

36



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

LOS ADITIVOS PARA COMBUSTIBLES Y SUS
EFECTOS EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN
INTERNA DE CICLO OTTO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
(ÁREA MECÁNICA)

P R E S E N T A:

JOSÉ GERARDO GARCÍA HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

ING. ARMANDO MALDONADO SUSANO

CD. UNIVERSITARIA

Julio de 2001





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatoria.

A mis padres:

*Alicia hernández y José García
por su incommensurable
amor, respeto y apoyo.*

*Con plena correspondencia
para ustedes.*

A mis hermanos:

*Márgarita, Alberto y Antonio
por esa sencilla razón,
por ser hermanos.*

A mis sobrinitos:

*Diana y Andrés por todas las
alegrías y buenos momentos
que nos han traído.*

A todos con mucho cariño:

Gerardo.

Agradecimientos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería, por permitirme ser parte de su comunidad.

Al ing. Armando Maldonado Susano por su dirección, apoyo y paciencia en la realización de la presente tesis.

A mis amigos y compañeros que directa e indirectamente ayudaron en la elaboración de este trabajo, en especial a Roberto Cisneros y Efraín Ramos.

Al grupo de profesores que aceptaron formar el jurado para la presentación de mi examen profesional.

ÍNDICE

CAP. 1. INTRODUCCIÓN	1
CAP. 2. PRINCIPIOS BÁSICOS.	2
2.1 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 2.2 MOTOR DE GASOLINA 2.2.1 EL CICLO DE CUATRO TIEMPOS. 2.2.2 FUNCIONAMIENTO BÁSICO. 2.2.3 DIAGRAMA DEL CICLO TEÓRICO. 2.3 MOTOR DIESEL. 2.3.1. CICLO DE TRABAJO. 2.3.2. FUNCIONAMIENTO BÁSICO. 2.3.3. DIAGRAMA DEL CICLO TEÓRICO. 2.4 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE GASOLINA. 2.4.1. MISIÓN DEL CARBURADOR 2.4.2 RELACIÓN DE MEZCLA. 2.4.3. EL CARBURADOR ELEMENTAL 2.4.4 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DEL CARBURADOR 2.4.5. CARBURADORES DOBLES (DUAL) Y CARBURADORES CUÁDRUPLES 2.4.6 EL CARBURADOR CÁRTER 2.4.7 LA INYECCIÓN DE GASOLINA 2.4.8 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN 2.4.9. EL SISTEMA DE INYECCIÓN K-Jetronic 2.4.10 EL SISTEMA DE INYECCIÓN L-Jetronic 2.5 SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES 2.5.1 SISTEMAS DE VENTILACIÓN PCV DEL CÁRTER 2.5.2. LOS CATALIZADORES. 2.5.3 SISTEMA DE EMISIONES EVAPORATIVAS	
CAP. 3. ADITIVOS EN LA GASOLINA.	36
3.1 COMBUSTIÓN NORMAL DE LA GASOLINA 3.2. LA DETONACIÓN 3.3 EL NÚMERO DE OCTANAJE 3.4 TIPOS DE ADITIVOS	
CAP. 4. PRUEBAS.	43
4.1 OBJETIVO 4.2 GENERALIDADES 4.3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO. 4.4. DESARROLLO DE PRUEBAS A VELOCIDAD ANGULAR VARIABLE 4.5. DESARROLLO DE PRUEBAS A VELOCIDAD ANGULAR CONSTANTE. 4.6. DEDUCCIÓN DE LAS RELACIONES PARA OBTENER POTENCIAS Y EFICIENCIAS. 4.7. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.	
CAP. 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	77
BIBLIOGRAFÍA.	80

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La calidad de los productos derivados del petróleo (en particular de la gasolina y el diesel), ha evolucionado en sus requerimientos, en función del desarrollo tecnológico de los vehículos y de la normatividad en materia de emisiones resultante de la combustión de los energéticos en los motores.

Aunado a que es necesaria la mejora en las formulaciones de los combustibles para los motores, otros ingredientes son necesarios para el mejor funcionamiento de éstos y, genéricamente, se les llama aditivos.

Los aditivos son compuestos que mejoran el comportamiento del motor y de sus sistemas, como el de combustión; tienen diferentes funciones como lubricantes, detergentes, dispersantes o mejoradores de octanaje.

Los primeros aditivos en desarrollarse fueron los aditivos antidetonantes, que permitieron a la industria automovilística de los años treinta producir máquinas con mayor relación de compresión y aumentar la eficiencia. Los antioxidantes fueron introducidos en los años treinta para combatir la tendencia de los productos desintegrados en las refinerías a formar goma y oxidarse, hecho que tuvo una importancia mayor al introducirse el proceso de desintegración catalítica que genera oleofinas.

El uso de aditivos oxigenados en la gasolina, como los alcoholes, comenzó en los años veinte cuando se descubrió su cualidad de elevar el octanaje de los combustibles entonces disponibles. Fue en los años setenta cuando se volvió a hablar de los alcoholes, caídos en desuso y tomados en consideración al aumentar el precio del petróleo. Los éteres también empezaron a usarse por el mismo tiempo y el empleo de los dos tipos de moléculas se ha incrementado y extendido en muchos países dado que los refinadores encontraron un producto capaz de aumentar el octanaje en tiempos en que el petróleo era escaso por asuntos políticos; también vieron en ellos una fuente importante para aumentar el octanaje cuando muchos países, entre ellos México, iniciaron una campaña para desaparecer el tetraetilo de plomo de las gasolinas vendidas. Los beneficios de los productos oxigenados al reducir las emisiones contaminantes de monóxido de carbono y de hidrocarburos ha hecho que en muchos países se haga obligatorio añadir un mínimo de ellos a la gasolina.

La mayoría de los aditivos oxigenados son alcoholes o éteres y contienen de uno a seis átomos de carbono. En particular los alcoholes se han empleado en la gasolina desde los años treinta. De los éteres existe una variedad, su manufactura comercial se inició en Europa, especialmente en Alemania e Italia, alcanzando gran popularidad en los años setenta a raíz del conflicto petrolero.

A la gasolina se le añade un paquete de aditivos que incluye:

-Antioxidantes: las sustancias que inhiben las reacciones de oxidación de los hidrocarburos antes de que se quemen con el oxígeno en la cámara de combustión. En particular hidrocarburos no saturados.

-Estabilizadores de la gasolina: sustancias que impiden la formación de goma y mejoran la estabilidad de la gasolina, ya que ésta cuenta entre sus componentes a las oleofinas, sustancias muy reactivas a la temperatura ambiente formando polímeros, es decir grandes cadenas que tienen un aspecto como de goma y que son nocivas para el motor.

-Inhibidores a la corrosión: sustancias que impiden que la gasolina ataque los tanques de depósito de la gasolina.

-Colorantes. se añaden en concentraciones muy pequeñas, del orden de 10 parte por millón de gasolina. Se da a la gasolina coloraciones diferentes a fin de diferenciarla y evitar confusiones en su manejo.

-Anticongelantes: en los países de temperaturas frías, estos compuestos impiden la formación de hielo.

-Aditivos para impedir la formación de depósitos en válvulas o bujías: estos depósitos son gomas o productos de la degradación de la gasolina que se depositan en los sistemas de admisión del combustible y cámara de combustión de los automotores; interfieren con el proceso normal de la combustión y el buen funcionamiento del motor; se comprende que la combustión deficiente genera contaminantes. Los aditivos detergentes dispersantes permiten mantener limpios los sistemas de admisión.

-Aditivos que ayudan a impedir la obstrucción de las válvulas en los autos de mucho uso: el taponamiento de las válvulas es uno de los problemas mayores en los autos con mucho kilometraje recorrido. Generalmente se debe a que el auto se somete a altas velocidades y a carga excesiva, lo que hace que la válvula no se asiente generando puntos calientes muy elevados y que la máquina sufra daños muy severos. El mecanismo es el siguiente: el primero es la formación de óxido de hierro procedente de la cámara de combustión que se adhiere a la cara de la válvula, partículas que actúan como un filoso cuchillo que arranca pedazos del asiento de la válvula. Pueden o no ser adicionados en la fórmula de la gasolina. Aditivos de este tipo generalmente son basados en compuestos de potasio y sodio.

En el caso de los motores Diesel, los aditivos tienden a mejorar la fluidez del combustible, sobre todo en épocas frías, ya que los hidrocarburos son más pesados y tienden a cristalizarse a bajas temperaturas. Además hay aditivos que aumentan la capacidad del diesel para quemarse.

CAPÍTULO 2

PRINCIPIOS BÁSICOS

2.1. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.

Se llama motor de combustión interna a todo motor en el cual la materia que trabaja es el producto de la combustión del aire y del combustible; esta combustión se lleva a cabo dentro del cilindro de trabajo

El motor de combustión interna es uno de los más confiables y ampliamente usados como fuentes de energía del mundo. Es utilizado para proporcionar energía a una vasta mayoría de automóviles, camiones, así como bombas, compresores, generadores, convertidores y una gran variedad de otros equipos.

Un motor de combustión interna puede ser clasificado como un motor de *encendido por chispa* o de *encendido por compresión*, dependiendo de la fuente de ignición para la mezcla de combustible y aire. En el primer caso, la mezcla es encendida por una chispa producida por una bujía. En el segundo caso, la mezcla es comprimida hasta una alta presión y una temperatura arriba de la temperatura de ignición, así, la mezcla enciende espontáneamente conforme el combustible es inyectado al cilindro.

2.2. MOTOR DE GASOLINA.

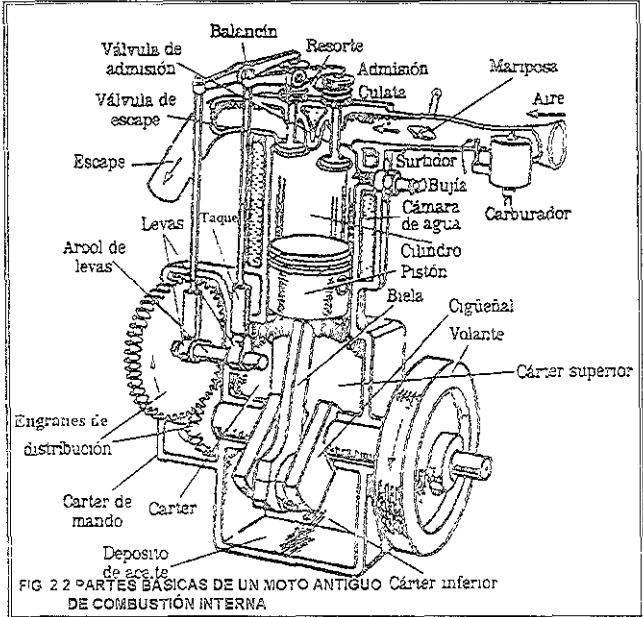
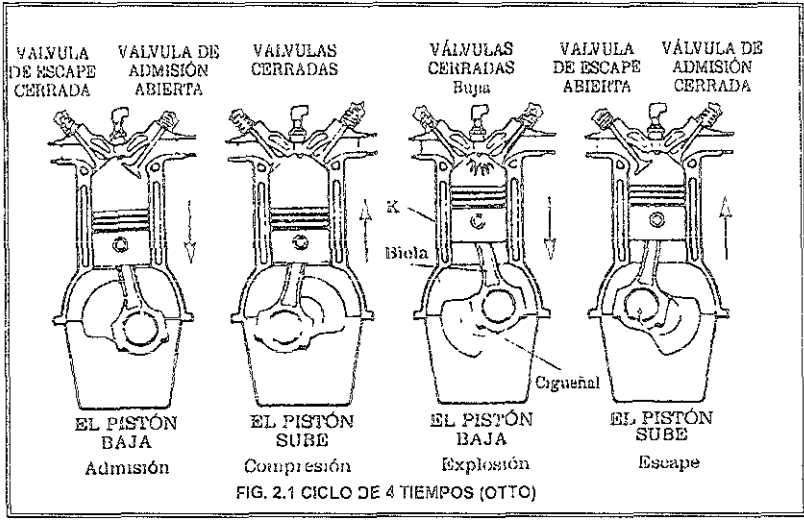
El motor de gasolina, conocido también como *motor de cuatro tiempos* o *motor Otto* (en nombre de su inventor, el ingeniero Ludwig Wilhelm Von Otto, en 1876), es clasificado como motor de encendido por chispa

2.2.1. EL CICLO DE CUATRO TIEMPOS.

Para que el motor funcione es necesario que el pistón realice el *ciclo de cuatro tiempos* (Fig. 2.1)

Primer tiempo. Carrera de Admisión.

El pistón está en el tope del cilindro (una posición llamada punto muerto superior, p.m.s.) y empieza a descender; en este instante se abre la válvula de admisión y los gases que existen en el múltiple de admisión (la mezcla de aire y gasolina suministrada por el sistema de combustible) son aspirados por el pistón que desciende, y van llenando el cilindro. Cuando el émbolo llega a su posición más baja de la carrera (punto muerto inferior, p.m.i.) se cierra la válvula de admisión



En el tiempo de admisión el pistón ha bajado del p.m.s. al inferior y el cigüeñal ha dado media vuelta.

Segundo tiempo Carrera de Compresión.

El pistón sube desde el p.m.i al p.m.s., y las dos válvulas se encuentran cerradas. Los gases que llenaban el cilindro van ocupando un espacio cada vez más reducido, comprimiéndose hasta llenar solamente el que queda entre la cara superior del pistón en su p.m.s. y el fondo del cilindro. Este espacio se llama *cámara de combustión*.

Durante la compresión, el pistón ha subido del p.m.i. al p.m.s. y el cigüeñal ha dado otra media vuelta.

Por haberse comprimido la mezcla, cuando ocupa la cámara de combustión está más caliente que al entrar en el cilindro (mejorando así su combustión), y también están más unidas las moléculas de aire y gasolina. El tiempo de compresión ha servido para preparar la mezcla en las mejores condiciones para la explosión que va a realizarse inmediatamente.

Tercer tiempo Carrera de Explosión.

El momento en que los gases se encuentran fuertemente comprimidos en la cámara de explosión, salta en la bujía la chispa que los incendia; la fuerza de la explosión lanza el pistón del p.m.s. al p.m.i., transmitiéndose por la biela un fuerte impulso al cigüeñal, que a su vez recibe el volante, empleándolo este último como fuerza almacenada para realizar los otros tres tiempos (escape, admisión y compresión).

Durante la carrera del émbolo en la explosión, las dos válvulas han permanecido cerradas y el cigüeñal efectúa una tercera media vuelta, realizando trabajo.

Cuarto tiempo Carrera de Escape.

Al iniciarse este tiempo, el pistón está en el p.m.i., la válvula de escape se abre, y el pistón, al subir, empuja los gases y residuos de la combustión, expulsándolos al exterior por el múltiple de escape para permitir la renovación del ciclo. Cuando el émbolo alcanza el p.m.i., la válvula de escape se cierra.

En la carrera del pistón durante el escape, del p.m.i. al p.m.s., el cigüeñal gira otra media vuelta.

Cuando el pistón empieza a bajar de nuevo desde el p.m.s. al p.m.i., se abre la válvula de admisión y se repiten todas las fases anteriores en la misma forma y en el mismo orden, mientras el motor está funcionando; el conjunto de las cuatro operaciones distintas (admisión, compresión, explosión y escape) se denomina *ciclo de cuatro tiempos*. Como a cada tiempo del motor corresponde media vuelta del cigüeñal, el ciclo se realiza en cuatro medias vueltas, o sea en dos vueltas completas del cigüeñal.

1ra vuelta cigüeñal	2da. vuelta cigüeñal
½ vuelta + ½ vuelta Admisión Compresión	½ vuelta + ½ vuelta = CICLO Explosión Escape

2.2.2. FUNCIONAMIENTO BÁSICO.

El aire aspirado, cuando baja el émbolo en la carrera de admisión (Fig. 2.2) que se carga de gasolina en el inyector y, en la cuantía que permita la mariposa (mandada por el pedal del acelerador), pasa al cilindro cuando el empujador, al levantarlo el saliente de la leva, sube equilibrando el balancín y abre la válvula, forzando el resorte. Al subir el pistón, seguidamente, se comprimen los gases.

La explosión provocada por la chispa que salta en la bujía, hace que el émbolo baje y transmita su fuerza por la biela al cigüeñal, que gira con el volante de inercia en un extremo y el engrane de la distribución en el otro. El engrane gira al árbol de levas y, por tanto, éstas abren oportunamente las válvulas al compás del movimiento del cigüeñal y del pistón.

Los gases quemados los empuja el pistón al subir, a la vez que la leva abre la válvula de escape

Rodeando a la culata, parte alta del cilindro, bujía y válvulas, se encuentran las camisas de agua, que sirven para su refrigeración.

2.2.3. DIAGRAMA DEL CICLO TEÓRICO.

Se propone hacer uso del ciclo Otto ideal para el análisis termodinámico del motor de gasolina puesto que las conclusiones obtenidas de dicho análisis ayudan a predecir el comportamiento esperado de un motor de combustión interna encendido por chispa real.

En el ciclo Otto ideal se usa como modelo un ensamble cilindro-émbolo cerrado. Los procesos de compresión y de expansión son aproximados por procesos adiabáticos o isentrópicos, internamente reversibles; el proceso de combustión se supone como un proceso de suministro de calor, a volumen constante e internamente reversible, y el proceso de escape se imagina como un proceso de rechazo de calor, a volumen constante e internamente reversible. Los diagramas de proceso $T-s$ y $P-v$ para el ciclo Otto se ilustran en la figura 2.3, donde 1-2 es la trayectoria seguida durante el proceso de compresión isentrópica, 2-3 es el proceso de combustión, 3-4 es el proceso de expansión isentrópica, y el ciclo se completa por el proceso de escape desde 4-1.

Para determinar con que efectividad un motor de encendido por chispa convierte la energía del combustible en trabajo útil, se utilizará la eficiencia térmica del ciclo (η_t):

$$\begin{aligned}\eta_t &= \text{trabajo realizado} / \text{suministro de calor} \\ &= W_{\text{total}}/Q_H \\ &= (Q_H + Q_L)/Q_H \\ \therefore \eta_t &= 1 + Q_L/Q_H\end{aligned}\quad (2-1)$$

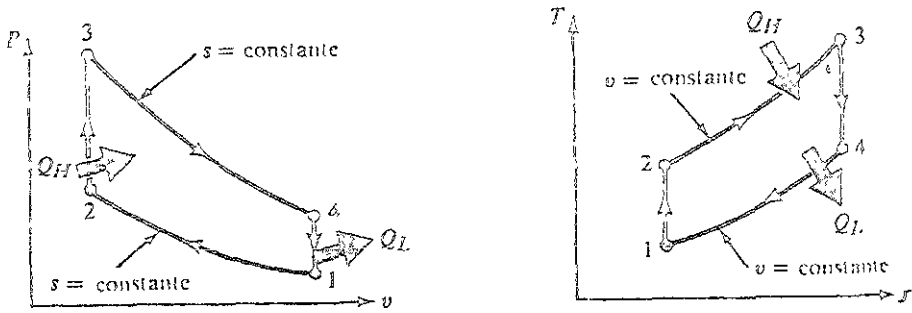


FIG. 2.3 Diagramas de proceso $P-v$ y $T-s$ para el ciclo Otto ideal.

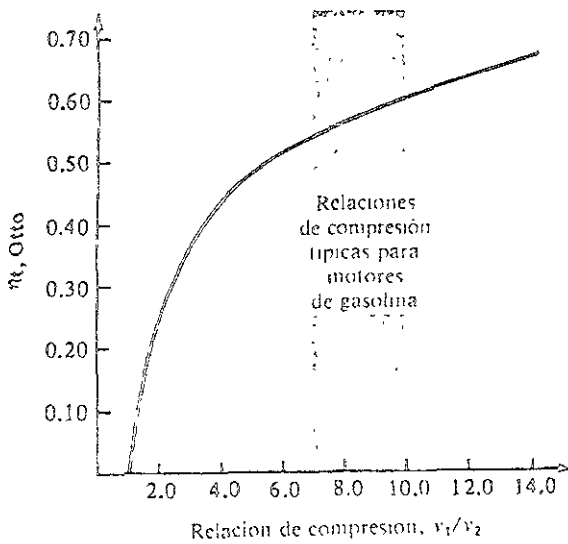


FIGURA 2.4 Eficiencia térmica de un ciclo Otto ideal con aire frío normal, como una función de la relación de compresión ($k = 1.4$).

