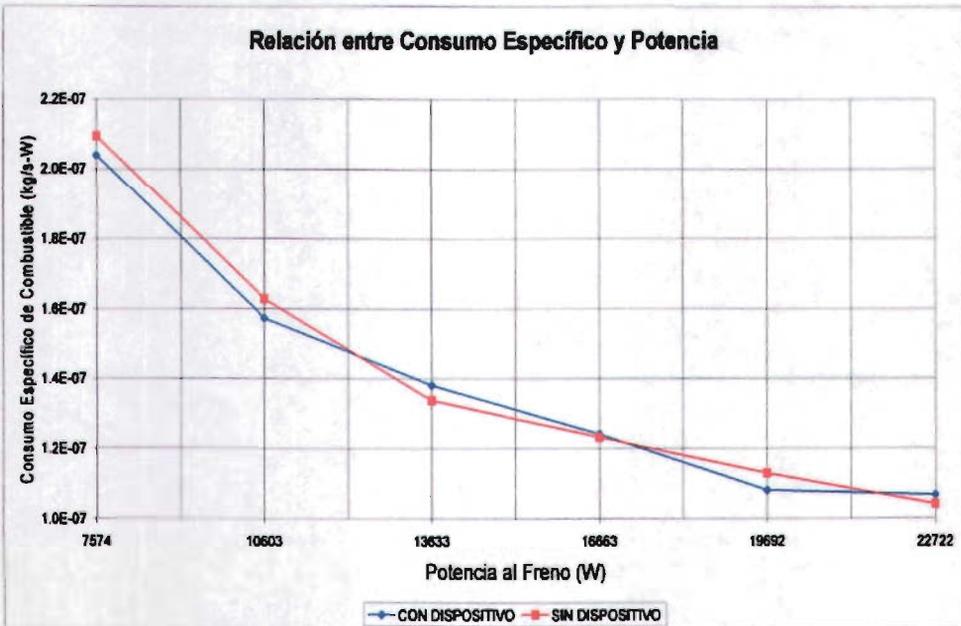
Gráfica 5.7 Línea Willans para el THE FORCE.



Gráfica 5.8 Relación entre Consumo Específico y Potencia para el THE FORCE.



Gráfica 5.9 Línea Willans para el SIN-SMOG.



Gráfica 5.10 Relación entre Consumo Específico y Potencia para el SIN-SMOG.

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones.

Una opinión equivocada puede ser tolerada donde la razón es libre de combatirla.

Thomas Jefferson

6.1 CARACTERÍSTICAS QUE DEBE CUMPLIR UN DISPOSITIVO.

La última parte de esta tesis consiste en generar una conclusión de las tablas y gráficas obtenidas en la evaluación de cada dispositivo, a fin de determinar si en verdad existe un ahorro en el consumo de combustible.

A pesar de que es muy difícil predecir el comportamiento de todos los dispositivos que podemos encontrar en el mercado, nos podemos dar una idea de cuales pueden ser los resultados, si es que optamos por instalar un dispositivo en nuestro vehículo, de acuerdo a ciertos parámetros que han sido adoptados para la evaluación de este tipo de dispositivos; de igual forma podemos determinar si es que el dispositivo en cuestión ayudará a disminuir el consumo, con el simple hecho de conocer cuales son las bases de su funcionamiento, ya que la gran mayoría de estos, se comercializan bajo distinto nombre y presentación pero su funcionamiento es el mismo, por lo cual se puede concluir que presentan el mismo comportamiento.

La EPA ha establecido algunas condiciones que permiten determinar si el dispositivo en cuestión cumple su función. Estas condiciones fueron escogidas para asegurarse de dos cosas, tanto la agencia como el fabricante, que existe una diferencia real en el consumo de combustible y que no solo se observa la variación de resultados. Como anteriormente se menciono, para que esta clase de dispositivos puedan ser evaluados por la EPA deben de probarse mínimo en dos vehículos diferentes; asumiendo lo anterior, la agencia establece que debe de existir como mínimo una diferencia del 8% en el promedio de consumo de combustible en las dos unidades, para que se pueda concluir con un 80% de confiabilidad, que en verdad los dispositivos cumplen con la función de ahorrar combustible en un motor de combustión interna. De igual forma la agencia establece ciertos valores cuando los dispositivos han de ser probados en flotas vehiculares y son los siguientes:

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones.