La transferencia de calor hacia el fluido de trabajo, la cual ocurre durante el proceso 2-3, es igual a la variación de la energía interna del fluido de trabajo, debido a que el sistema es cerrado y el volumen permanece constante durante el proceso, es decir:

$$Q_H = m(u_3 - u_2) \quad (2-2)$$

De igual manera, la transferencia de calor desde el fluido de trabajo durante el proceso a volumen constante 4-1 es:

$$Q_L = m(u_1 - u_4) \quad (2-3)$$

Después de sustituir las Ecs. (2-2) y (2-3) en la Ec. (2-1), la eficiencia térmica del ciclo Otto ideal se convierte en

$$\eta_{t, \text{Otto}} = 1 + \left(\frac{u_1 - u_4}{u_3 - u_2} \right) \quad (2-4)$$

Esta expresión para la eficiencia térmica de un ciclo Otto ideal puede simplificarse si se hace uso de las suposiciones de aire frío normal. El fluido de trabajo se supone que es el aire, el cual se comporta como gas ideal con calores específicos constantes y la Ec. (4) se reduce a:

$$\eta_{t, \text{Otto}} = 1 + \left(\frac{T_1 - T_4}{T_3 - T_2} \right) \quad (2-5)$$

La relación en la Ec. (2-5) puede expresarse en términos de la relación de volumen usando la relación del proceso isentrópico para un gas ideal con calores específicos constantes. Puesto que los procesos 1-2 y 3-4 son isentrópicos,

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{k-1}; \quad \frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{v_4}{v_3} \right)^{k-1} \quad (2-6)$$

Sustituyendo estas dos ecuaciones en la Ec. (2-5), y simplificando (puesto que $v_2 = v_3$ y $v_1 = v_4$) da la siguiente expresión para la eficiencia térmica de un ciclo Otto ideal con aire frío normal:

$$\eta_{t, \text{Otto}} = 1 - (r)^{1-k} \quad (2-7)$$

donde r es la relación de compresión para la máquina definida por la ecuación:

$$r = v_1 / v_2 \quad (2-8)$$

La *relación de compresión* es la relación del volumen del cilindro al principio del proceso de compresión con respecto al volumen final del proceso de compresión.

La Ec. (2-7) muestra que la eficiencia térmica de un ciclo Otto ideal con aire frío normal es sólo una función de la relación de compresión del motor y la relación de calores específicos del fluido de trabajo, k .

Un trazo de la Ec. (2-7) se muestra en la figura (2.4) para un valor de $k=1.4$. Puesto que un ciclo Otto ideal es internamente reversible y un motor de combustión interna real es irreversible, la eficiencia térmica dada por la Ec. (2-7) es la máxima eficiencia posible para un motor de encendido por chispa de combustión interna operando a una relación de compresión dada.

La conclusión de que la eficiencia térmica de un motor ideal de encendido por chispa de combustión interna es sólo una función de la relación de compresión es correcta sólo de manera teórica, debido a que el análisis está basado en el ciclo Otto ideal con aire frío normal. Un motor encendido por chispa es algo más complejo, y factores tales como diseño de levas, diseño de válvulas, carburación y rozamiento en cojinetes tienen un impacto importante en la eficiencia del motor. No obstante, cualquier diseño de motor que incremente la relación de compresión deberá resultar en un incremento en la eficiencia del motor y en el número de kilómetros por unidad de combustible.

2.3. MOTOR DIESEL.

Desde 1930 los *motores Diesel* (en nombre de igual manera a su inventor, el Dr. Rudolf Diesel en la década de 1890) también llamados *de aceite pesado*, han tenido una aplicación cada vez mayor en el automovilismo. Aunque inicialmente fueron empleados en vehículos industriales y hasta mediados de la década de los 60 no apareció el primer turismo con motor Diesel, hoy en día su uso se ha generalizado.

La organización de sus elementos es la misma que en los motores de explosión o de gasolina, pero en los Diesel, hay algunas diferencias sensibles en su funcionamiento.

DIFERENCIAS	TIPO DE MOTOR	
	Gasolina/Explosión	Diesel/Compresión
Tipo de ciclo	Otto	Diesel
Queman...	Gasolina	Diesel
Se introduce mezcla de...	Aire y gasolina	Sólo aspira aire
Ignición por...	Chispa	Se incendia por sí solo
Sistema de encendido...	Sí	No
Relación de compresión	De 6.5 a 11	De 12 a 22. Promedio 16
Explosión / Combustión	De toda la mezcla	A medida que entra el diesel
Equipo de inyección	A veces	Siempre
Construcción	Ligera y simple	Pesada

Para que el diesel entre en el cilindro, inyectado en el aire tan fuertemente comprimido y caliente, es necesario que a su vez se envíe a una presión elevada en forma de un pequeñísimo chorro para cada carrera de "combustión"; esto se consigue con un equipo de *inyección* compuesto por una bomba que: dosifica, da presión y envía el combustible al cilindro correspondiente, y un *inyector* que le da entrada a la cámara de combustión.

Cuando el acelerador está suelto se inyecta solamente el Diesel necesario para la marcha en vacío y del motor en ralentí; cuando se pisa a fondo pasa a quemarse la máxima cantidad de combustible que, puede hacerlo con el aire que cabe en el cilindro, aproximadamente en la proporción de 1gr. de Diesel por 18 de aire (un litro de Diesel necesita unos 15,000 litros de aire, un 30% más que la gasolina); pero el aire aspirado por el motor puede ser el máximo y el diesel, a diferencia de la gasolina, no disminuye en la energía que proporciona aunque se queme en exceso de aire, sin los inconvenientes de lo que en los motores de explosión se llama "mezcla pobre", y que aquí no existe.

Aunque el Diesel llegue a costar tanto como la gasolina, los motores Diesel seguirán siendo más económicos no sólo porque el consumo es menor con respecto a los de explosión para una misma potencia, si no porque su rendimiento es superior a la de estos últimos, ya que a la salida del cigüeñal sólo se dispone de un 24% de la energía latente en el combustible. En los Diesel se llega al 34%, porque no se pierde tanta en los gases de escape y en el sistema de refrigeración.

No obstante, los motores Diesel son más caros de adquirir. En primer lugar, porque el motor ha de ser mucho más robusto y pesado (mayor peso por caballo), especialmente las piezas móviles por la fuerte compresión y mayores presiones de trabajo. En segundo lugar, como la combustión completa se consigue gracias al exceso de aire con el que *constantemente funcionan los Diesel*, resulta que los cilindros son en proporción mayores; y en tercer lugar, la bomba de inyección de diesel es un aparato complicado que requiere gran precisión y mucho más caro que un sistema de gasolina.

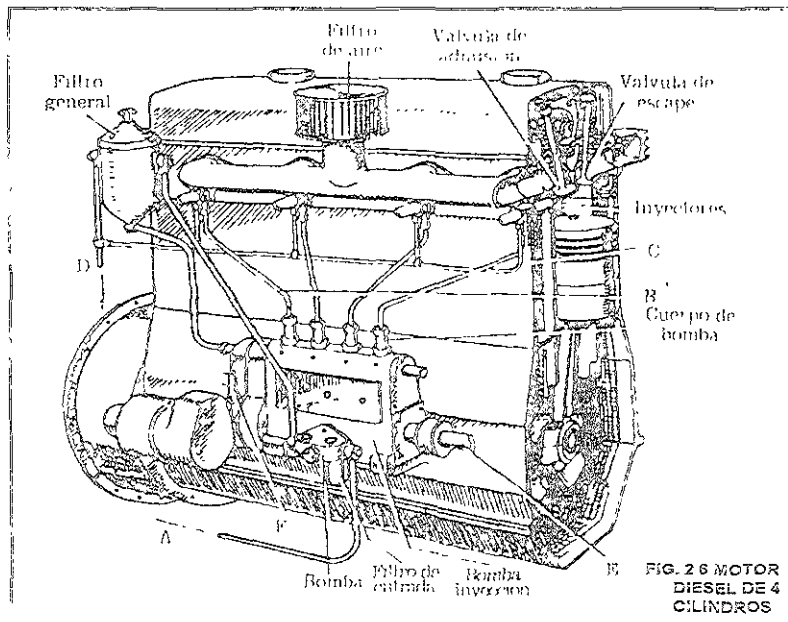
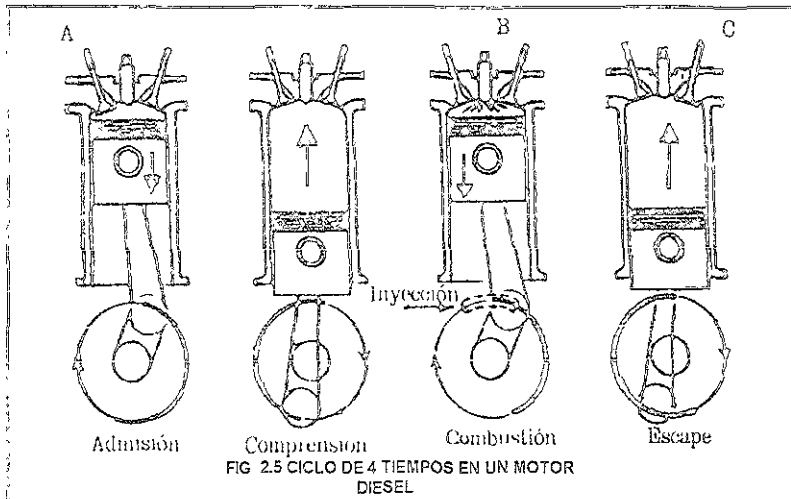
Las dificultades que existen para poder inyectar el diesel a grandes velocidades, se añaden a las dos razones primeras para que los Diesel tengan que ser más lentos que los motores de gasolina.

2.3.1. CICLO DE TRABAJO.

El ciclo de trabajo en un motor de cuatro tiempos Diesel, es el siguiente (Fig. 2.5):

Ira. media vuelta: Admisión.

Se abre la válvula A de entrada de aire al cilindro; el pistón al bajar lo aspira a través del filtro del colector de admisión, sin mariposa que gradúe la cantidad (que debe ser siempre la máxima posible), de modo que el cilindro queda lleno de aire .



2da. media vuelta. Compresión

Al subir el émbolo comprime el aire hasta dejarlo reducido a un volumen de 12 a 24 veces menor, con lo que alcanza una temperatura cercana a los 600 °C, que permitirá la autoignición a una presión de 36 a 45 kg/cm², mientras que en los motores de gasolina la presión efectiva a la que llega la mezcla no pasa de los 15 kg/cm².

3ra. media vuelta. Combustión.

Por el inyector B penetra en el cilindro el pequeño chorro de diesel cuya inyección, controlada por el pedal del acelerador, dura más o menos tiempo según la mayor o menor cantidad necesaria

Dada la gran presión a que entra y la forma del inyector, el diesel se pulveriza en forma de finísimas partículas (niebla), cuyas primeras gotas en contacto con el aire a una temperatura muy elevada, se vaporiza y se incendia, comunicándose el fuego al resto del diesel a medida que entra. El calor desarrollado dilata los gases y eleva la presión de trabajo hasta 50 a 90 kg/cm², según la forma de la culata (el doble que en los motores de explosión).

4ta. media vuelta. Escape.

Se abre la válvula de escape C y por ella son expulsados al exterior los gases residuales de la combustión.

COMPARACIÓN ENTRE MOTORES

De explosión	De compresión (Diesel)
<i>1er. Tiempo. Admisión</i>	
Aspiración de la mezcla aire-gasolina, en cantidad graduada por el acelerador.	Aspiración y llenado completo del cilindro con aire.
<i>2do. Tiempo. Compresión.</i>	
Moderada, de la mezcla. De 6.5:1 a 11:1	Elevada, de aire. De 12:1 a 24:1.
<i>3er. Tiempo. Explosión / Combustión</i>	
Encendido por una chispa en la bujía. Se produce la explosión de toda la mezcla.	Inyección de diesel, en cantidad graduada por el acelerador.
	Auto ignición por el calor de la compresión. Combustión a medida que entra.
<i>4to. Tiempo. Escape.</i>	
Idéntico en los dos sistemas	

2.3.2. FUNCIONAMIENTO BÁSICO.

En el tiempo de admisión el cilindro aspira aire a través de un colector en cuya boca (Fig. 2-6) está el filtro de aire. Cada cilindro lleva las válvulas de admisión y escape, en general colocadas en cabeza y mandadas por balancines.

El combustible es aspirado del depósito por la tubería A mediante una bomba con filtro de entrada que lo envía al filtro general, donde sale por la parte inferior a la bomba de inyección que por medio de los cuerpos de bomba (uno por cilindro) lo manda a presión por los tubos B a los inyectores, colocados en los cilindros, como las bujías en los motores de explosión.

El diesel que rebosa de los inyectores regresa por los tubos C y D al depósito general; por este último también vuelve el que sobra en el filtro por no ser consumido por la bomba de inyección.

La bomba recibe movimiento desde los engranajes de la distribución por el árbol E, y el mando del acelerador actúa sobre la bomba por la palanca F.

El pistón comprime el aire aspirado en el primer tiempo hasta que la compresión se eleva a 35 ó 40 atmósferas. El diesel introducido por los inyectores al final de la compresión, se incendia al entrar en contacto con el aire, quemándose a medida que entra. Para que el combustible se pulverice al ser inyectado se necesita que lo haga a una gran presión, que llega a 300 atmósferas en algunos motores. Durante el tiempo de combustión, la presión máxima es como el doble de la de los motores de gasolina.

En cada cilindro se obtiene, como en los motores de gasolina, una carrera motriz en cada dos vueltas del cigüeñal.

2.3.3. DIAGRAMA DEL CICLO TEÓRICO.

Igual que el ciclo Otto ideal, el ciclo Diesel ideal consta de procesos de compresión y de expansión adiabáticos e internamente reversibles, y un proceso de rechazo de calor a volumen constante e internamente reversible. En el ciclo Diesel, sin embargo, la duración del proceso de encendido es ampliada debido a que la combustión ocurre mientras el combustible es inyectado dentro del cilindro, y el combustible continúa quemándose conforme el émbolo se va alejando del punto muerto superior. En el ciclo ideal este proceso es modelado por un proceso a presión constante, internamente reversible. Los diagramas de proceso $P-v$ y $T-s$ para un ciclo Diesel ideal se ilustran en la figura 2.7.

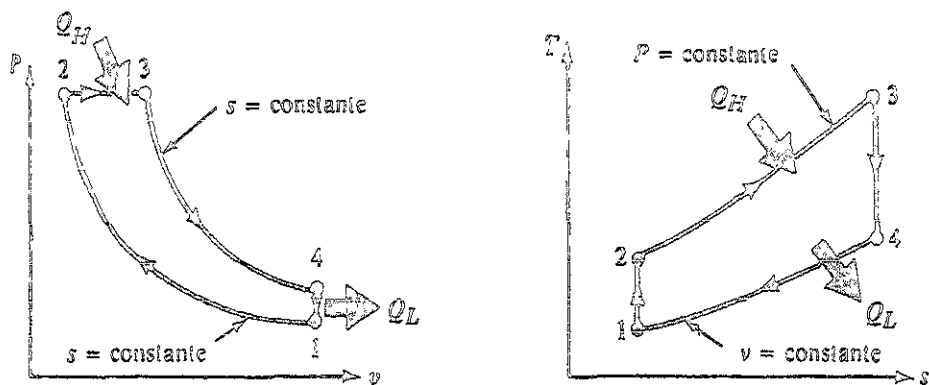


FIG. 2.7 Los diagramas de proceso P-v y T-s para el ciclo diesel ideal.

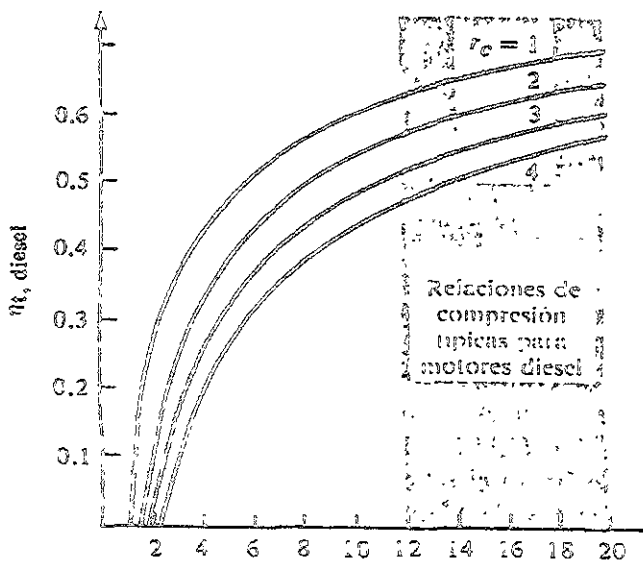


FIG. 2.8 Relación de compresión, r

La medida del comportamiento de un ciclo Diesel ideal es la eficiencia térmica,

$$\begin{aligned}
 \eta_t &= \text{trabajo realizado} / \text{suministro de calor} \\
 &= W_{\text{total}} / Q_{\text{H}} \\
 &= (Q_{\text{H}} + Q_{\text{L}}) / Q_{\text{H}} \\
 \therefore \eta_t &= 1 + Q_{\text{L}} / Q_{\text{H}} \quad (2-9)
 \end{aligned}$$

Aplicando la forma de la ecuación de conservación de energía al sistema cerrado, se encuentra que el calor absorbido por el ciclo Diesel durante el proceso 2-3 a presión constante es:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{H}} &= Q_{2-3} = W_{2-3} + m(u_3 - u_2) \\
 &= mP_3(v_3 - v_2) + m(u_3 - u_2) \\
 \therefore Q_{2-3} &= m(\bar{h}_3 - \bar{h}_2) \quad (2-10)
 \end{aligned}$$

De igual forma, el calor rechazado desde el ciclo Diesel durante el proceso a volumen constante 4-1 es.

$$Q_{\text{L}} = Q_{4-1} = m(u_1 - u_4) \quad (2-11)$$

Por tanto, la expresión para la eficiencia térmica de un ciclo Diesel ideal es, luego de sustituir la Ec. (2-10) y (2-11) en la Ec. (2-9):

$$\eta_{t,\text{Diesel}} = 1 + \left(\frac{u_1 - u_2}{\bar{h}_3 - \bar{h}_2} \right) \quad (2-12)$$

Esta expresión puede simplificarse aplicando ahora las suposiciones de aire frío normal, por las cuales

$$\begin{aligned}
 u_1 - u_4 &= C_v(T_1 - T_4) \\
 \bar{h}_3 - \bar{h}_2 &= C_p(T_3 - T_2) \quad (2-13)
 \end{aligned}$$

danó una eficiencia térmica al sustituir la Ecs. (2-13) en la Ec. (2-12)

$$\eta_{t,\text{Diesel}} = 1 + \frac{(T_1 - T_4)}{k(T_3 - T_2)} \quad (2-14)$$

Introduciendo la *relación de combustión* r_c , como la relación entre el volumen \bar{V}_3 del cilindro después del proceso de combustión y el volumen \bar{V}_2 del proceso de compresión, o

$$r_c = \bar{V}_3 / \bar{V}_2 \quad (2-15)$$

y recordando la definición de la relación de compresión r dada en la Ec (2-8), se puede expresar la eficiencia térmica del ciclo Diesel ideal, con aire frío normal como:

$$\eta_{t, Diesel} = 1 - r^{(1-k)} \left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} \right] \quad (2-16)$$

Una comparación de las Ecs. (2-16) y (2-7) para la eficiencia de un ciclo Otto ideal, con aire frío normal muestra que las dos expresiones difieren por la cantidad en el corchete. Este término siempre es mayor que uno, y como resultado, la eficiencia térmica de un ciclo Diesel ideal, con aire frío normal siempre es menor que la eficiencia de un ciclo Otto ideal, con aire frío normal operando a la misma relación de compresión cuando r_c es mayor que la unidad. Como está indicado por la gráfica de la Ec (2-16) en la figura 2.8, resultan mayores eficiencias térmicas del motor Diesel de menores relaciones de combustión. En realidad, los motores Diesel operan por lo común a relaciones de compresión entre 12 y 20, valores que son tanto como del doble de los valores para los motores de encendido por chispa. Como un resultado de sus altas relaciones de compresión, los motores Diesel son por lo general más eficientes que los motores de encendido por chispa.

2.4. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE GASOLINA.

Dos son los sistemas que se utilizan en la actualidad para proporcionar al motor de encendido por chispa la gasolina del modo más adecuado para que pueda ser consumida y para que se produzca la conversión energética (calorífica-mecánica). El *sistema carburado*, en el que la mezcla de gasolina con el aire se efectúa dentro del mismo aparato, y el sistema de *inyección* en el que la gasolina es dosificada de acuerdo con el aire que circula por un tubo e inyectada en éste muy próximo a la válvula de admisión.

2.4.1. MISIÓN DEL CARBURADOR.

Los automóviles transportan consigo el combustible, generalmente en forma líquida. Como la combustión sólo es posible en forma gaseosa y en presencia de oxígeno, el combustible tiene que prepararse en el carburador para la combustión. Para ello es importante una fina pulverización y buena mezcla con aire en las proporciones correctas. La pulverización, el calor y la depresión preparan la gasificación.

El carburador tiene la misión, cualesquiera que sean las condiciones de funcionamiento del motor y dentro de todo el intervalo del número de revoluciones y de carga, de proporcionar en todo momento la mezcla de relación más favorable entre combustible y aire y suministrarla en cantidad suficiente.

2.4.2. RELACIÓN DE MEZCLA.

Se distingue entre relación de mezcla teórica y práctica.

La relación teórica de mezcla es aproximadamente 1:14.7, es decir que para la combustión total de 1kg. de combustible son necesarios unos 14.7kg. de aire, según la composición química del combustible

La relación de mezcla práctica que tiene que hacer el carburador discrepa de la teórica, según temperatura, número de revoluciones y carga del motor. En caso de una mayor proporción de combustible, por ejemplo 1:13, se habla de una mezcla "rica" y en caso de menor proporción de combustible, como 1:16, se habla de "pobre". Las relaciones de mezcla por debajo de 1:7 o por encima de 1:17 no son ya capaces de encenderse; son los límites de flamabilidad. El combustible se gasifica mal cuando el motor está frío. Con bajo número de revoluciones el combustible se pulveriza mal. Por esta razón el carburador deberá dar una mezcla tanto más rica cuanto más frío esté el motor y más bajo sea el número de revoluciones.

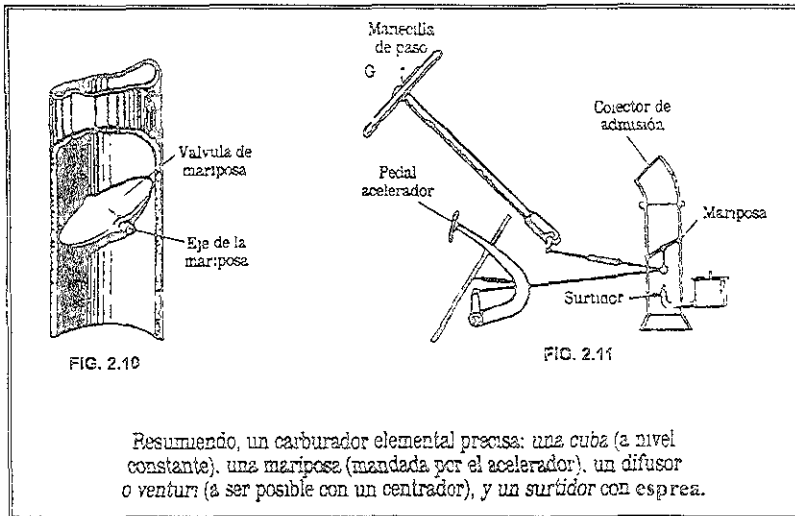
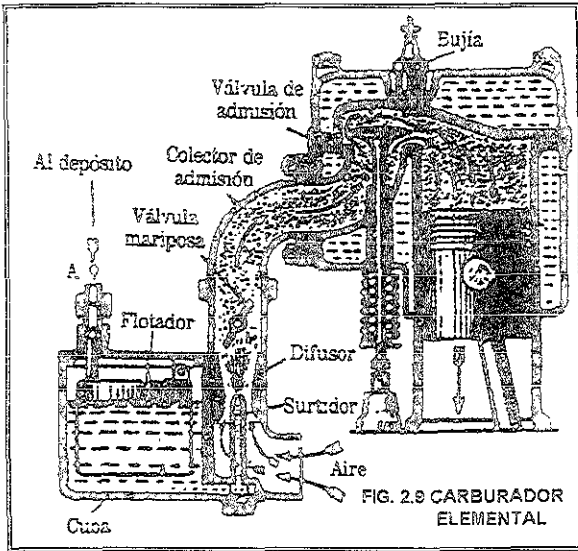
2.4.3. EL CARBURADOR ELEMENTAL.

El carburador queda constituido como se indica en la figura 2.9: la gasolina llega por "A" desde el depósito a la cuba; el flotador, sube, y cuando el nivel es el calculado, empuja la válvula de aguja, cerrando la entrada A; a medida que se consume combustible, el flotador desciende un poco y la aguja permite la entrada de más gasolina, pero sin que el nivel, en ningún caso, suba del fijado, permaneciendo sensiblemente constante. De la cuba pasa la gasolina al surtidor (éste incorpora una *esprea*, que es el calibre del caudal de gasolina), el cual tiene situada su boca (uno o dos milímetros más alta que el nivel de la cuba) en el estrechamiento del difusor. El aire que aspiran los cilindros, al pasar por la boca del surtidor, arrastra y pulveriza la gasolina, pasando la mezcla por la tubería o colector de admisión a las válvulas de admisión, y de ahí a los cilindros, en el momento en que cada uno se encuentra en el primer tiempo del ciclo (admisión).

Para graduar la cantidad de mezcla que se quiere introducir en el cilindro, según la potencia que se necesite obtener del motor, se intercala la válvula de mariposa, como se indica en las figuras 2.9 y 2.10, que se abre más o menos, según la presión que ejerza el conductor sobre el pedal del acelerador (Fig. 2.11).

2.4.4. FUNCIONAMIENTO BÁSICO DEL CARBURADOR.

En la figura 2.12 se observa la posición de los diversos dispositivos, mencionados en el apartado anterior, en el momento del arranque.



En dicho momento la mariposa (2), se halla totalmente abierta mientras el estrangulador (1) está cerrado. Cuando se efectúan los primeros giros del motor, el aire que penetra a través del estrangulador (1) es escaso por lo que la succión del surtidor principal (4) y del surtidor de compensación (5) es muy intensa en la región del venturi (3). Esto hace que la mezcla sea de gran riqueza y el motor pueda arrancar.

Una vez en marcha el motor, el carburador queda en el estado que muestra la figura 2.13, es decir, funcionando a marcha lenta o ralenti, al hallarse la válvula de mariposa cerrada la aspiración del émbolo es especialmente importante sobre los puntos seis y ocho recogiendo por ambos lugares la cantidad de gasolina necesaria para su lento giro en vacío empobrecido por el aire que penetra por 7. En la región del venturi (3) no existe prácticamente depresión alguna por lo que los surtidores se hallan inactivos.

La figura 2.14 muestra el estado del carburador al pasar del funcionamiento en lento o ralenti al funcionamiento normal. A medida que se abre la mariposa la depresión es mejor en el conducto (6) pero se mantiene todavía en él (8), lo que sostiene el ralenti con mezcla pobre por el conducto (7). Los surtidores 4 y 5 permanecen todavía inactivos porque la abertura de la mariposa es insuficiente.

En el momento del paso a la aceleración normal (Fig. 2.15), la corriente de aire es suficientemente fuerte para pulverizar la gasolina del surtidor principal (4) y también del compensador (5). Se observa como en éste, debido a lo estrecho del calibre (11), se vacía el pozo (9) admitiendo aire que empobrece la mezcla general. Por su parte, el calibre (10) deja pasar el líquido sin oposición de ninguna especie.

Cuando el motor gira a gran velocidad y sin esfuerzo la velocidad del aire es tal (Fig. 2.16) que produce un efecto de succión en el conducto 12 y levanta la membrana 14 venciendo la tensión del muelle 13. En este momento el paso del aire por el pozo de compensación es máximo y la mezcla que aparece por el compensador (5) es muy pobre por llevar una gran cantidad de aire procedente del pozo.

Finalmente, en el funcionamiento de la aceleración súbita (fig. 2.17) se abre de pronto la válvula de mariposa y desciende rápidamente la bomba de aceleración (15). La presión del líquido ejercida en este momento sobre el cilindro es tal que se cierra la válvula calibrada (16) y se abre la 17 por cuyo conducto sale gasolina hasta el orificio 18 en el difusor. La gasolina inyectada por este sistema enriquece considerablemente la mezcla y permite al motor desarrollar su mejor potencia con una mezcla adecuada.

Esto es en general lo que constituye un carburador y su forma de funcionar.

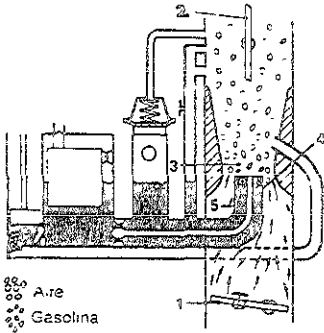


FIG. 2.12

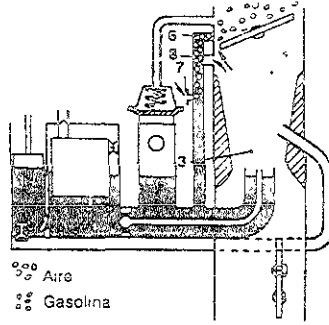


FIG. 2.13

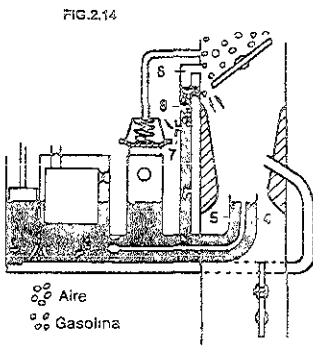


FIG. 2.14

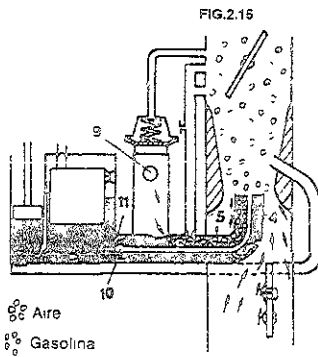


FIG. 2.15

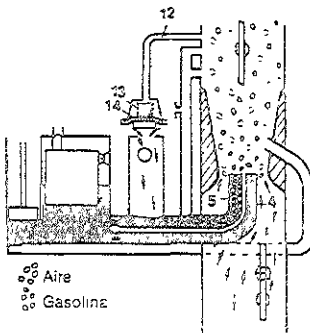


FIG. 2.16

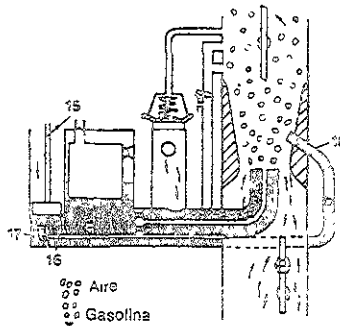


FIG. 2.17

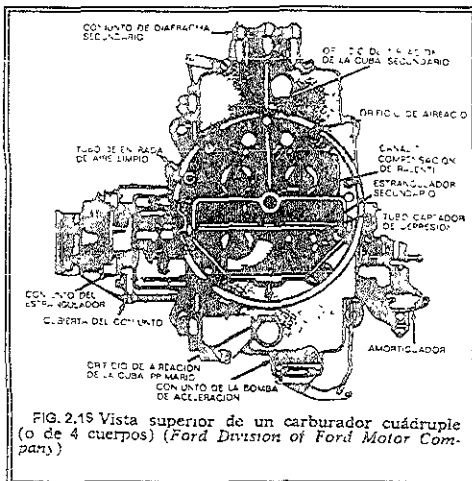
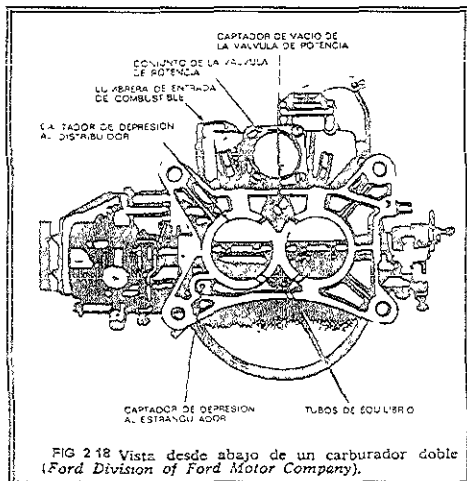
ETAPAS DE OPERACIÓN DEL CARBURADOR

2.4.5. CARBURADORES DOBLES (DUAL) Y CARBURADORES CUÁDRUPLES.

En muchos motores se usan carburadores con más de un cuerpo, algunos de ellos tienen dos cuerpos (*dobles carburadores: duales*) o cuatro cuerpos (*carburadores cuádruples*). Estas disposiciones se adoptan al objeto de mejorar la "respiración" del motor, en especial a velocidades elevadas, puesto que esos cuerpos adicionales permiten el paso al motor de mayores cantidades de mezcla.

1. Carburador doble. Esta constituido por dos carburadores simples montados en un mismo conjunto (Fig. 2.18) Cada uno de sus cuerpos alimenta a la mitad de cilindros.

2. Carburador cuádruple. Está constituido por dos carburadores dobles en conjunto único. Así, consta de cuatro cuerpos y, por lo tanto, de igual número de surtidores principales. Dos cuerpos de él constituyen el primario y los otros dos el secundario (Fig. 2.19) En casi todas las condiciones de funcionamiento basta con el primario para satisfacer las necesidades de mezcla carburada del motor. Sólo cuando la mariposa está completamente abierta, sea para una aceleración o para funcionar a plena potencia, entra en funcionamiento el secundario para suministrar cantidades adicionales de mezcla, mejorando así la "respiración" del motor. Como el motor recibe más mezcla, su rendimiento volumétrico es mayor y aumenta la potencia.



2.4.6. EL CARBURADOR CÁRTER.

Los *carburadores* *Cárter* (Fig. 2.20), son muy usados en automóviles estadounidenses.

De todos los populares, los *Cárter* W y los Y, son los únicos que, para actuar sobre la cantidad de gasolina que llega al surtidor, emplean como economizador una aguja A que obtura más o menos el calibre principal.

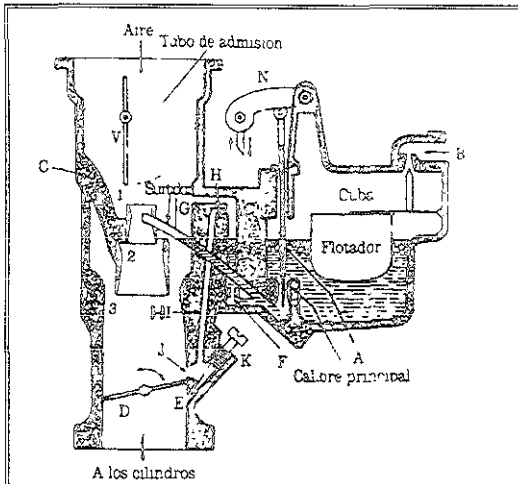
Cárter "W". La gasolina llega a la cuba por B y pasa por dicho calibre (con la aguja) al surtidor que asoma al más estrecho de los tres difusores 1, 2, 3; este último formado por el tubo de admisión, y los 1 y 2 soportados por el brazo C. El juego de los tres canaliza y acelera la corriente de aire que entra por la tubería de admisión, y pasa por abajo, ya carburada a los cilindros.

Ralentí. En ralentí o marcha lenta, con la mariposa D cerrada, la succión de los cilindros se ejerce sobre el paso E; la gasolina se aspira a través del calibre F, se emulsiona con una primera carga de aire que entra por la toma G, pasa por el calibre economizador H, donde se abate y pulveriza mejor la gasolina con el aire, y continúa por el conducto HI a recibir una nueva dosis de aire por la toma J; la mezcla sale por E, donde recibe el último aire, el que pasa por los bordes de la mariposa D, que ni puede cerrar herméticamente ni le deja totalmente, pues un tornillo exterior (B, en la figura 2.21), ajusta la posición más conveniente para que el aire que pase por sus bordes (Fig. 2.20), proporcione la cantidad de mezcla necesaria al ralentí. Así es que el tornillo K ajusta la cantidad de emulsión que se mezcla al último aire, o sea, la riqueza de la mezcla final y la cantidad de ésta se gradúa por la posición de reposo de la mariposa.

Marcha normal. A medida que se abre la mariposa, por la emulsión que viene por HI, sale también por J, mezclándose con el aire que pasa por los bordes de D, cada vez en mayor cantidad. Pero este aire, al circular por el difusor 1, provoca una depresión, cada vez más fuerte; comienza a sorberse la gasolina del surtidor, que se pulveriza y mezcla en el triple venturi. La cantidad de gasolina viene impuesta por el paso que le permite la afilada aguja A en el calibre principal, de modo que estando la mariposa D abierta del todo, la aguja está alta y deja pasar, en cada momento, la cantidad de gasolina que requiere el aire aspirado por el motor, manteniendo constantemente la riqueza de la mezcla. El mando de la mariposa D se hace desde el pedal del acelerador.

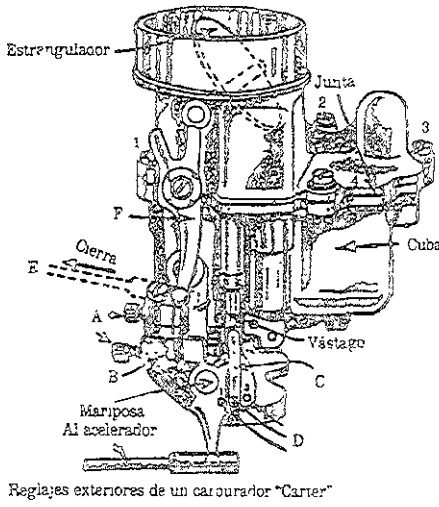
Conviene fijarse en dos aspectos: primero, hay tres calibres, el principal, el F y el H, que se pueden desmontar o alcanzar desde el exterior por tornillos fácilmente desmontables, para su limpieza; segundo, que sólo hay dos reglajes a mano, el del tornillo K y el del otro tornillo tope citado, que fija la posición de cierre de la mariposa D.

Reglajes. Los reglajes se ven en la figura 2.21: apretando los tornillos A (uno para carburadores sencillos en motores de cuatro o seis cilindros, y dos para los dobles en los de ocho cilindros), se empobrece la mezcla; aflojándose, se enriquece. El tornillo B, fija el tope para el giro de la mariposa, que se manda por varillas desde el acelerador; apretando este tornillo, se abre el borde de la mariposa, aumenta el paso y acelera el ralentí.



Carburador "Carter"

FIG. 2.20



Reglajes exteriores de un carburador "Carter"

FIG. 2.21

El cuerpo del carburador es fácilmente desmontable, pues basta aflojar los cuatro tornillos 1,2,3 y 4 para levantar la tapa que cubre a los surtidores, calibres y cuba.

2.4.7. LA INYECCIÓN DE GASOLINA.

La inyección en los motores de gasolina desplazó a la carburación. La inyección del combustible ofrece las siguientes ventajas:

1. Con los carburadores, el paso del aire tiene que ser siempre rápido, incluso en la pequeña aspiración cuando el motor gira despacio, para mantener la succión en los surtidores y evitar que las gotitas de gasolina, más pesadas que el aire, si éste va despacio, se separen y caigan en el interior de los conductos. Estos no pueden ser amplios, mientras que con la inyección sólo pasa aire y puede el colector ser tan grande como convenga al mejor llenado.

2. Como no es necesario que haya puntos calientes en el colector para vaporizar la gasolina, el aire puede entrar más frío y, por tanto, en mayor cantidad a cada pistonada, con lo que el llenado de los cilindros es más completo.

3. Si la inyección pulverizada se hace en el cilindro (inyección directa), el tiempo de contacto entre las gotitas de la niebla y el aire es mucho menor que en el caso de los carburadores. En ese breve tiempo es cuando se produce la oxidación que tiende a hacer detonante la mezcla, y por ello puede elevarse de 1 a 1.5 la relación de compresión utilizable para un mismo combustible. Aunque la inyección sea indirecta (fuera del cilindro, en el conducto de admisión y frente a esa válvula), la diferencia sigue siendo apreciable respecto al carburador.

4. El suministro de combustible a cada cilindro puede ser perfectamente medido y recibir todos ellos la misma cantidad, mientras que con los carburadores hay desigualdades que pueden alcanzar hasta un 30%, o sea que en los cilindros entra mezcla demasiado rica y en otros excesivamente pobre, a causa del distinto recorrido de ésta por los tubos ramificados del colector.

6. La aceleración y desaceleración son más rápidas porque, al contrario de lo que ocurre en los carburadores, la cantidad de gasolina inyectada varía instantáneamente según la posición del acelerador.

7. Como puede cortarse totalmente el suministro cuando se levanta el pie del acelerador, se ahorra el combustible que siguen gastando los carburadores por el sistema de ralentí, por el cual sale bastante gasolina, dada la enorme succión que hace el motor girando aún deprisa, con la mariposa cerrada; como consecuencia, no se diluye tanto el aceite de engrase.

8 Por último, se obtiene una notable elasticidad del motor que, por ejemplo, pasará de 600 a 6000 r.p.m. en directa y pisando a fondo, sin golpeo ni vibraciones, con franca superioridad a los carburadores.

En resumen, para el mismo motor, con la inyección se alcanza más potencia (aumento de: 10% al 20%), más elasticidad y menor consumo (hasta un 10% menos), lo que permite, sobre todo, aceleraciones más rápidas y marchas más suaves.

En contra, el mecanismo es más caro, complicado y de cuidado más delicado con relación a los carburadores.

2.4.3. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN.

La misión de la inyección de gasolina es hacer llegar a cada cilindro el combustible exactamente necesario para las necesidades del motor en cada momento.

Con la inyección de gasolina controlada electrónicamente se registra una cantidad discrecional de datos de servicio, en cualquier lugar del vehículo, para su posterior conversión en señales eléctricas mediante captadores. Estas señales se hacen llegar a la unidad de control de la instalación de inyección, la cual las procesa y calcula inmediatamente el caudal de combustible a inyectar, cuyo valor depende de la duración de la inyección.