Tamaño de la Flota	Promedio de mejoramiento en el consumo requerido
2	8%
3	7%
4	6%
5	5%
10	4%
25	2%

Tabla 6.1 Valores promedio de mejoramiento en el consumo requerido.

En el caso de México, la CONAE a través de su Grupo de Evaluación de Dispositivos para el ahorro de energía, establece que para que un dispositivo pueda ser considerado como ahorrador de combustible debe de representar al menos un 8% de ahorro en el consumo de combustible. Este valor toma en cuenta una serie de factores que alteran las pruebas realizadas para la evaluación del dispositivo, en primer lugar se debe tener en cuenta que las condiciones que se establecen en el laboratorio no son del todo comparables con las que se presentan en la realidad debido a que:

- Las condiciones ambientales no son iguales en todas las partes del país, por lo que el rendimiento del motor se ve afectado.
- Las pruebas realizadas se efectúan a una altura constante, cosa que en la realidad no se presenta, debido a los cambios de altitudes.
- En México no se tiene una cultura de dar un mantenimiento preventivo y correctivo a los vehículos, por lo cual los motores no siempre se encuentran en condiciones óptimas de operación.
- La composición de los combustibles puede variar, modificando la eficiencia del proceso de combustión.
- Las condiciones de los caminos en México no son siempre los ideales como en un laboratorio, en ocasiones se puede presentar una gran resistencia al rodamiento debido al mal estado que guardan los caminos.

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones.

En segundo lugar debemos tener en cuenta que durante la prueba existen errores de diverso tipo, por lo cual se debe de considerar un margen de error; estos errores se pueden presentar en las mediciones debido a:

- La resolución que presente el equipo.
- Un error de paralaje.
- La falta de exactitud en las mediciones realizadas.

Otro aspecto a considerar, dentro de este porcentaje, es el propio dispositivo ya que puede presentar características diferentes al resto del lote fabricado.

Para poder realizar las conclusiones de cada dispositivo analizado es preciso hacer una comparación de la variación en el consumo de combustible, con y sin dispositivo, después de esto es necesario realizar un promedio del porcentaje de la variación en el consumo; para verificar cual es el comportamiento general del dispositivo. El porcentaje se calculará de la siguiente manera:

$$\%VCC = \frac{G_c CD - G_c SD}{G_c SD} \times 100$$

donde:

- $\%VCC$ - Porcentaje de la variación en el consumo de combustible
- $G_c CD$ - Gasto de combustible con dispositivo
- $G_c SD$ - Gasto de combustible sin dispositivo

Mientras que el promedio del porcentaje de variación se calculará de la siguiente manera:

$$promedio = \frac{\sum_{k=1}^n (\%Variación)_k}{n}$$

6.2 CONCLUSIONES PARA EL DISPOSITIVO DENOMINADO MAGNETIZER.

De las gráficas 5.1 y 5.2 podemos observar el comportamiento que presenta el dispositivo al ser instalado en el motor. En la primera prueba presenta un mayor consumo de combustible, conforme se va aumentando la carga al motor se puede observar un ligero porcentaje en el ahorro de combustible, llegando éste a su máximo cuando la potencia al freno es de 16,663 (W) y esto representa una variación del 4.7% en el consumo con respecto al motor sin dispositivo; después de que alcanza su máximo las líneas tienden a igualarse.

6.3 CONCLUSIONES PARA EL DISPOSITIVO DENOMINADO FUELEX.

El comportamiento de este dispositivo lo podemos observar en las gráficas 5.3 y 5.4; en éstas se ve que en las dos primeras pruebas existe un mayor consumo con el dispositivo aunque muy ligero; para la tercera y cuarta prueba se puede observar una pequeña contribución al ahorro de combustible llegando a su máximo cuando la potencia al freno es de 16,663 (W) lo cual representa una variación del 2.14%, después de esta prueba el funcionamiento del motor con el dispositivo consume más combustible y en la última prueba existe un pequeño ahorro de combustible.

6.4 CONCLUSIONES PARA EL DISPOSITIVO DENOMINADO EMPOBRECEDOR DE MEZCLA.

Las gráficas 5.5 y 5.6 nos presentan el comportamiento de este dispositivo, como se mencionó en el capítulo 4 este dispositivo permite la entrada de aire al múltiple de admisión con lo cual teóricamente habrá una mayor eficiencia puesto que se quemará todo el combustible y se aprovechará al máximo la energía liberada, pero a su vez esto trae como consecuencia una disminución en la potencia que suministra el motor. El dispositivo presenta un comportamiento similar a los otros dos, en las primeras dos pruebas existe un

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones.

mayor consumo, para la tercera prueba se igualan los consumos, después de esto se presenta una ligera variación a favor, llegando a ser del 2.76%.