La supresión del carburador permite un diseño óptimo de las vías de aspiración que favorece el mejor llenado de los cilindros. El combustible se inyecta directamente delante de las válvulas de admisión, pues a través de éstas sólo se suministra aire al motor. Las tuberías de admisión se diseñan de forma que favorecen el flujo, para una adecuada distribución del aire y un llenado óptimo de los cilindros. Con ello se logra una elevada potencia específica y una evolución del par motor adecuada a la práctica.

2.4.9. EL SISTEMA DE INYECCIÓN K-Jetronic.

Este sistema trabaja mecánicamente dosificando el combustible de forma continua, en función del caudal de aire que aspira el motor, con ayuda de la sonda lambda y de un equipo electrónico adicional para la regulación Lambda.

El K-Jetronic se divide en tres campos de funcionamiento (Fig. 2.22): medición del caudal de aire, alimentación del combustible y preparación de la mezcla.

Medición del caudal de aire.

El volumen de aire aspirado por el motor se controla mediante la mariposa y se mide con el medidor de caudal de aire.

Alimentación de combustible.

El combustible alimenta al distribuidor-dosificador por medio de la electrobomba a través del acumulador de combustible y el filtro. Luego, ese distribuidor-dosificador lo dosifica a las válvulas de inyección en los tubos de inyección de cada cilindro.

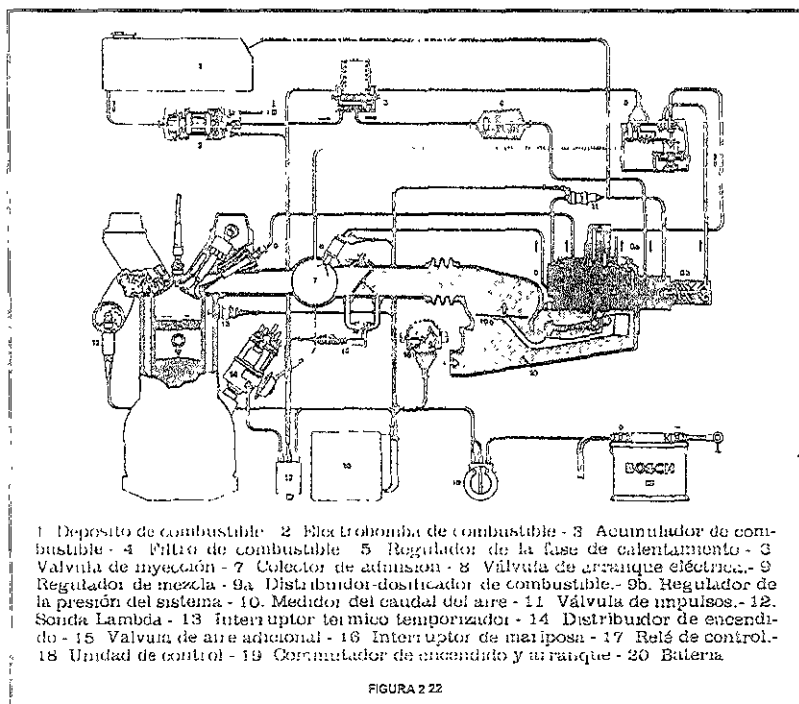
Preparación de la mezcla.

El caudal de aire aspirado por el motor según la posición que tenga la mariposa, determina la cantidad de combustible. Se mide con el medidor de caudal de aire, que ejerce el control del distribuidor-dosificador.

El medidor del caudal de aire y el distribuidor-dosificador son partes integrales del regulador de la mezcla. La inyección del combustible se realiza de forma continua, es decir sin que influya la posición de la válvula de admisión. La mezcla es "prealmacenada" durante la fase de cierre.

La regulación Lambda.

Incorporando al sistema una sonda Lambda, ésta suministra a la unidad de control una señal sobre la composición momentánea de la mezcla.



La sonda Lambda 12 (Fig. 2.22) va montada en el tubo de escape del motor en un punto, en el que existe la temperatura necesaria para su actuación en todo el margen del funcionamiento del motor (Fig. 2.23), de manera que penetra en la corriente de los gases de escape.

Ha sido concebida de forma que el lado externo del electrodo queda inmerso en los gases de escape, y su lado interno se encuentra en comunicación con el aire exterior.

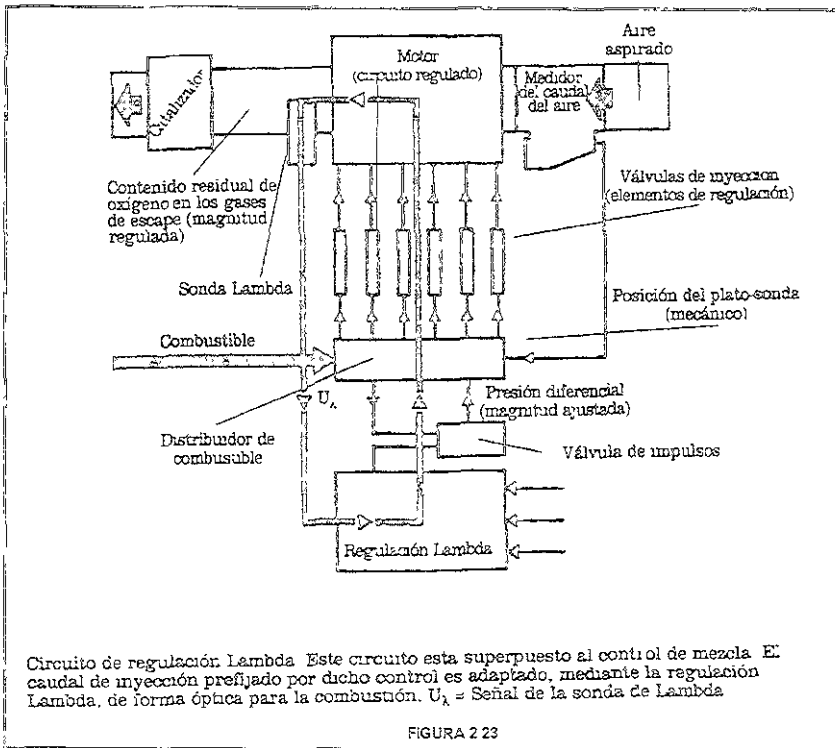


FIGURA 2.23

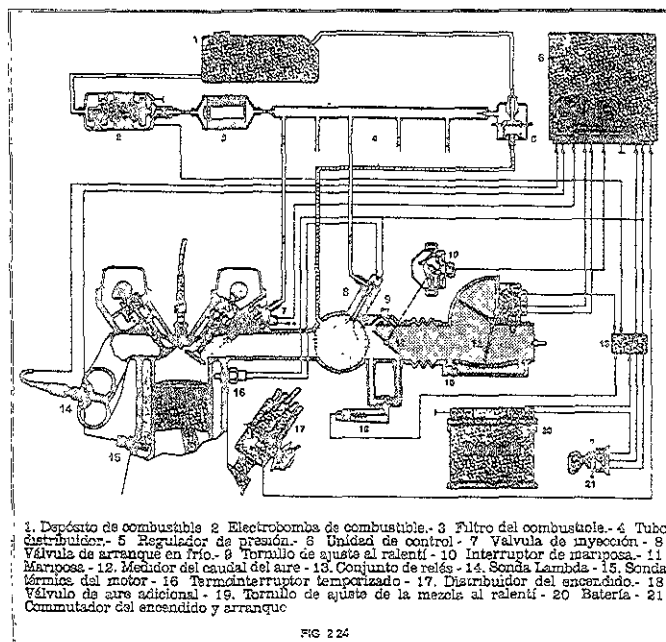
2.4.10. EL SISTEMA DE INYECCIÓN L-Jetronic.

Es un sistema de inyección (Fig. 2.24) sin accionamiento mecánico, controlado electrónicamente, con el que se inyecta intermitentemente combustible en el colector de admisión

Con este sistema de inyección, el motor recibe únicamente la cantidad de combustible que efectivamente necesita, recibiendo cada cilindro lo mismo que los demás en todos los estados de servicio.

El volumen de aire aspirado por el motor es medido instantáneamente y utilizado como parámetro principal para determinar la cantidad de combustible a inyectar, el cual es dosificado de una manera óptima por los inyectores de mando electromagnético. La duración de la apertura de los mismos es proporcional a la cantidad de combustible suministrado y está determinada por un dispositivo electrónico de mando.

El sistema de inyección L-Jetronic se combina generalmente con sistema de regulación por sonda Lambda, para mejorar la composición de la mezcla y disminuir la emisión de gases tóxicos. Por otro lado, dado el carácter electrónico del mando de la inyección, se prevén distintas sondas, emplazados sobre el motor en los lugares convenientes, para generar las oportunas señales que, a través del módulo electrónico, proporcionan la corrección de dosificación en función de las condiciones por las que atraviese el funcionamiento del motor.



2.5. SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES.

Se considera que el motor del automóvil es uno de los factores que principalmente contribuyen a la contaminación atmosférica. Los hidrocarburos parcialmente quemados, y el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno emitidos en los escapes de los automóviles crean una niebla fotoquímica llamada "smog". Cuando la concentración del "smog" es suficientemente elevada, tiene efectos definitivamente irritantes en los ojos y en los pulmones.

Existen básicamente tres fuentes de emisiones en el motor del automóvil.

1. *Los vapores del cárter.* Estos vapores están compuestos de ciertas cantidades de la carga de combustible comprimido y de gases del escape que pasan por los anillos de los pistones, como fugas, y se acumulan en el cárter. Estos vapores representan aproximadamente 20% de las emisiones del motor.

2. *Emisiones del escape.* Estas emisiones contienen: a) hidrocarburos (HC) que son básicamente combustible crudo que se produce en los periodos en que la mezcla aire-combustible es excesivamente rica (mayor cantidad de combustible de la debida), b) monóxido de carbono (CO), que es un gas venenoso, invisible, inodoro, c) óxidos de nitrógeno (NO), cuando la mezcla es pobre (mayor cantidad de aire de la debida). Estos tres productos secundarios constituyen el 60% de las emisiones del motor.

3. *Emisiones producidas por la evaporación del combustible.* La evaporación del combustible y del tanque del combustible se producen constantemente, y contribuyen con aproximadamente, el 20% de las emisiones del vehículo. El desprendimiento de estos gases es mayor durante los periodos de enfriamiento, inmediatamente después que se ha parado el motor.

2.5.1. SISTEMAS DE VENTILACIÓN PCV DEL CÁRTER.

Durante la operación del motor una cierta cantidad de la carga del combustible y de los gases del escape se cuejan por los anillos de los pistones al cárter.

La presencia de los gases de escape y de la condensación de la humedad en el cárter contamina el aceite del motor. Esta combinación de elementos da por resultado la formación de lodos en el aceite. Si se descuida, estos lodos pueden tapan la coladera del aceite y las galerías del aceite con resultados desastrosos. Además, estos contaminantes son muy corrosivos y sus ácidos pueden atacar y oxidar las superficies internas del motor que están muy pulidas. La ventilación adecuada del cárter para eliminar estas emanaciones, gases y vapores condensados, es esencial para evitar la contaminación del aceite del motor y prolongar la vida del mismo motor.

Sistema abierto para la ventilación del cárter.

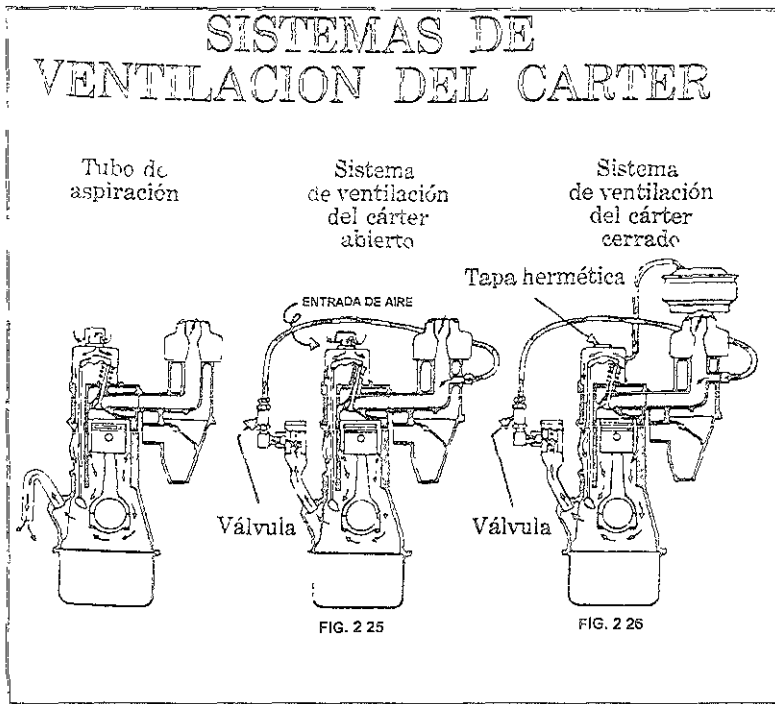
El sistema de ventilación del cárter, llamado "PCV", ayuda a reducir la contaminación del aire producida por los vapores del cárter. Los gases que escapan entre los cilindros y los pistones se extraen del cárter por el enrarecimiento que existe en el múltiple de la admisión, a través de tuberías dentro del múltiple, de donde van a los cilindros del motor donde se queman (Fig.2.25). La cantidad de aire que circula por el sistema se controla por una válvula de aguja oscilante como algunas veces se llama.

Con la eliminación de la mayor porción de los gases que escapan entre el pistón y el cilindro se reduce la contaminación del aceite, se eliminan en gran parte el vapor de agua, la oxidación y los elementos corrosivos y la vida del motor se alarga mucho. Todos estos beneficios se logran al mismo tiempo que se reduce la contaminación del aire.

Cuando se descuida el mantenimiento del sistema PCV, usualmente la válvula deja de funcionar, ya que se encuentra en la tubería que lleva los contaminantes del cárter. Cuando esto sucede, el sistema se obstruye, aumenta la presión en el cárter y sus vapores y gases de escape son expulsados del cárter de regreso al respiradero del tapón. No solamente se pierden los beneficios del sistema PCV, sino que de nuevo los gases del cárter están contaminando la atmósfera. Esta situación perjudicial condujo al invento del sistema PCV cerrado.

Sistema PCV cerrado.

En el sistema PCV cerrado (Fig. 2.26), el tapón del aceite con respiradero se reemplaza con un tapón cerrado. El aire que entra al sistema se introduce por el filtro de aire del carburador. El aire que circula en el sistema está controlado, gobernado por el enrarecimiento en el múltiple de la admisión, igual que el sistema estándar PCV. Sin embargo, si se descuida el sistema cerrado hasta el grado que la presión en el cárter produzca una circulación invertida de los gases y vapores, éstos serán introducidos al carburador a través del filtro de aire. Los gases que producen contaminación no serán descargados a la atmósfera, sino que se quemarán en el motor.



2.5.2. LOS CATALIZADORES.

La existencia de elementos nocivos contaminantes, en los gases de escape de los automóviles, es consecuencia del resultado de una combustión imperfecta, ya que un motor ideal que funcionara en perfectas condiciones, solamente produciría vapor de agua y dióxido de carbono

Uno de los sistemas que se ha revelado como más eficiente para reducir esta emisión de gases perjudiciales, es mediante el empleo de los convertidores catalíticos o catalizadores, en los que se "queman" los gases de escape contaminantes, reduciéndolos en más de un 75%, a elementos inofensivos.

El catalizador tiene como misión disminuir las emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno contenidos en los gases de escape de un vehículo mediante la técnica de la catálisis. Al reducir las emisiones de escape mediante este dispositivo se evita la formación de ozono correspondiente. Se trata de un dispositivo (Fig. 2.27), que se monta en el tubo de escape, inmediatamente después del múltiple de escape, ya que ahí los gases mantienen una temperatura elevada. Esta energía calorífica pasa al catalizador y eleva su propia temperatura, lo cual es indispensable para que este dispositivo tenga un óptimo rendimiento, que se alcanza entre los 400 y 700 grados centígrados.

Interiormente contiene un soporte cerámico o monolítico, de forma ovalada o cilíndrica, con una estructura de múltiples ceidillas en forma de panal (unas 70 por cm^2), que permite una amplia extensión de contacto para los gases de escape. Su superficie está recubierta de una sustancia activa (resina), a base de platino y paladio (que permite la función de oxidación), así como de rodio (que interviene en la reducción); es decir, inician y aceleran las reacciones químicas entre otras sustancias con las que no entran en contacto, de tal modo que oxidan a los gases de escape y los transforman a elementos inocuos como nitrógeno, dióxido de carbono y agua.

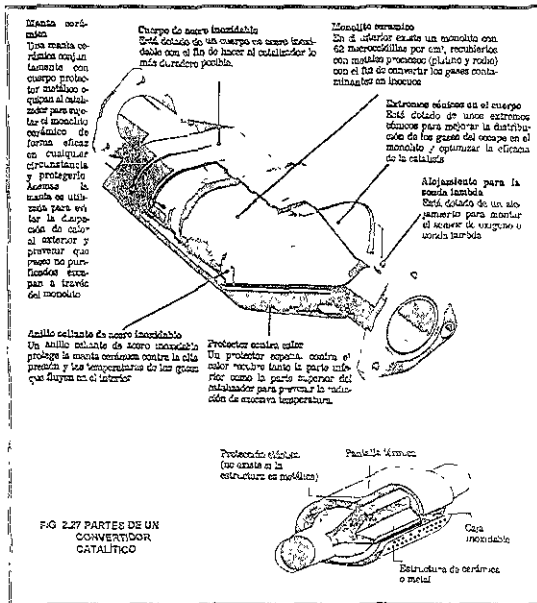
La eficacia del catalizador depende de que la relación estequiométrica (mezcla de aire/gasolina) sea lo más constante posible.

Tipos de catalizadores

Según el sistema de funcionamiento, los catalizadores pueden ser de tres tipos:

Catalizador oxidante: Es el más sencillo y barato. Dispone de un sólo soporte cerámico que permite la oxidación de carbono y de los hidrocarburos.

Catalizador de dos vías: También llamados de oxidación, de doble efecto, o doble cuerpo, son en realidad un doble catalizador de oxidación con toma intermedia de aire. El primer cuerpo actúa sobre los gases ricos del escape, reduciendo al óxido de nitrógeno, mientras que el segundo lo hace sobre los gases empobrecidos gracias a la toma intermedia de aire, reduciendo el monóxido de carbono y los hidrocarburos.



Catalizador de tres vías: Son los más complejos, sofisticados y caros (siendo en la actualidad los más usados), y su evolución tecnológica ha desbancado a los llamados catalizadores de doble cuerpo en los que la oxidación de los gases contaminantes era incompleta. Los catalizadores de este tipo se llaman de tres vías, porque en ellos se reducen simultáneamente los tres elementos nocivos más importantes: monóxido de carbono, hidrocarburos y óxido de nitrógeno.

Su mayor eficacia depende de la mezcla de los gases de admisión. Para que funcionen perfectamente los catalizadores de tres vías, es preciso que la mezcla aire-gasolina tenga la adecuada composición (es decir, que se mezclen 14.7 Kg de aire por 1Kg de gasolina).

El dispositivo que controla la composición de la mezcla es la *sonda lambda*, que efectúa correcciones constantes sobre la mezcla inicial de aire y combustible, según el valor de la concentración de oxígeno medida en el escape.

Una de las normas más importantes que debe seguir el conductor de un automóvil equipado con catalizador, es usar gasolina sin plomo, pues una pequeña cantidad del mismo al paso por las celdillas del catalizador, se iría depositando sobre la sustancia activa, (metales de paladio, platino y rodio) acabando por inutilizarla en poco tiempo.

La sonda lambda.

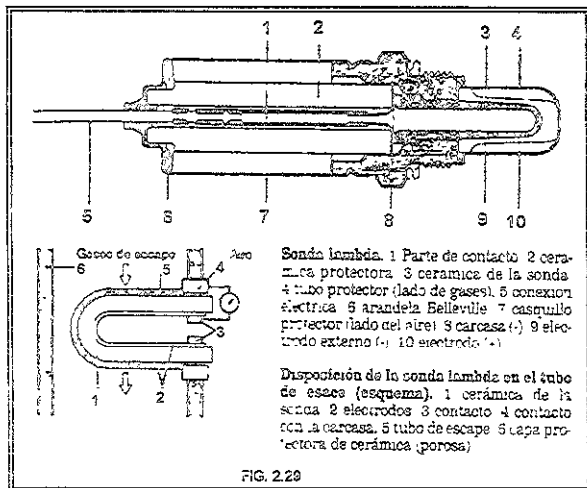
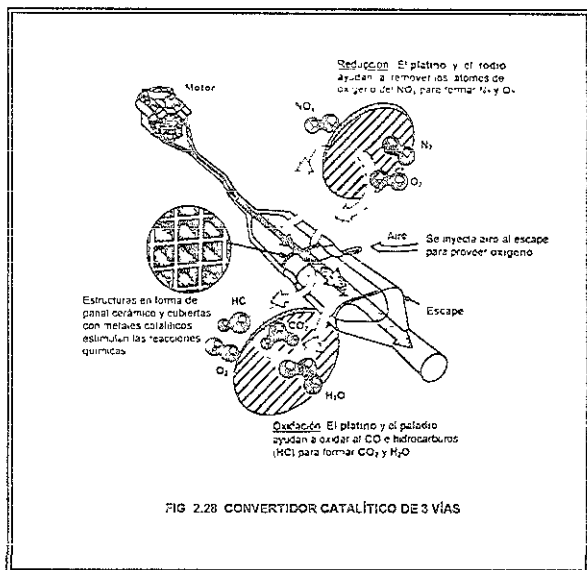
La sonda lambda es un dispositivo que va montado en el tubo de escape antes del catalizador, que recibe datos de la configuración de los gases de escape y, en función de su lectura, ordena a la inyección las modificaciones necesarias para mantener la relación en su grado óptimo.

Consta esencialmente de un cuerpo especial cerámico cuyas superficies han sido dotadas de electrodos de platino permeables a los gases. Ésta se monta (Fig 2.28) de manera que la corriente de gases bañen su electrodo externo. A su vez el electrodo interno está en contacto con el oxígeno atmosférico a través del material cerámico, que al ser poroso permite la difusión del oxígeno del aire.

La efectividad de la sonda se basa en que el material cerámico es poroso, lo que permite la difusión del oxígeno del aire (electrolito sólido). La cerámica se hace conductora a elevadas temperaturas.

Cuando el contenido de oxígeno, es diferente a ambos lados de los electrodos, aparece entre ellos, una tensión eléctrica cuyo valor depende de la diferencia en el contenido de oxígeno. En particular, cuando la composición de la mezcla, estequiométrica, es de 14.7 Kg de aire por 1 Kg de gasolina (de $\lambda = 1$) se origina un salto de tensión entre los electrodos. Esta tensión genera una corriente eléctrica que se envía por el cable a un sistema de control, que al actuar sobre la mezcla, la lleva a su valor estequiométrico, representando la señal de medición.

Por tanto, la función del catalizador de tres vías puede realizarse, siempre que el automóvil disponga de un control electrónico de la mezcla. Es especialmente idóneo para motores dotados de bomba de inyección (sistema K-Jetronic) o de carburadores controlados electrónicamente.

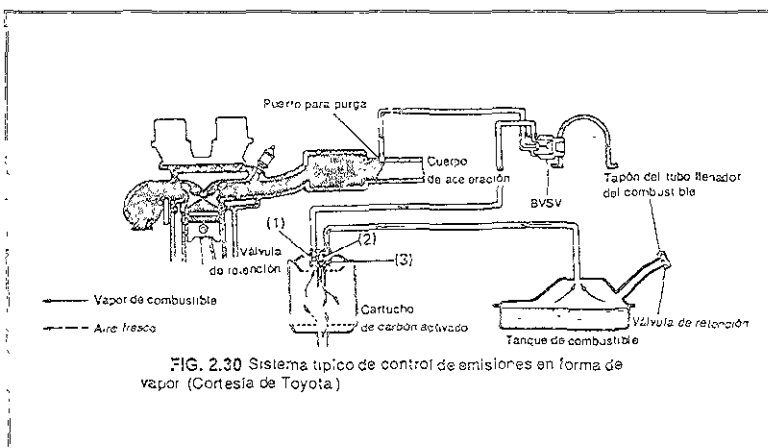


2.5.3. SISTEMA DE EMISIONES EVAPORATIVAS.

Este sistema evita que el combustible en estado líquido o gaseoso salga del automóvil sin pasar por la cámara de combustión. El sistema puede empezar con boquillas llenadoras especiales, para recoger el vapor, como las que usan algunas gasolineras. El tapón del tubo del tanque de combustible, el separador del líquido de combustible en la parte superior del tanque, las líneas y válvulas de vapor que guían a éste al cartucho de carbón activado, el filtro del cartucho, la válvula de control y la manguera al múltiple de admisión, son todas las partes que se usan en los controles de emisión de vapores. También puede utilizarse una manguera para vapor, desde el área del flotador del carburador, hasta el cartucho de almacenamiento (Fig. 2.30).

De la válvula reductora de presión (o separador) la tubería para la transferencia del vapor va a una lata de *carbón vegetal activado que está colocada en el compartimento del motor*. Otra tubería sale de la lata o depósito a la manguera del sistema de ventilación del cárter. Cuando el motor está funcionando, los vapores del tanque de combustible se extraen constantemente y se envían al motor. Cuando el motor se para, los vapores de combustible generados por el calentamiento residual los absorbe el carbón activado. Cuando se vuelve a arrancar el motor, el enrarecimiento que produce el motor hace pasar aire a través del depósito de granulos de carbón vegetal extrayendo los vapores absorbidos de combustible inyectándolos dentro del motor.

Los granulos de carbón activado contenidos en el depósito tienen una capacidad de aproximadamente 50 gramos de vapor, que es el equivalente de 2 a 3 onzas de gasolina líquida. Esta capacidad es la adecuada para contener con eficacia los vapores de combustible, aun cuando el vehículo esté estacionado un tiempo prolongado. La cantidad de combustible que pasa por el sistema de control del vapor en cualquier tiempo es demasiado pequeña para que produzca cualquier efecto que se pueda medir en el funcionamiento del motor o en la economía del combustible.



CAPÍTULO 3

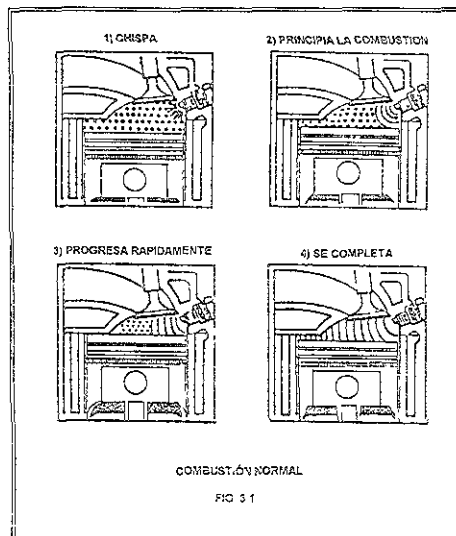
ADITIVOS EN LA GASOLINA

DEFINICIÓN:

Los aditivos son compuestos o productos químicos que se añaden a la gasolina o al diesel en pequeñas proporciones para mantener y/o mejorar su calidad.

3.1. COMBUSTIÓN NORMAL DE LA MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE.

La combustión de la mezcla en el motor debe comenzar en la bujía cuando las moléculas alrededor de la chispa son energizadas, por lo que el proceso de combustión depende de la habilidad de la llama para avanzar a través de la mezcla que aún no se incendia. Alrededor de los electrodos de la bujía se forma un frente de flama esférico que ha de recorrer toda la cámara de combustión, de aquí que el proceso de combustión no sea simultáneo sino progresivo. La combustión ocasiona que las moléculas incendiadas se expandan y compriman a todas aquellas que aún no han sido incendiadas con la consiguiente elevación de presión, temperatura y turbulencia de la mezcla (Fig. 3.1).



3.2. LA DETONACIÓN.

La mezcla aire-combustible puede también incendiarse espontáneamente sin la necesidad de un agente exterior (chispa eléctrica) que provoque la combustión. Este fenómeno puede ocurrir debido a dos causas diferentes; la primera es ocasionada por la formación de puntos calientes como depósitos de carbón incandescentes que producen la combustión de la mezcla. Esto se denomina preignición. La segunda causa de autoencendido es el incremento de la presión y temperatura a valores superiores a las condiciones de ignición del combustible utilizado. Esto se denomina detonación (Fig. 3.2). El autoencendido produce una combustión incontrolable ya que por lo regular siempre ocurre en las regiones externas al frente de la flama, provocando con ello ondas de presión. El choque de estas ondas de presión produce ruidos y vibraciones anormales en la estructura del motor (golpeteo o cascabeleo). La combustión de un combustible en un motor de encendido por chispa debe ser rápida pero no explosiva, porque una estructura metálica no puede resistir impactos mucho tiempo.

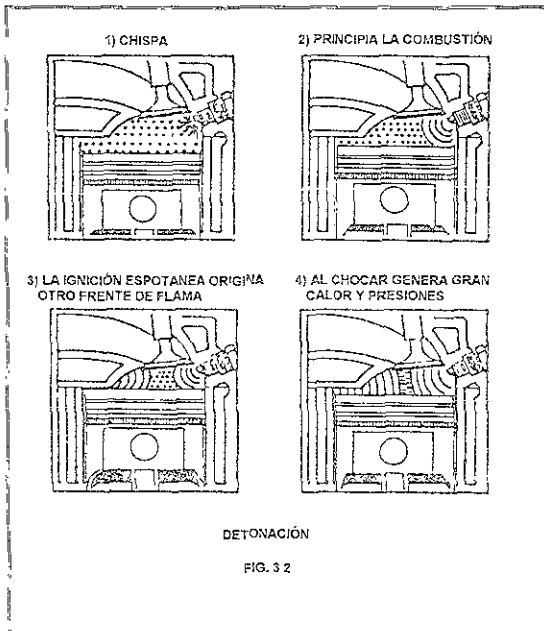


FIG. 3 2

3.3. EL NÚMERO DE OCTANAJE.

Como se dijo en el apartado anterior, la detonación es la consecuencia de una combustión anormal de carácter explosivo que depende de las características del combustible y se produce tanto más fácilmente cuanto mayor es la relación de compresión del motor.

Cuando el combustible tiene la capacidad de soportar sin detonación compresiones elevadas se dice que tiene alto poder antidetonante. Las cualidades de un carburante dependen esencialmente del poder antidetonante cuya medida está dada por el número de octanaje: N.O. El valor N.O. de un carburante se obtiene comparándolo con combustibles de referencia constituidos por mezclas de iso-octano y heptano.

Al iso-octano C_8H_{18} (que resiste bien a la detonación), se le asigna convenientemente un N.O.=100 y al heptano C_7H_{16} (que detona con gran facilidad), un N.O.=0. Mezclando los dos combustibles en diferentes proporciones, se obtienen mezclas de todos los N.O. posibles entre 0 y 100.

Así, por ejemplo, un combustible, que da la misma intensidad de detonación que una mezcla compuesta por el 80% en volumen de iso-octano y por el 20% de heptano, tiene un N.O. de 80

Por lo tanto el número de octanaje es el porcentaje en volumen de iso-octano contenido en la mezcla heptano-iso-octano que, en el motor de prueba detona para el mismo valor de la relación de compresión que aquel para el cual detona el carburante ensayado.

Cuanto más elevado es el N.O. de un combustible, tanto mayor es su capacidad de resistir a la detonación y tanto mayor puede ser la relación de compresión en el motor. Como la potencia y el consumo específico dependen de la relación de compresión, puede decirse que dependen también del N.O. del combustible.

El N.O. de los carburantes puede aumentarse con la adición de pequeñas dosis de ciertas sustancias (aditivos) que permiten atenuar considerablemente el fenómeno del golpeteo en un motor de compresión elevada.

3.4. TIPOS DE ADITIVOS.

La clasificación de los aditivos varía de acuerdo con cada autor. En este caso, se clasificarán de acuerdo a su función.

1. Aditivos para incrementar el número de octanaje.

La gasolina simple es fácilmente detonante. La gasolina de mala calidad es la que tiene un número de octanaje inferior a 63, adecuada para motores de compresión de 5:1, de la época de 1920-25, ya remota; entre 63 y 75, es considerada mediana y tampoco se vende en muchos países. Desde 75 de octanaje, entra en la clasificación "regular o corriente", sobre todo entre 78 y 85. A partir de los 85 de octanaje, especialmente entre 90 y 95, recibe el nombre de gasolina premium o supercarburante, si bien esta denominación "super", parece reservarse, últimamente, para los combustibles de 100 o más de octanaje

La "premium" y casi siempre la "regular", no sólo son productos cada vez más refinados, si no que alcanzan su elevada cualidad antidetonante gracias al aditivo.

Cuando las compañías productoras de gasolina, de acuerdo con los reglamentos federales de la EPA, eliminaron el tetraetil de plomo en la gasolina (por el efecto dañino del plomo para la salud) se desarrollaron otros métodos para mantener sus propiedades antidetonantes. Estos compuestos son los mejoradores de octanaje (aditivos) y se agrupan en tres categorías:

1. Hidrocarburos aromáticos (hidrocarburos que contienen el anillo benceno), como el xileno y el tolueno.
2. Alcoholes como el etanol (alcohol etílico), metanol (alcohol metílico), y alcohol de butilo terciario (TBA)
3. Compuestos metálicos como el tetraetil de plomo (TEL) y metilciclopentadienil manganeso tricarbonil (MMT)

Tanto el TEL como el MMT han resultado ser dañinos para autos con convertidor catalítico y ya no se emplean como mejoradores de octano en la gasolina.

El propano y el butano, que son subproductos volátiles del proceso de refinación, también se agregan a la gasolina como mejoradores de octanaje.

A continuación se muestra una lista con los distintos tipos de combustibles alternativos más utilizados a los cuales se les ha mejorado el número de octanaje y producen una mejor y más limpia combustión debido a aditivos oxigenados (alcoholes y éteres):

E5: Es una mezcla de gasolina super sin plomo con 5% de etanol anhidrido (se entiende por etanol anhidrido al que tiene el 99.5% como grado de hidratación).

GASOHOL (E10): Es una mezcla que contiene 90% de gasolina super sin plomo y 10% de etanol anhidro por volumen.

ALCONAFTA (E15): Es una mezcla que contiene 15% de etanol anhidro y 85% de gasolina super por volumen.

E85: Es una mezcla que contiene 85% de etanol anhidro y 15% de gasolina super sin plomo por volumen.

E93: Es una mezcla que contiene 93% de etanol anhidro, 5% de metanol anhidro y 2% de keroseno por volumen.

E95: Es una mezcla que contiene 95% de etanol anhidro y 5% de gasolina super sin plomo por volumen.

E100: Es etanol anhidro al 100%

ETBE(éter etil butil terciario): Es un aditivo que oxigena la gasolina ayudando a una combustión más limpia. Se puede añadir a la gasolina hasta un 17% del volumen.

M85: Es una mezcla que contiene 85% de metanol anhidro y 15% de gasolina super sin plomo por volumen. Se utiliza en motores originalmente diseñados para gasolina.

M100: Es metanol anhidro al 100%. Se utiliza en motores diseñados originalmente Diesel.

MTBE(éter metil butil terciario): Es un aditivo que oxigena la gasolina, reduciendo la emisión de monóxido de carbono.

Son utilizados con buenos resultados en los EE.UU. Canadá y Brasil. Laalconafta fue utilizada en Argentina entre los años 1981 y 1988.

Los compuestos oxigenados utilizados como aditivos para gasolinas surgen como una opción primordial frente a la disyuntiva actual de los productores: preservación del medio ambiente y mejoramiento constante de las gasolinas. El agregado de un 10% de estos aditivos en las gasolinas eleva el octanaje de las mismas, favorece la combustión y evita el uso de plomo o altas concentraciones de aromáticos.

2. Agentes Antipreignición

Estos compuestos pueden reducir la ignición superficial (causada por los depósitos en los pistones de carbones calientes del combustible), al producir un depósito que tiene mucho menor tendencia a la incandescencia.

Al resolver el problema de la ignición superficial con este aprovechamiento químico, las relaciones de compresión fueron mantenidas a altos niveles y la eficiencia se incrementó. Los más comunes son los fosfoésteres, entre ellos: cresildineilfosfato y metildifenil fosfato.

3 Anticongelantes.

Usados para inhibir la formación de hielo en los combustibles. En el carburador, el hielo se forma por el congelamiento del vapor de agua del aire de la mezcla.

Hay dos tipos de anticongelantes:

a) Los que se disuelven en el agua y bajan su punto de congelación: incluyen alcoholes, glicoles y formamidas. Los menos efectivos son los alcoholes de bajo peso molecular, como el metanol e isopropanol, usados en una concentración de 0.5% a 2% en volumen y los compuestos más eficientes como dimetilformamida, dipropilenglicol y hexilenglicol usados en un rango de 0.02 a .2% en volumen.

b) Los que por acción superficial reducen la cohesión y adherencia del hielo formado como, por ejemplo, sales de aminas, amoníaco, fosfatos, etc. Las concentraciones usadas son de .002 a .01% en volumen.

4. Inhibidores a la corrosión.

La corrosión se produce por el agua y aire disueltos en la gasolina y el agua acumulada en los tanques de los vehículos.

Los inhibidores solubles en la gasolina son populares y efectivos, debido a que pueden acompañar al combustible hasta que se consume, además de proteger el sistema de distribución del mismo.

5. Detergentes

Son usados para prevenir el crecimiento de suciedad en el sistema de combustible. Básicamente, los detergentes son jabones metálicos de alto peso molecular, solubles en aceites, y algunas veces descritos como derivados metálicos de compuestos orgánicos. Los metales usados generalmente son bario y calcio, aunque el aluminio, magnesio, estaño y zinc, son empleados ocasionalmente.

6 Lubricantes.

Son agregados para mejorar la lubricación del cilindro. Generalmente son aceites minerales livianos o destilados nafténicos de baja viscosidad. Se agregan en proporciones de 0.5% en volumen.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS

4.1. OBJETIVO.

El fin que se persigue al realizarle pruebas al motor de encendido por chispa, bajo varios regímenes de carga, es el de analizar su comportamineto, principalmente en el consumo de combustible, al usar gasolina con aditivo y sin éste.

4.2. GENERALIDADES.

Para el desarrollo de las pruebas se usaron cinco aditivos diferentes, uno para cada prueba, y cuyos nombres comerciales son:

ADITIVO	PRESENTACIÓN
1. <i>POWER 7</i>	LÍQUIDO
2. <i>COMCAT</i>	PASTILLA
3. <i>KATEK</i>	PASTILLA
4. <i>QUAZAR</i>	PASTILLA
5. <i>MOVIL GAS TREATMENT</i>	LÍQUIDO

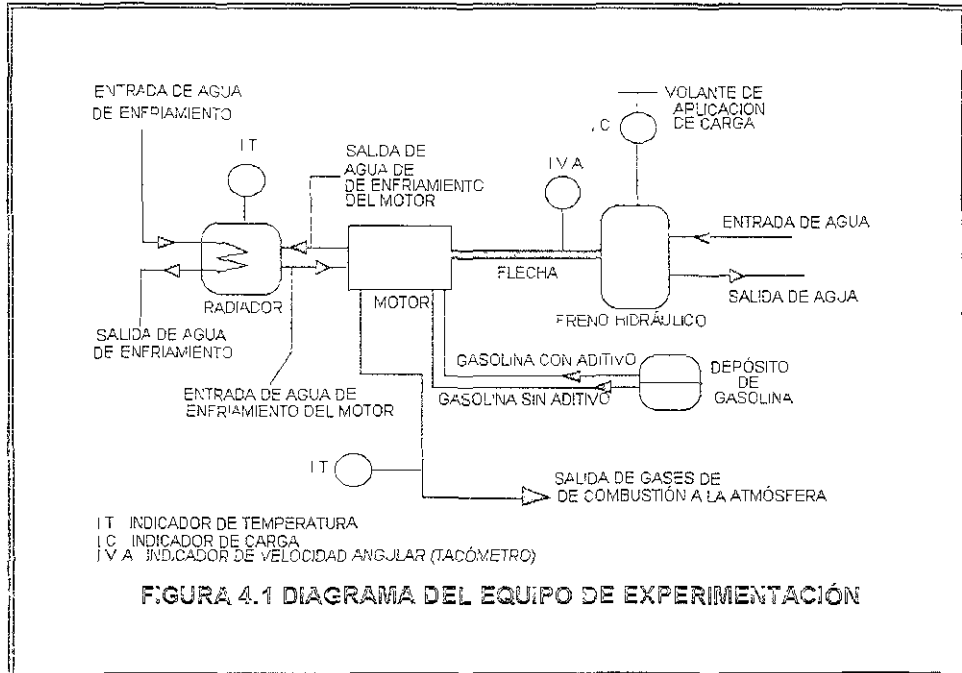
La proporción suministrada de cada aditivo fue la indicada según el modo de uso especificado en cada uno de ellos.

Para cada aditivo se desarrollaron pruebas a velocidad angular variable y a velocidad angular constante a diferentes regímenes de carga.

4.3. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

El motor en el que se realizaron las pruebas está instalado de manera que queda acoplado a un freno hidráulico por medio de la flecha motriz (Fig. 4.1), y cuyas características son las siguientes:

Marca: Ford
 Sistema carburado
 Tipo: 8 cilindros en V.
 Desplazamiento. 4949 cm³.
 Diámetro del pistón: 10.16 cm.
 Carrera del pistón: 7.6 cm.
 Relación de compresión: 8.2



4.4. DESARROLLO DE LAS PRUEBAS A VELOCIDAD ANGULAR VARIABLE.

Estas pruebas se llevaron a cabo a velocidad angular variable ya que inicialmente se daba al motor una velocidad angular determinada, y ésta iba disminuyendo por la aplicación de carga en el freno hidráulico; así, a cada aplicación de carga, se registraban las lecturas de velocidad que arrojaba el tacómetro, y del tiempo de consumo de gasolina tomando como referencia un nivel en el depósito de combustible.