A su vez se puede observar, de la tabla 6.1, que existe una pérdida en la potencia al freno muy grande al principio, pero en el consumo de combustible esta diferencia no se refleja por lo cual podemos concluir que este dispositivo no contribuye a un ahorro y por el contrario contribuye a una pérdida de potencia.

# Prueba	Variación de Potencia al Freno (%)
1	-8.70
2	0.00
3	-4.35
4	-1.74
5	0.00
6	-4.35
Promedio de Variación	-3.188

Tabla 6.1 Variación de la potencia al freno con el EMPOBRECEDOR DE MEZCLA.

6.5 CONCLUSIONES PARA EL DISPOSITIVO DENOMINADO THE FORCE.

De este dispositivo podemos observar de las gráficas 5.7 y 5.8 que en la mayor parte de su operación tiende a comportarse con una ligera contribución en el ahorro del consumo de combustible, pero de ninguna manera representa un ahorro real. Este dispositivo al contrario de los demás no presenta un ahorro cuando la potencia al freno es de 16,663 (W) y en la primera prueba se comporta de la misma manera que sino tuviera instalado el dispositivo.

6.6 CONCLUSIONES PARA EL DISPOSITIVO DENOMINADO SIN-SMOG.

En las gráficas 5.9 y 5.10 podemos observar que el dispositivo presenta un comportamiento diferente a los demás, puesto que las variaciones en el consumo son más grandes, pero se presentan tanto en ahorro como en un mayor consumo, por lo tanto al hacer un promedio, de estos valores, representan un porcentaje muy bajo por lo cual no se puede considerar que este dispositivo sea un ahorrador de combustible.

El mejor ahorro en combustible lo presenta con una potencia de 19,692 (W) siendo de 4.35 % el valor; después de esto presenta un mayor consumo de combustible.

6.7 CONCLUSIONES GENERALES.

De la tabla 6.2 se puede observar que ninguno de los dispositivos se acerca al valor establecido por la CONAE para que pueda ser considerado un dispositivo para el ahorro de combustible. De todos el que tiene un mejor comportamiento es el MAGNETIZER con un valor promedio de 1.27%; valor que no representa ni el 20% de lo requerido; los demás dispositivos presentan un pésimo comportamiento, ya que no sobrepasan ni siquiera la unidad porcentual.

Solamente el dispositivo denominado SIN-SMOG presenta un ahorro de combustible en la primera prueba, esto es cuando la carga demandada al motor es de 5 Kg.; los demás dispositivos consumen una cantidad mayor de gasolina.

De igual forma se puede observar que el rango en el cual los dispositivos se comportan mejor es cerca de los 20,000 (W) de potencia al freno, esto es entre la cuarta y la quinta prueba, después de que pasan este valor tienden a igualarse las líneas de consumo.

Por lo tanto como conclusión general se puede establecer que ninguno de los dispositivos que nos venden representan un beneficio para el usuario, ya que la mayoría de los fabricantes e inventores aseguran que uno se puede ahorrar hasta un 10% de combustible, pero de las evaluaciones realizadas se puede observar en la tabla 6.2 que el promedio de variación en el consumo de combustible no supera el valor del 1.5%, por lo

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones.

tanto si en condiciones casi ideales no se cumple esto, no podemos esperar que se cumpla bajo condiciones reales.

# Prueba	Porcentaje de Variación en el Consumo de Combustible (%)				
	<u>MAGNETIZER</u>	<u>FUELEX</u>	<u>EMPOBRECEDOR DE MEZCLA</u>	<u>THE FORCE</u>	<u>SIN SMOG</u>
1	-2.16	-1.68	-1.49	0.00	2.63
2	1.16	-1.18	-1.76	1.19	3.41
3	1.89	1.30	0.00	2.48	-3.21
4	4.70	2.14	2.76	-0.69	-0.70
5	0.78	-0.81	1.52	2.22	4.35
6	—	0.83	2.44	-0.84	-2.48
Promedio de Variación	1.27	0.103	0.576	0.728	0.667

Tabla 6.2 Variación en el consumo de combustible de los cinco dispositivos evaluados.