El número de cargas aplicadas fue de cuatro, iniciando con la carga de la tara del freno hidráulico y continuando con incrementos de 3kg.

Una vez registradas las primeras lecturas de velocidad y de tiempo para la primera carga, usando gasolina con aditivo, se cerraba la válvula del depósito de la gasolina y se abría la válvula del depósito que contenía gasolina sin aditivo; se dejaba estabilizar el motor para tomar el registro de las lecturas correspondientes de tiempo y velocidad. El número de registros de éstas dos variables era de tres por cada carga aplicada. Este procedimiento fue el mismo para cada aplicación de carga.

El registro de las lecturas anteriores servirá para obtener una serie de parámetros tales como potencia al freno, gasto de combustible, eficiencias, etc., cuyas relaciones serán descritas más adelante.

4.5. DESARROLLO DE PRUEBAS A VELOCIDAD ANGULAR CONSTANTE.

Estas pruebas son con el fin de obtener la línea Willans y de ésta encontrar parámetros como potencia indicada, al freno y de rozamiento.

Se realizaron de la siguiente manera: iniciando con una velocidad angular determinada, se aplicaba al motor una carga con el freno hidráulico y, manteniendo esa velocidad angular inicial, entonces se hacía la toma de lecturas y de aplicación de cargas.

4.6. DEDUCCIÓN DE LAS RELACIONES PARA OBTENER POTENCIAS Y EFICIENCIAS.

Con el fin de determinar el valor de la potencia total producida por un motor a partir de pruebas experimentales, se utilizará el concepto de la línea Willans para obtener los valores de la potencia al freno y la potencia que se pierde por rozamientos (potencia de rozamiento).

Graficando sobre un sistema coordinado los valores de la potencia al freno y el gasto de combustible para una cierta velocidad (en r.p.m.), se obtiene una línea como la que se muestra en la figura 4.2. Extrapolando dicha curva hasta el cruce con el eje de las abscisas (potencia), el valor que dé sobre el eje es la cantidad de potencia que se pierde por fricción o por rozamientos en el motor, internamente. La cantidad numérica se cuenta a partir del origen y se toma como valor absoluto.

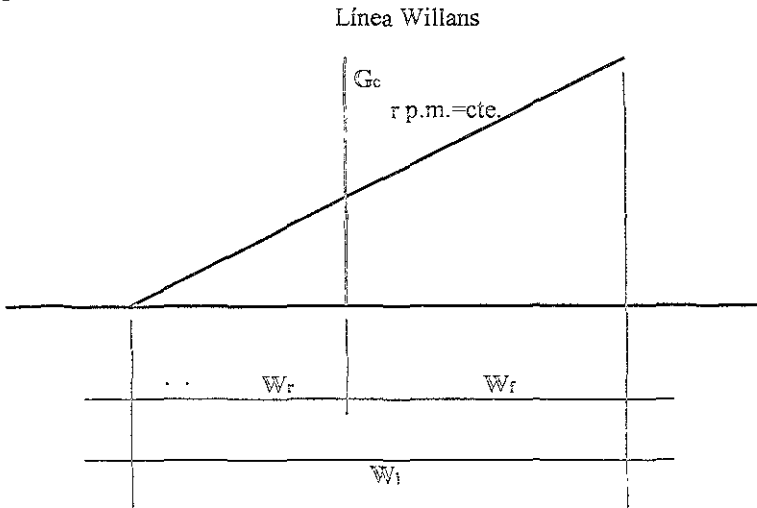


Figura 4.2

Por definición, la potencia indicada se expresa como:

$$W_i = W_f + W_r \quad (4-1)$$

Es decir, la potencia indicada (W_i) es numéricamente igual a la suma de las potencias al freno (W_f) y la de fricción (W_r).

Es posible obtener la presión media efectiva indicada en función de la potencia indicada, de la siguiente manera:

El trabajo W se define como:

$$W = F \cdot d \quad (4-2)$$

donde F es la fuerza, que se ejerce contra la cara del pistón y d es la distancia que recorre el pistón, es decir, es la carrera L

$$W = F \cdot L \quad (4-3)$$

La fuerza, F

$$F = P \cdot A \quad (4-4)$$

donde:

P = presión ejercida sobre la cara del pistón

A = área del pistón

de (4-3) y (4-4) se tiene:

$$W = P \cdot A \cdot L \quad (4-5)$$

La potencia es el trabajo efectuado en la unidad de tiempo,

$$W = W N \quad (4-6)$$

donde N = revoluciones por minuto [RPM]

de (4-5) y (4-6) se tiene:

$$W = P \cdot A \cdot L \cdot N \quad (4-7)$$

Ésta es la potencia que produciría un cilindro y en la cual se tiene una carrera de potencia por cada revolución. Para el caso en que se tengan "n" cilindros y un motor de cuatro tiempos (una carrera de potencia por dos revoluciones del cigüeñal), la expresión anterior quedará de la siguiente manera:

$$W = P \cdot A \cdot L \cdot N \cdot n / z \quad (4-8)$$

donde, z = num. de revoluciones/carrera de potencia.

$z = 2$ para un motor de 4 tiempos.

$z = 1$ para un motor de 2 tiempos.

n = número de cilindros.

PRESIÓN MEDIA EFECTIVA INDICADA (P_{mei}).

Es la presión media durante la carrera de trabajo o de expansión, menos la media de las presiones durante las otras tres carreras. Es la que realmente empuja el pistón hacia abajo durante la carrera de trabajo; y se relaciona con la potencia indicada con la ecuación:

$$P = (W_i \cdot z \cdot 60) / (A \cdot L \cdot N \cdot n) \quad (4-9)$$

donde:

P = presión media efectiva indicada (P_{mei}) en [kPa]

A = área de cada uno de los cilindros en [m^2]

L = carrera del pistón en [m^2]

W_i = potencia indicada en [kW]

N = revoluciones por minuto [RPM]

PRESIÓN MEDIA EFECTIVA AL FRENO (P_{mf}).

Es la presión promedio que actuando sobre los pistones del motor desarrolla una potencia equivalente a la obtenida en el freno, y se obtiene de la siguiente relación:

$$P = (W_f \cdot z \cdot 60) / (A \cdot L \cdot N \cdot n) \quad (4-10)$$

P = presión media efectiva al freno (P_{mf}) en [kPa]

A = área de cada uno de los cilindros en [m^2]

L = carrera del pistón en [m^2]

W_f = potencia al freno en [kW]

N = revoluciones por minuto [RPM]

POTENCIA INDICADA (W_i)

Es la producción de trabajo por unidad de tiempo desarrollado sobre los pistones del motor en la cámara de combustión. Se obtiene despejando de la relación (4-9), o de la línea Willans.

POTENCIA AL FRENO (W_f)

Es la cantidad de trabajo por unidad de tiempo que un motor entrega en la flecha, y se obtiene de la siguiente manera.

$$W_f = T \cdot \omega \text{ [kw]} \quad (4-11)$$

$$T = F \cdot d \text{ [kN}\cdot\text{m]} \quad (4-12)$$

$$\omega = 2 \pi \cdot N / 60 \text{ [1/seg]} \quad (4-13)$$

donde:

W_f = potencia al freno [kw]

T = par torsional [kJ]

F = fuerza o carga al freno [N]

d = brazo de palanca del freno hidráulico, 0.65[m]

N = revoluciones por minuto [RPM]

ω = velocidad angular [1/s]

de (4-11), (4-12), (4-13) y multiplicando la carga F del freno por 9.81[N] (porque su valor está dado en [kg]) y dividiendo todo por 1000 para obtener la potencia en [kW], se tiene:

$$W_f = (F \cdot d \cdot 9.81 \cdot 2 \cdot \pi \cdot N) / (60 \cdot 1000) \text{ [kW]} \quad (4-14)$$

POTENCIA DE ROZAMIENTO (W_r).

Es la potencia necesaria para vencer la fricción en los cojinetes, cilindros y otras partes mecánicas del motor y se determina despejando de la relación (4-1):

$$W_r = W_i - W_f \text{ [kW]} \quad (4-15)$$

GASTO DE COMBUSTIBLE (G_c).

Es el consumo por unidad de tiempo de combustible que requiere el motor en operación y se determina conociendo los parámetros que se muestran en la figura 4.2.

$$G_c = (\rho v / t) \quad (4-16)$$

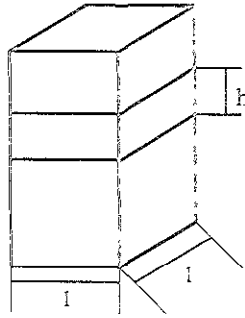
donde:

v = volumen consumido

t = tiempo

ρ = densidad

Fig. 4 3
Depósito de combustible



$$v = 11 \text{ h}$$

donde:

$$l = 10 \text{ cm}$$

$$h = 2 \text{ cm}$$

GASTO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE (G_{ec}).

Es un parámetro que muestra con cuanta eficiencia un motor convierte el combustible en trabajo. Se obtiene de la relación entre (4-14) y (4-16):

$$G_{ec} = G_c / W_f \text{ [its/nr-kW]} \quad (4-17)$$

ENERGÍA SUMINISTRADA (E_s).

Es la energía entregada al motor a través del consumo de combustible por unidad de tiempo, y se determina de la forma siguiente:

$$E_s = G_c \cdot PCA \text{ [kW]} \quad (4-18)$$

donde: G_c = gasto de combustible ($(\rho v / t)$
 ρ = densidad de la gasolina, $750 \text{ [kg/m}^3 \text{]}_{(magna)}$
 v = volumen consumido
 t = tiempo

PCA = poder calorífico del combustible, $46056 \text{ [kJ/kg]}_{(magna)}$

EFICIENCIA MECÁNICA DEL MOTOR (η_{mec}).

Es la relación entre la potencia al freno y la potencia indicada:

$$\eta_{mec} = W_f / W_i \quad (4-19)$$

EFICIENCIA INTERNA DEL MOTOR (η_{int}).

Es la relación entre la potencia indicada y la energía suministrada:

$$\eta_{int} = W_i / E_s \quad (4-20)$$

EFICIENCIA TÉRMICA O TOTAL DEL MOTOR (η_{ter}).

Es la relación entre la potencia al freno y la energía suministrada

$$\eta_{ter} = W_{f, E_s} = \eta_{mec} \cdot \eta_{nt} \quad (4-21)$$

EFICIENCIA DEL CICLO OTTO (IDEAL).

$$\eta_{Otto} = 1 - r^{(1-k)} \quad (4-22)$$

donde: k = relación de calores específicos
 r = relación de compresión del motor

METODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS.

Para el análisis de las pruebas a velocidad angular constante, se hará uso del método de los mínimos cuadrados para ajustar a una línea recta las lecturas registradas y así poder graficar la línea Willans.

Éste método establece que dada una muestra $\{(x_i, y_i), i=1,2,\dots,n\}$, las estimaciones de mínimos cuadrados m y b se calculan por medio de las siguientes relaciones:

$$m = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

$$b = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

donde: m = pendiente
 b = ordenada al origen

que corresponden a la ecuación de la recta: $y = mx + b$.

4.7. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

A continuación se mostrarán las lecturas registradas de los experimentos realizados para cada gasolina con aditivo y sin él, así como también las tablas de los cálculos obtenidos de los parámetros de interés y de los cuales se graficarán los más importantes como son los de gasto de combustible contra potencia al freno, a velocidad angular constante, gasto específico de combustible contra velocidad angular constante y gasto específico de combustible contra velocidad angular variable.

PRUEBA A VELOCIDAD ANGULAR CONSTANTE
(TOMA DE LECTURAS)

LECTURA	F[kg]	N[rpm]	Vol [litros]	POWER 7	SIN ADITIVO
				t[s]	t[s]
1	4	2300	0.2	87	82
		2300	0.2	88	84
		2300	0.2	89	85
		PROMEDIO		88.00	83.67
2	8	2300	0.2	83	82
		2300	0.2	85	82
		2300	0.2	83	83
		PROMEDIO		83.67	82.33
3	11	2300	0.2	74	72
		2300	0.2	75	74
		2300	0.2	75	75
		PROMEDIO		74.67	73.67
4	14	2300	0.2	64	63
		2300	0.2	64	64
		2300	0.2	64	62
		PROMEDIO		64.00	63.00

MEMORIA DE CÁLCULO PARA OBTENER "m" y "b" DE LA LÍNEA WILLAN'S

LECTURA	POWER 7			SIN ADITIVO		
	W[kW]	W ²	G _c [ts /hr]	W*G _c	G _c [ts /hr]	W*G _c
1	6 14	37 74	8 18	50 26	8 61	52 87
2	12 29	150 96	8 61	105 73	8 74	107 45
3	16 89	285 41	9 64	162 91	9 77	165 12
4	21 50	462 31	11 25	241 89	11 43	245 73
TOTAL	56 83	936 42	37 68	580 79	38 55	571 16

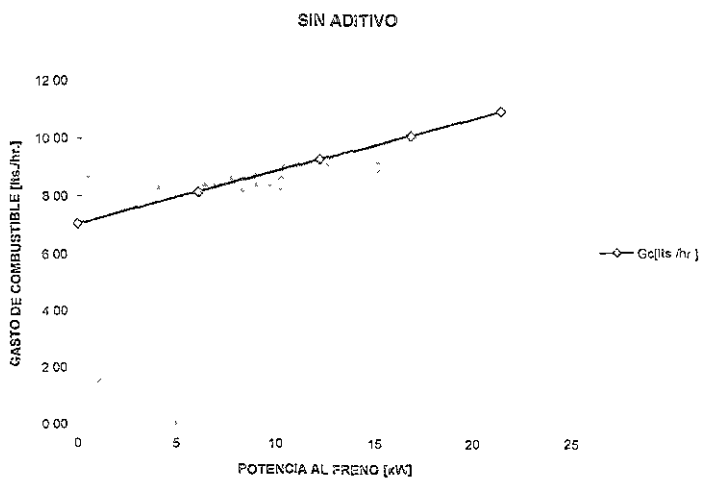
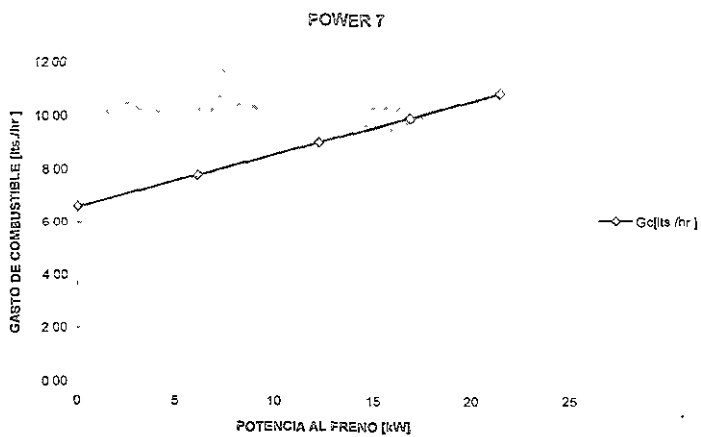
	POWER 7	SIN ADITIVO
PENDIENTE "m" =	0 1974	0 1817
ORDENADA AL ORIGEN "b" [ts /hr] =	6 62	7 06

TABLAS OBTENIDAS A PARTIR DEL MODELO MATEMATICO ANTERIOR

$$G_c = mWf + b$$

POWER 7	
W[kW]	G _c [ts /hr]
-33 51	0
0	6 62
6 14	7 83
12 29	9 04
16 89	9 95
21 50	10 86

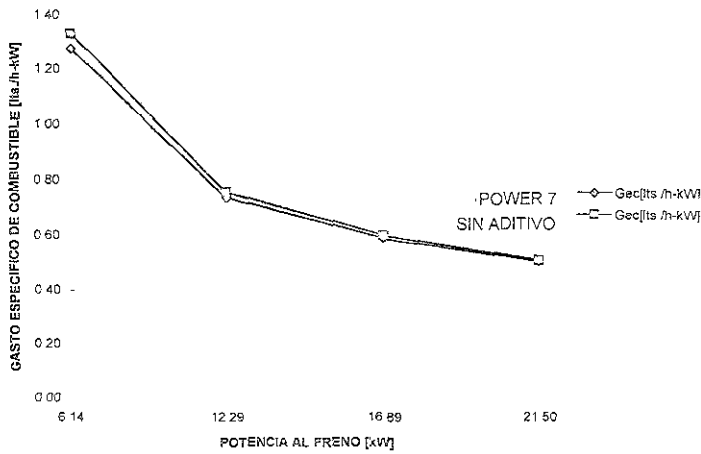
SIN ADITIVO	
W[kW]	G _c [ts /hr]
-38 84	0
0	7 06
6 14	8 17
12 29	9 29
16 89	10 13
21 50	10 96



POWER 7								
LECTURA	Wf[kW]	Gc[lts /hr]	Gec[lts /h-kW]	Wf[kW]	Es[kW]	Zmec %	Eint %	Eter%
1	6.14	7.83	1.27	39.65	78.50	15.49	50.51	7.83
2	12.29	9.04	0.74	45.79	82.57	26.83	55.46	14.88
3	16.89	9.95	0.59	50.40	92.52	33.52	54.47	18.26
4	21.50	10.86	0.51	55.01	107.94	39.09	50.96	19.92

SIN ADITIVO								
LECTURA	Wf[kW]	Gc[lts /hr]	Gec[lts /h-kW]	Wf[kW]	Es[kW]	Zmec %	Eint %	Eter%
1	6.14	8.17	1.33	44.98	82.57	13.66	54.47	7.44
2	12.29	9.29	0.76	51.12	83.91	24.03	60.93	14.64
3	16.89	10.13	0.60	55.73	93.76	30.31	59.43	18.01
4	21.50	10.96	0.51	60.34	109.66	35.64	55.02	19.61

CURVAS COMPARATIVAS
VELOCIDAD ANGULAR CCNSTANTE

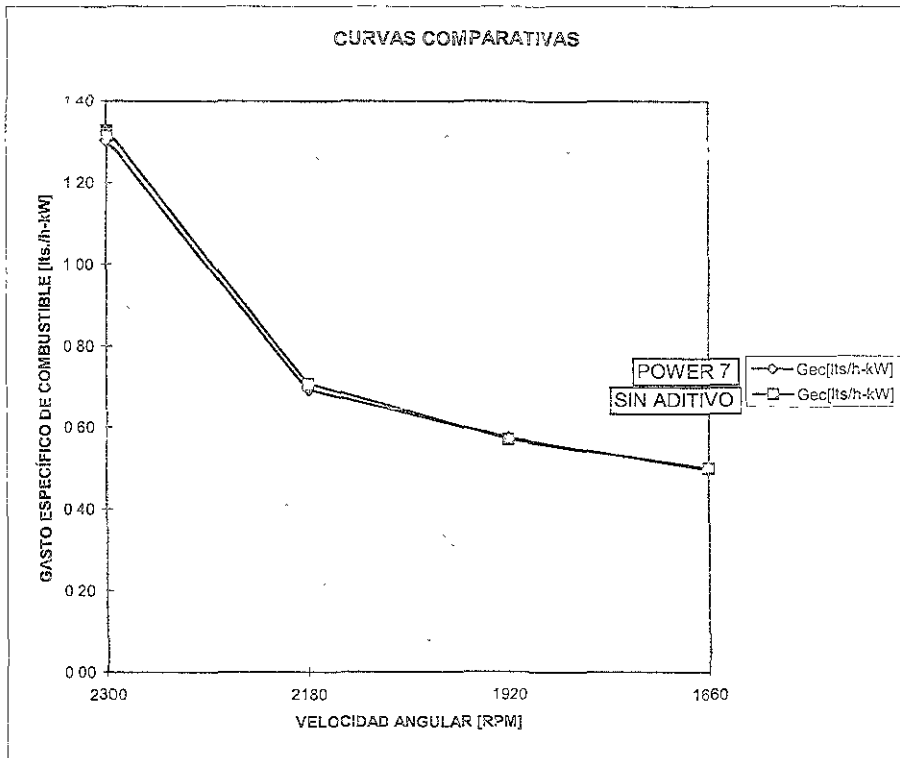


PRUEBA A VELOCIDAD ANGULAR VARIABLE
(TOMA DE LECTURAS)

LECTURA	F[kg]	N[rpm]	Vol. [fts.]	POWER 7	SIN ADITIVO
				t[s]	t[s]
1	4	2300	0.2	90	88
		2300	0.2	91	89
		2300	0.2	89	88
		PROMEDIO		90.00	88.33
2	8	2180	0.2	89	87
		2180	0.2	90	88
		2180	0.2	89	87
		PROMEDIO		89.33	87.33
3	11	1920	0.2	86	87
		1920	0.2	90	90
		1920	0.2	91	92
		PROMEDIO		89.00	89.67
4	14	1660	0.2	95	92
		1660	0.2	93	94
		1660	0.2	93	93
		PROMEDIO		93.67	93.00

LECTURA	N[rpm]	Wf[kW]	POWER 7				
			Gec[fts/h-kW]	Gc[fts./hr.]	Pmeff[kPa]	Es[kW]	Eter %
1	2300	6.14	1.30	8	65.04	76.76	8.00
2	2180	11.65	0.69	8.06	130.08	77.33	15.06
3	1920	14.10	0.57	8.09	178.86	77.62	18.17
4	1660	15.52	0.50	7.69	227.64	73.76	21.04

LECTURA	N[rpm]	Wf[kW]	SIN ADITIVO				
			Gec[fts/h-kW]	Gc[fts./hr.]	Pmeff[kPa]	Es[kW]	Eter %
1	2300	6.14	1.33	8.15	65.04	78.21	7.86
2	2180	11.65	0.71	8.24	130.08	79.10	14.72
3	1920	14.10	0.57	8.03	178.86	77.05	18.30
4	1660	15.52	0.50	7.74	227.64	74.28	20.89



PRUEBA A VELOCIDAD CONSTANTE
(TOMA DE LECTURAS)

LECTURA	F[kg]	N[rpm]	Vol [lts]	COMCAT	SIN ADITIVO
				t[s]	t[s]
1	4	2300	0.2	87	85
				86	85
				87	83
				PROMEDIO	86.67
2	8	2300	0.2	82	80
				84	80
				83	81
				PROMEDIO	83.00
3	11	2300	0.2	73	72
				74	73
				75	72
				PROMEDIO	74.00
4	14	2300	0.2	64	63
				64	63
				64	64
				PROMEDIO	64.00

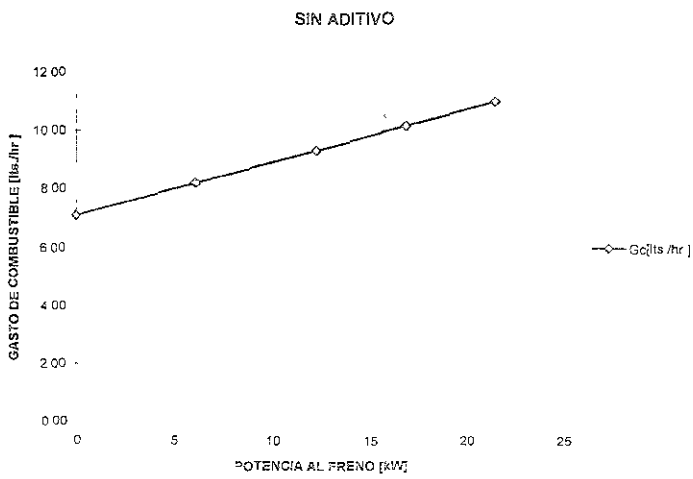
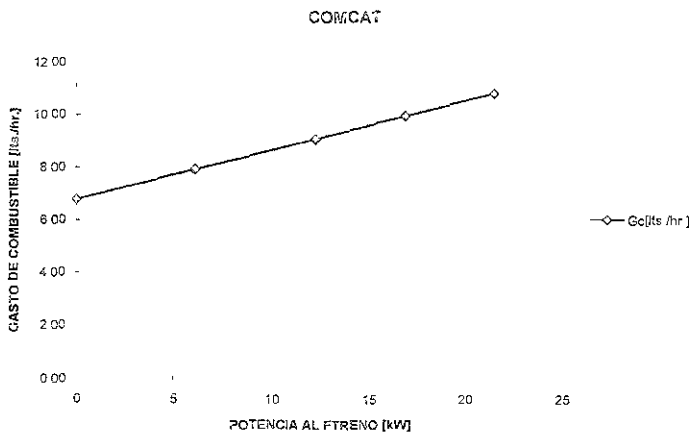
MEMORIA DE CALCULO PARA OBTENER "m" y "b" DE LA LINEA WILLAN'S

LECTURA	W _r [kW]	W _r ²	COMCAT		SIN ADITIVO	
			G _c [lts/hr]	W _r *G _c	G _c [lts/hr]	W _r *G _c
1	6.14	37.74	8.31	51.04	8.54	52.45
2	12.29	150.96	8.67	106.58	8.96	110.12
3	16.89	285.41	9.73	164.37	9.95	168.16
4	21.50	462.31	11.25	241.89	11.37	244.44
TOTAL	56.83	936.42	37.96	563.88	38.82	575.17

	COMCAT	SIN ADITIVO
PENDIENTE "m" =	0.1903	0.1831
ORDENADA AL ORIGEN "b" [lts/hr] =	6.79	7.10

COMCAT	
W _r [kW]	G _c [lts/hr]
-35.65	0
0	6.79
6.14	7.96
12.29	9.13
16.89	10.00
21.50	10.88

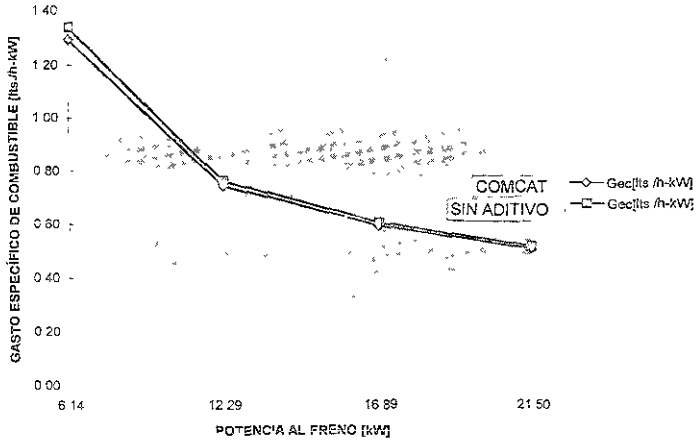
SIN ADITIVO	
W _r [kW]	G _c [lts/hr]
-38.81	0
0	7.10
6.14	8.23
12.29	9.35
16.89	10.20
21.50	11.04



COMCAT								
LECTURA	Wf[kW]	Gc[lts/hr]	Gec[lts/h-kW]	Wl[kW]	Es[kW]	Emec %	Eint %	Eter%
1	6.14	7.96	1.30	41.80	79.71	14.70	52.43	7.71
2	12.29	9.13	0.74	47.94	83.23	25.63	57.60	14.76
3	16.89	10.00	0.59	52.55	93.36	32.15	56.29	18.10
4	21.50	10.88	0.51	57.15	107.94	37.62	52.95	19.92

SIN ADITIVO								
LECTURA	Wf[kW]	Gc[lts/hr]	Gec[lts/h-kW]	Wl[kW]	Es[kW]	Emec %	Eint %	Eter%
1	6.14	8.23	1.34	44.95	81.92	13.67	54.87	7.50
2	12.29	9.35	0.76	51.10	86.00	24.05	59.42	14.29
3	16.89	10.20	0.60	55.70	95.51	30.33	58.32	17.69
4	21.50	11.04	0.51	60.31	109.08	35.65	55.29	19.71

CURVAS COMPARATIVAS
VELOCIDAD ANGULAR CONSTANTE



PRUEBAS A VELOCIDAD VARIABLE
(TOMA DE LECTURAS)

LECTURA	F[kg]	N[rpm]	Vol [lts]	COMCAT	SIN ADITIVO
				t[s]	t[s]
1	4	2300	0.2	90	90
		2300	0.2	91	91
		2300	0.2	89	90
		PROMEDIO		90.00	90.33
2	8	2200	0.2	89	86
		2200	0.2	88	89
		2200	0.2	89	88
		PROMEDIO		88.67	87.67
3	11	1920	0.2	88	86
		1920	0.2	89	90
		1920	0.2	89	86
		PROMEDIO		88.33	87.33
4	14	1600	0.2	94	92
		1600	0.2	90	95
		1600	0.2	95	92
		PROMEDIO		93.00	93.00

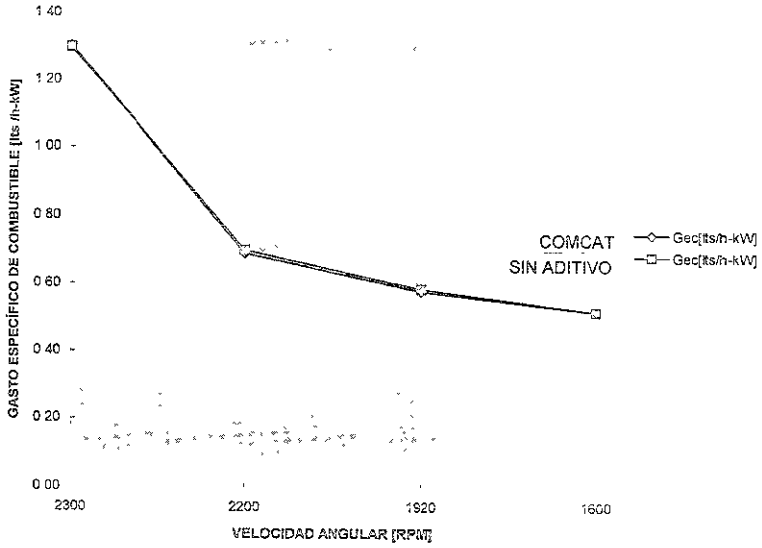
COMCAT

LECTURA	n[rpm]	W[kW]	Gec[lts/h-kW]	Gc[lts/hr]	Pme[kPa]	Es[kW]	Eter %
1	2300	6.14	1.30	8	65.04	76.76	8.00
2	2200	11.75	0.69	8.12	130.08	77.91	15.08
3	1920	14.10	0.58	8.15	178.86	78.21	18.03
4	1600	14.96	0.52	7.74	227.64	74.28	20.14

SIN ADITIVO

LECTURA	N[rpm]	W[kW]	Gec[lts/h-kW]	Gc[lts/hr]	Pme[kPa]	Es[kW]	Eter %
1	2300	6.14	1.30	7.97	65.04	76.48	8.03
2	2200	11.75	0.70	8.21	130.08	78.80	14.91
3	1920	14.10	0.58	8.24	178.86	79.10	17.83
4	1600	14.96	0.52	7.74	227.64	74.28	20.14

CURVAS COMPARATIVAS



PRUEBA A VELOCIDAD CONSTANTE
(TOMA DE LECTURAS)

LECTURA	F[kg]	N[rpm]	Vol [lts]	KATEK	SIN ADITIVO
				t[s]	t[s]
1	4	2300	0.2	94	89
			0.2	93	91
			0.2	94	90
			PROMEDIO	93.67	90.00
2	8	2300	0.2	84	84
			0.2	86	83
			0.2	84	83
			PROMEDIO	84.67	83.33
3	11	2300	0.2	73	72
			0.2	74	72
			0.2	73	72
			PROMEDIO	73.33	72.00
4	14	2300	0.2	64	63
			0.2	65	63
			0.2	65	65
			PROMEDIO	64.67	63.67

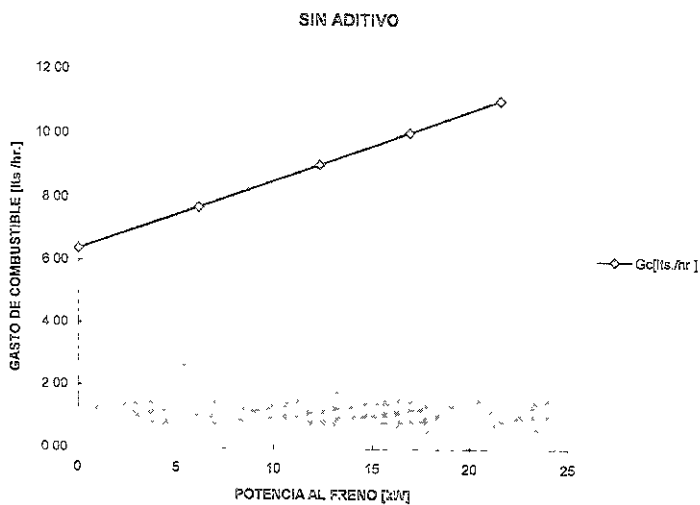
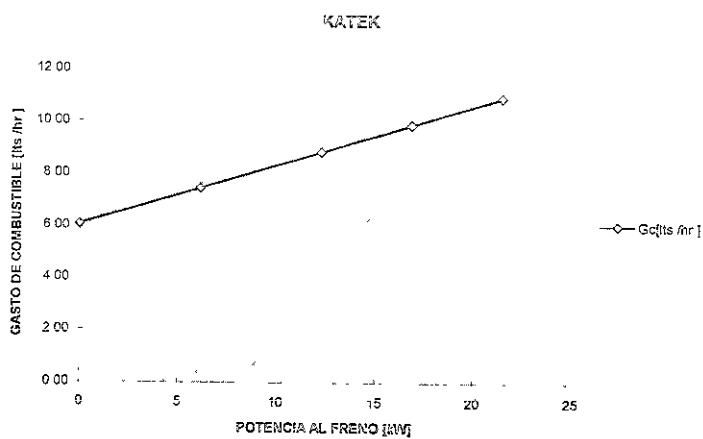
(MEMORIA DE CÁLCULO PARA OBTENER "m" y "b" DE LA LINEA WILLAN'S)

LECTURA	W _i [kW]	W _i ²	KATEK		SIN ADITIVO	
			G _c [lts/hr]	W _i G _c	G _c [lts/hr]	W _i G _c
1	6.14	37.74	7.69	47.22	8.00	49.15
2	12.29	150.96	8.50	104.48	8.64	106.18
3	16.89	285.41	9.82	165.87	10.00	168.94
4	21.50	462.31	11.13	239.40	11.31	243.16
TOTAL	56.83	936.42	37.14	556.97	37.95	567.40

	KATEK	SIN ADITIVO
PENDIENTE "m" =	0.2269	0.2190
ORDENADA AL ORIGEN "b" [lts/hr]	6.06	6.38

KATEK	
W _i [kW]	G _c [lts/hr]
-26.71	0
0	6.06
6.14	7.46
12.29	8.85
16.89	9.90
21.50	10.94

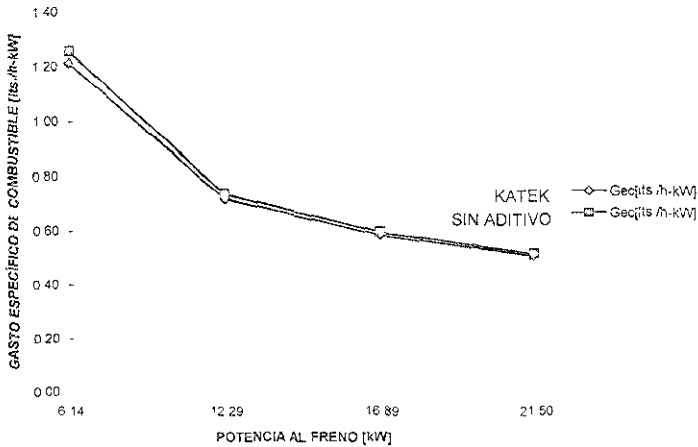
SIN ADITIVO	
W _i [kW]	G _c [lts/hr]
-29.11	0
0	6.38
6.14	7.72
12.29	9.07
16.89	10.06
21.50	11.09



KATEK								
LECTURA	W[kW]	Gc[lbs/hr]	Gec[lbs/h-kW]	W[kW]	Es[kW]	Emec%	Eint%	Eter%
1	6.14	7.46	1.21	32.85	73.76	18.70	44.54	8.33
2	12.29	8.85	0.72	39.00	81.60	31.51	47.79	15.06
3	16.89	9.90	0.59	43.60	94.21	38.74	46.29	17.93
4	21.50	10.94	0.51	48.21	106.83	44.60	45.13	20.13

SIN ADITIVO								
LECTURA	W[kW]	Gc[lbs/hr]	Gec[lbs/h-kW]	W[kW]	Es[kW]	Emec%	Eint%	Eter%
1	6.14	7.72	1.26	35.25	76.76	17.43	45.92	8.00
2	12.29	9.07	0.74	41.40	82.90	29.68	49.93	14.82
3	16.89	10.08	0.60	46.00	95.95	36.72	47.94	17.61
4	21.50	11.09	0.52	50.61	108.51	42.48	46.64	19.82

CURVAS COMPARATIVAS
VELOCIDAD ANGULAR CONSTANTE



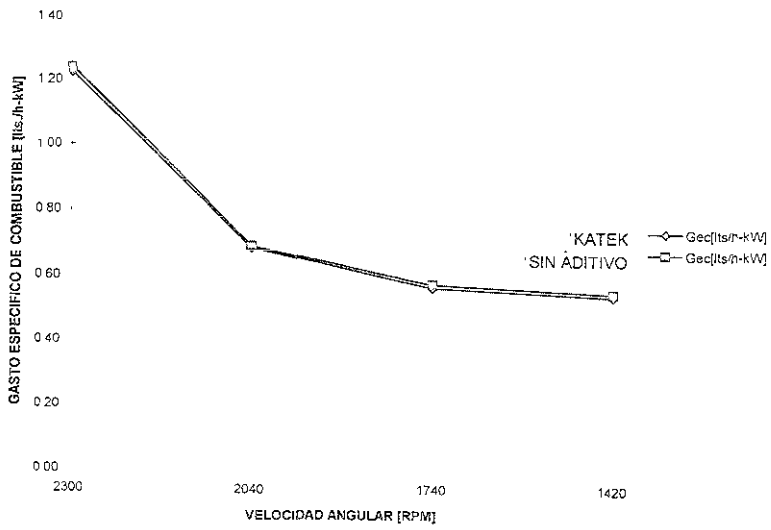
PRUEBA A VELOCIDAD VARIABLE
(TOMA DE LECTURAS)

LECTURA	F[kg]	N[rpm]	Vol [lts]	KATEK	
				t[s]	t[s]
1	4	2300	0.2	95	93
		2300	0.2	96	94
		2300	0.2	95	96
		PROMEDIO		95.67	94.33
2	8	2040	0.2	95	94
		2040	0.2	96	96
		2040	0.2	97	96
		PROMEDIO		96.00	95.33
3	11	1740	0.2	97	95
		1740	0.2	97	98
		1740	0.2	104	100
		PROMEDIO		99.33	97.67
4	14	1420	0.2	102	101
		1420	0.2	97	96
		1420	0.2	101	98
		PROMEDIO		100.00	98.33

LECTURA	N[rpm]	W _r [kW]	KATEK				
			G _{ec} [lts/h-kW]	G _c [lts /hr]	P _{med} [kPa]	E _s [kW]	E _{tér} %
1	2300	7.53	1.23	6.14	65.04	72.21	8.51
2	2040	7.50	0.69	10.90	130.08	71.96	15.14
3	1740	7.25	0.57	12.78	178.86	69.55	18.38
4	1420	7.20	0.54	13.27	227.64	69.08	19.22

LECTURA	N[rpm]	W _r [kW]	SIN ADITIVO				
			G _{ec} [lts/h-kW]	G _c [lts /hr]	P _{med} [kPa]	E _s [kW]	E _{tér} %
1	2300	7.63	1.24	6.14	65.04	73.23	8.39
2	2040	7.55	0.69	10.90	130.08	72.47	15.04
3	1740	7.37	0.58	12.78	178.86	70.73	18.07
4	1420	7.32	0.55	13.27	227.64	70.25	18.90

CURVAS COMPARATIVAS



PRUEBA A VELOCIDAD CONSTANTE
(TOMA DE LECTURAS)

LECTURA	F[kg]	N[rpm]	Vol [lts]	QUAZAR	SIN ADITIVO
				t[s]	t[s]
1	4	2300	0.2	95	92
				90	92
				95	94
				PROMEDIO	92.67
2	8	2300	0.2	85	83
				85	85
				85	85
				PROMEDIO	84.33
3	11	2300	0.2	75	72
				74	75
				75	73
				PROMEDIO	73.33
4	14	2300	0.2	64	62
				64	65
				65	62
				PROMEDIO	63.00

MEMORIA DE CÁLCULO PARA OBTENER "m" y "b" DE LA LINEA WILLAN'S

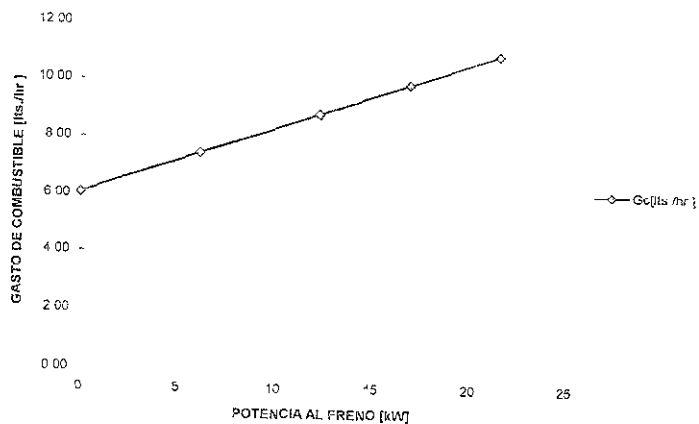
LECTURA	Wf[kW]	[Wf]^2	QUAZAR		SIN ADITIVO	
			Gc[lts/hr]	Wf*Gc	Gc[lts/hr]	Wf*Gc
1	6.14	37.74	7.71	47.39	7.77	47.73
2	12.29	150.96	8.47	104.07	8.54	104.90
3	16.89	285.41	9.64	162.91	9.82	165.87
4	21.50	462.31	11.19	240.64	11.43	245.73
TOTAL	56.83	936.42	37.02	555.01	37.55	564.23