6.8 RECOMENDACIONES.

Las pruebas que se hicieron para la evaluación de los dispositivos en esta tesis únicamente se realizaron en un motor de combustión interna carburado, por lo cual se recomienda que para evaluaciones posteriores se realicen en un motor que disponga de un sistema de inyección de combustible, ya que son los que se comercializan actualmente; aunque los resultados de esta tesis se pueden extrapolar para esa clase de motores. Puesto que estos sistemas de inyección cuentan con muchas mejoras que aumentan la eficiencia del proceso de combustión cabe la duda de que esta clase de dispositivos puedan cumplir mejor su función.

Otro aspecto a considerar es que las pruebas se realizaron en un motor que esta acoplado a un freno hidráulico, que puede reproducir las condiciones que se presentan en los caminos, pero de ninguna manera las condiciones son 100% iguales; por lo cual se

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones.

recomienda establecer las condiciones para poder realizar una prueba en un vehículo en un dinamómetro de chasis.

De igual manera es recomendable hacer las evaluaciones disponiendo de varios dispositivos iguales, para poder eliminar el error que puede haber en un solo dispositivo; ya que se puede tomar un dispositivo que este dañado o que no cumpla su función.

Y por último para los usuarios de vehículos lo más recomendable es: mantener sus unidades en excelentes condiciones mecánicas para que no existan pérdidas de energía y manejar prudentemente.

Referencias bibliográficas.

1. NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
2. NORMA Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
3. NORMA Oficial Mexicana NOM-024-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a partículas suspendidas totales (PST). Valor permisible para la concentración de partículas suspendidas totales (PST) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
4. NORMA Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar el valor límite permisible para la concentración de ozono (O₃) de la calidad del aire ambiente. Criterio para evaluar la calidad del aire.
5. Motor Gasolines Technical Review. Chevron.
<http://www.chevron.com/prodserv/fuels/bulletin/motorgas/>
6. EPA Final Regulatory Support Document: Control of Emissions from Unregulated Nonroad Engines. EPA420-R-02-022. Septiembre, 2002. United States Enviromental Protection Agency.
7. Draft Regulatory Impact Analysis: Control of Emissions of Air Pollution from Highway Heavy-Duty Engines. Agosto 1999. United States Enviromental Protection Agency.
8. Giacosa, Dante: Motores Endotérmicos, Ediciones Omega.
9. Sistema de control del motor Motronic, Robert Bosh GMBH, 1999.
10. Eran Sher, Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines. Pollutant Formation and Control, Academic Press, 1998.
11. Obert, Edward F.; Thermodynamics, McGraw-Hill.
12. Obert, Edward F.; Motores de Combustión Interna. Análisis y Aplicaciones, CECSA, 1998.

13. Heywood, John B.; Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, 1998.
14. NORMA Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994, Contaminación atmosférica-Especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles.
15. Croase, William H.; Motores de Automóvil, Alfaomega Marcombo, 1996.
16. Bosh, Robert; Manual de la técnica del automóvil, Editorial Reverté, 1990.
17. Croase, William H.; Sistemas de Alimentación de Combustible, Lubricación y Refrigeración del Automóvil, Marcombo, 1996.
18. Bosh, Robert; Sistema de control del motor MOTRONIC, 1999.
19. Bosh, Robert; Sistema de inyección de gasolina K-Jetronic, 1999.
20. EPA Motor Vehicle Aftermarket Retrofit Device Evaluation Program.
EPA420-B-98-003. Octubre, 1998. United States Enviromental Protection Agency.
21. El sistema de combustible de los motores de combustión interna. Dirección de Transporte CONAE.
22. Krauss, John D.; Electromagnetics, Cuarta Edición, McGraw-Hill, New York, 1992.
23. Otros contactos en Internet:
<http://www.portalmarket.com/supercharge.html>
<http://www.azms.net/fuelsaver.htm>
<http://www.difisa.com.mx/magne/quees.html>
<http://www.wholly-water.com/magnets.htm>
<http://www.energia.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=166>
<http://www.epa.gov/otaq/>
http://laee.hypermart.net/Power_Plus/
<http://www.demac.es/demac/noticias.htm#>
<http://ekosystem.homestead.com/PreguntasFrecuentes.html>