	QUAZAR	SIN ADITIVO
PENDIENTE "m" =	0.2253	0.2379
ORDENADA AL ORIGEN "b"[lts/hr] =	6.05	6.01

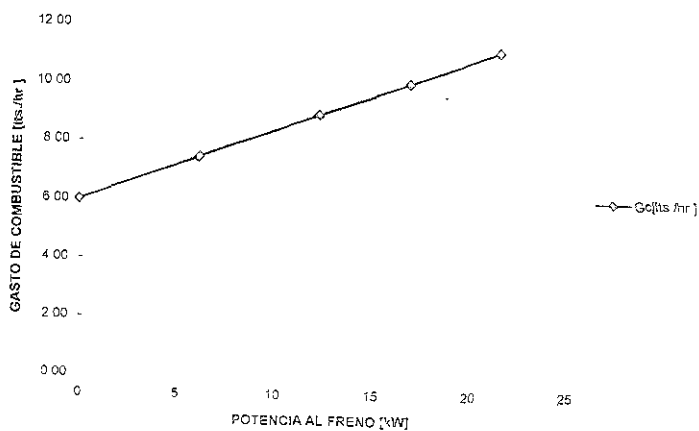
QUAZAR	
Wf[kW]	Gc[lts/hr]
-26.87	0
0	6.05
6.14	7.44
12.29	8.62
16.89	9.86
21.50	10.90

SIN ADITIVO	
Wf[kW]	Gc[lts/hr]
-25.26	0
0	6.01
6.14	7.47
12.29	8.93
16.89	10.03
21.50	11.12

QUAZAR



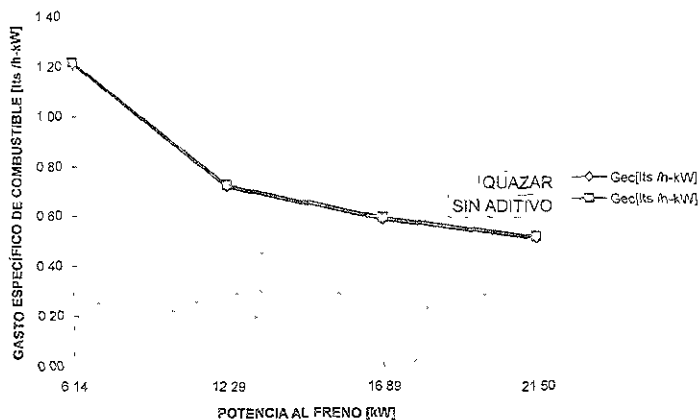
SIN ADITIVO



QUAZAR								
LECTURA	Wf[kW]	Gc[lt/s /hr]	Gec[lt/s /h-kW]	Wj[kW]	Es[kW]	E _{mec} %	E _{int} %	E _{ter} %
1	6.14	7.44	1.21	33.01	74.02	18.61	44.60	8.3
2	12.29	8.82	0.72	39.15	81.28	31.38	48.17	15.12
3	16.89	9.86	0.58	43.76	92.52	38.61	47.30	18.26
4	21.50	10.90	0.51	48.37	107.38	44.45	45.04	20.02

SIN ADITIVO								
LECTURA	Wf[kW]	Gc[lt/s /hr]	Gec[lt/s /h-kW]	Wj[kW]	Es[kW]	E _{mec} %	E _{int} %	E _{ter} %
1	6.14	7.47	1.22	31.40	74.55	19.56	42.12	8.24
2	12.29	8.93	0.73	37.54	81.92	32.73	45.83	15
3	16.89	10.03	0.59	42.15	94.21	40.08	44.74	17.93
4	21.50	11.12	0.52	46.76	109.66	45.98	42.64	19.61

CURVAS COMPARATIVAS
VELOCIDAD ANGULAR CONSTANTE



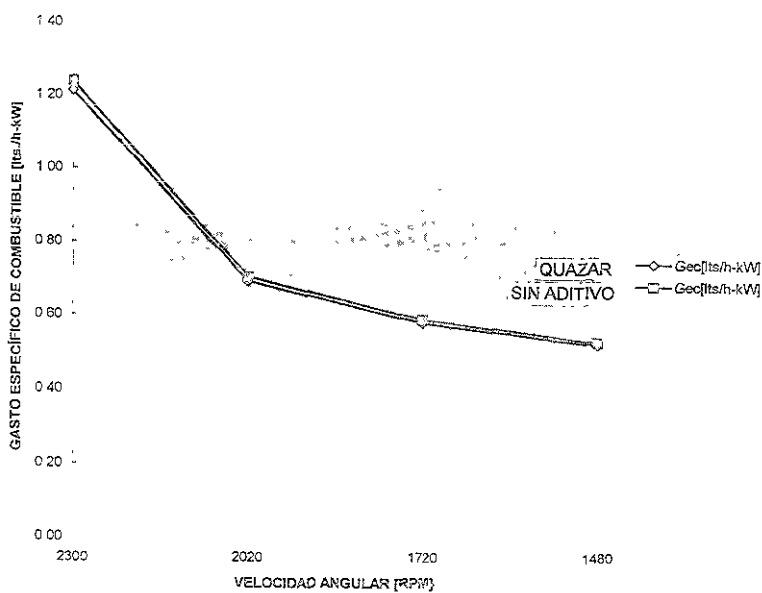
PRUEBA A VELOCIDAD VARIABLE
(TOMA DE LECTURAS)

LECTURA	F[kg]	N[rpm]	Vol [lts]	QUAZAR	SIN ADITIVO
				t[s]	t[s]
1	4	2300	0.2	97	95
		2300	0.2	97	95
		2300	0.2	96	94
		PROMEDIO		96.67	94.67
2	8	2020	0.2	97	94
		2020	0.2	97	95
		2020	0.2	96	96
		PROMEDIO		96.67	95.00
3	11	1720	0.2	98	97
		1720	0.2	99	97
		1720	0.2	99	98
		PROMEDIO		98.67	97.33
4	14	1480	0.2	100	99
		1480	0.2	101	100
		1480	0.2	100	98
		PROMEDIO		100.33	99.00

LECTURA	N[rpm]	W _i [kW]	QUAZAR		P _{meff} [kPa]	E _s [kW]	E _{ter} %
			G _c [lts/h-kW]	G _c [lts/hr]			
1	2300	7.45	1.21	6.14	65.04	71.47	8.60
2	2020	7.45	0.69	10.79	130.08	71.47	15.10
3	1720	7.30	0.58	12.63	178.86	70.02	18.04
4	1480	7.18	0.52	13.84	227.64	68.85	20.09

LECTURA	N[rpm]	W _i [kW]	SIN ADITIVO		P _{meff} [kPa]	E _s [kW]	E _{ter} %
			G _c [lts/h-kW]	G _c [lts/hr]			
1	2300	7.61	1.24	6.14	65.04	72.98	8.42
2	2020	7.58	0.70	10.79	130.08	72.72	14.84
3	1720	7.40	0.59	12.63	178.86	70.98	17.80
4	1480	7.27	0.53	13.84	227.64	69.78	19.83

CURVAS COMPARATIVAS



PRUEBA A VELOCIDAD CONSTANTE
(TOMA DE LECTURAS)

LECTURA	F[kg]	N[rpm]	Vol [lts]	MOBIL GAS	SIN ADITIVO
				t[s]	t[s]
1	4	2300	0.2	88	86
		2300	0.2	89	90
		2300	0.2	90	87
		PROMEDIO		89.00	87.67
2	8	2300	0.2	87	85
		2300	0.2	86	85
		2300	0.2	87	86
		PROMEDIO		86.67	85.33
3	11	2300	0.2	74	72
		2300	0.2	72	73
		2300	0.2	74	72
		PROMEDIO		73.33	72.33
4	14	2300	0.2	67	65
		2300	0.2	64	85
		2300	0.2	66	65
		PROMEDIO		65.67	65.00

MEMORIA DE CÁLCULO PARA OBTENER "m" y "b" DE LA LINEA WILLIAMS'

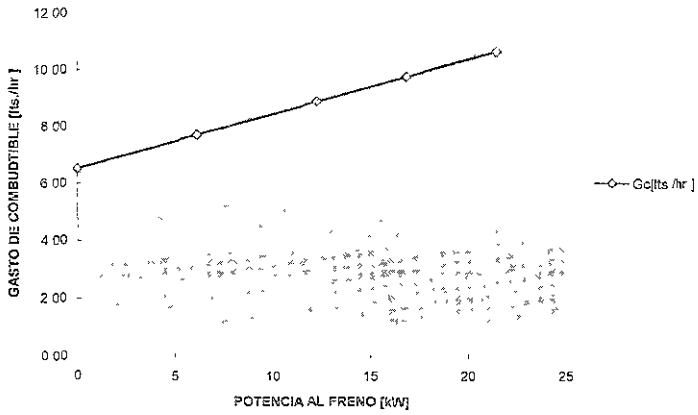
LECTURA	W[kW]	[W] ²	MOBIL GAS		SIN ADITIVO	
			G _c [lts /hr]	W _r ·G _c	G _c [lts /hr]	W _r ·G _c
1	6.14	37.74	8.09	49.70	8.21	50.45
2	12.29	150.96	8.31	102.07	8.44	103.67
3	16.89	285.41	9.82	165.87	9.95	168.16
4	21.50	462.31	10.96	235.75	11.08	238.17
TOTAL	56.83	936.42	37.18	553.39	37.68	560.45

	MOBIL GAS	SIN ADITIVO
PENDIENTE "m" =	0.1951	0.1947
ORDENADA AL ORIGEN "b" [lts /hr] =	6.52	6.65

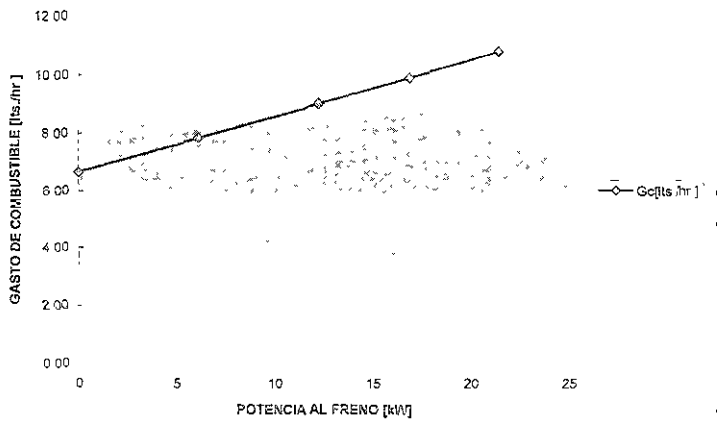
MOBIL GAS	
W[kW]	G _c [lts /hr]
-33.43	0
0	6.52
6.14	7.72
12.29	8.92
16.89	9.82
21.50	10.72

SIN ADITIVO	
W[kW]	G _c [lts /hr]
-34.18	0
0	6.65
6.14	7.85
12.29	9.05
16.89	9.94
21.50	10.84

MOBIL GAS



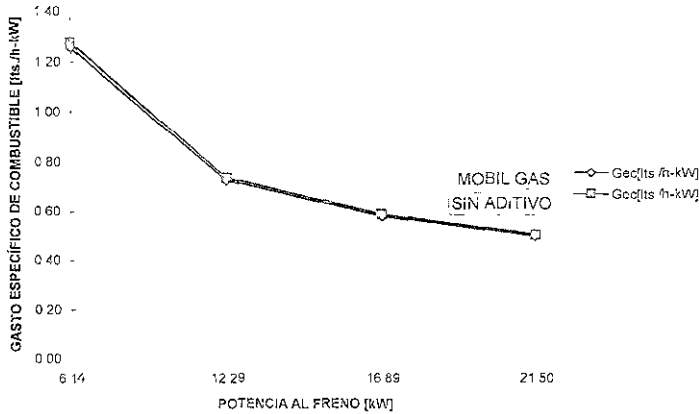
SIN ADITIVO



MOBIL GAS								
LECTURA	W_f [kW]	G_c [ts/hr]	G_{ec} [ts/h-kW]	W_f [kW]	E_s [kW]	E_{mec} %	E_{int} %	E_{ter} %
1	6.14	7.72	1.26	39.58	77.62	15.52	50.98	7.91
2	12.29	8.92	0.73	45.72	79.71	26.87	57.35	15.41
3	16.89	9.82	0.58	50.33	94.21	33.57	53.42	17.93
4	21.50	10.72	0.50	54.93	105.20	39.14	52.22	20.44

SIN ADITIVO								
LECTURA	W_f [kW]	G_c [ts/hr]	G_{ec} [ts/h-kW]	W_f [kW]	E_s [kW]	E_{mec} %	E_{int} %	E_{ter} %
1	6.14	7.85	1.28	40.33	78.80	15.23	51.17	7.80
2	12.29	9.05	0.74	46.47	80.96	26.44	57.40	15.18
3	16.89	9.94	0.59	51.08	95.51	33.08	53.48	17.69
4	21.50	10.84	0.50	55.68	106.28	38.61	52.39	20.23

CURVAS COMPARATIVAS
VELOCIDAD ANGULAR CONSTANTE



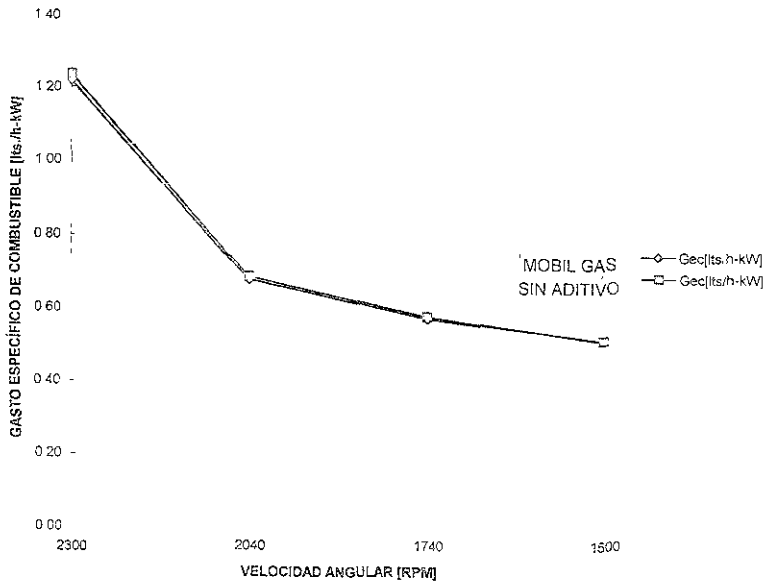
PRUEBA A VELOCIDAD VARIABLE
(TOMA DE LECTURAS)

LECTURA	F[kg]	N[rpm]	Vol [lts]	MOBIL GAS	
				t[s]	t[s]
1	4	2300	0.2	96	95
		2300	0.2	96	93
		2300	0.2	97	97
		PROMEDIO		96.33	95.00
2	8	2040	0.2	97	95
		2040	0.2	98	97
		2040	0.2	98	98
		PROMEDIO		97.67	96.67
3	11	1740	0.2	99	97
		1740	0.2	99	98
		1740	0.2	99	99
		PROMEDIO		99.00	98.00
4	14	1500	0.2	101	100
		1500	0.2	99	102
		1500	0.2	103	102
		PROMEDIO		101.00	101.33

LECTURA	N[rpm]	Wt[kW]	MOBIL GAS		Pmer[kPa]	Es[kW]	Eter%
			Gec[lts/h-kW]	Gc[lts/hr]			
1	2300	7.47	1.22	6.14	65.04	71.71	8.57
2	2040	7.37	0.68	10.90	130.08	70.73	15.41
3	1740	7.27	0.57	12.78	178.86	69.78	18.32
4	1500	7.13	0.51	14.02	227.64	68.40	20.50

LECTURA	N[rpm]	Wt[kW]	SIN ADITIVO		Pmer[kPa]	Es[kW]	Eter%
			Gec[lts/h-kW]	Gc[lts/hr]			
1	2300	7.58	1.23	6.14	65.04	72.72	8.45
2	2040	7.45	0.68	10.90	130.08	71.47	15.25
3	1740	7.35	0.57	12.78	178.86	70.49	18.13
4	1500	7.11	0.51	14.02	227.64	68.18	20.57

CURVAS COMPARATIVAS



En las siguientes tablas se mostrará un resumen del comportamiento del gasto específico de combustible y la eficiencia térmica para cada ensayo realizado con y sin aditivo, y en el que se indica la variación en porcentaje en cada prueba.

VARIACION DE "A" RESPECTO A "B" EN [%]
(VELOCIDAD ANGULAR CONSTANTE)

		Gec[fts /h-kw]	Eter
A	POWER 7	-1.27	2.43
B	SIN ADITIVO		
A	COMCAT	-1.82	2.43
B	SIN ADITIVO		
A	KATEK	-2.57	2.28
B	SIN ADITIVO		
A	QUAZAR	-1.45	1.36
B	SIN ADITIVO		
A	MOBIL GAS	-1.15	1.46
B	SIN ADITIVO		

VARIACIÓN DE "A" RESPECTO A "B" EN [%]
(VELOCIDAD ANGULAR VARIABLE)

		Gec[fts /h-kw]	Eter
A	POWER 7	-1.27	1.02
B	SIN ADITIVO		
A	COMCAT	-0.36	0.47
B	SIN ADITIVO		
A	KATEK	-1.29	1.38
B	SIN ADITIVO		
A	QUAZAR	-1.86	1.64
B	SIN ADITIVO		
A	MOBIL GAS	-0.20	0.79
B	SIN ADITIVO		

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

La variación que se obtuvo en el gasto específico de combustible (G_{ec}) para los cinco aditivos experimentados resultó ser menor a un mínimo considerado del 3%, tomando éste porcentaje dentro del margen de error en las mediciones, por lo que realmente no se puede hablar de un ahorro en el consumo de combustible y por lo tanto no se pueden considerar a éstos aditivos como ahorradores de gasolina.

Las propiedades que ofrecen los aditivos que se venden en las gasolineras son en principio el aumento del octanaje o las propiedades lubricantes; sin embargo, dependen de la seriedad de la marca pues la mayoría presenta muy pocas ventajas por su uso. Debe tenerse mucho cuidado con los que ofrecen mejorar el octano ya que pueden contener compuestos de plomo que dañan al convertidor catalítico del automóvil.

El uso de las gasolinas sin plomo puede lograr bajos niveles de emisiones tóxicas, siempre y cuando el motor esté diseñado para su consumo y tenga todos sus dispositivos de control de combustión y de emisiones en buen estado.

Algunos motores pueden presentar problemas cuando se utiliza gasolina con plomo, el principal efecto es la recesión de los asientos de las válvulas. Este problema se soluciona al cambiar el material de fabricación de la válvula.

Algunas sustancias utilizadas como aditivos de gasolinas pueden tener efectos negativos en la salud y en el medio ambiente.

Existen diferentes sustancias utilizadas para obtener gasolina sin plomo, cada una de ellas presenta características tóxicas:

Sustancias aromáticas: investigaciones realizadas han indicado que el benceno es una peligrosa sustancia cancerígena y causa una variedad de desordenes sanguíneos tales como la leucemia. En orden de peligrosidad le siguen el tolueno y el xileno; todas estas sustancias están presentes en la gasolina sin plomo "aromáticas", en composiciones que oscilan, en el caso de Europa, entre 29 y 55% por volumen, en donde el contenido de benceno puede ser hasta de 5%. Sin embargo, aún cuando la cantidad de benceno fuese muy baja, éste puede producirse también durante la combustión a través de procesos de demetilación de otras sustancias aromáticas tales como el tolueno y el xileno; encontrados en mayor proporción [1].

En experimentos de carcinogenicidad en ratas, realizados por el Instituto de Oncología y Ciencias Ambientales de Bolonia, Italia; se demostró que la exposición a la gasolina con alto contenido aromático conduce a la formación de tumores generalmente malignos, especialmente tumores del útero [2]

Isoparafinas: Investigaciones apoyadas por el American Petroleum Institute (API) demostraron que la exposición de inhalación de 344 ratas Fischer machos a los vapores de gasolina con alto contenido de isoparafina produce tumores renales malignos; además, un aumento de los tumores del hígado en ratones femeninos expuestos a inhalación del mismo tipo de gasolina [2].

Compuestos oxigenados. En el proceso de combustión, estas sustancias pueden producir formaldehído, el cual es un irritante y cancerígeno. Experimentos en ratas han demostrado que la exposición por inhalación de formaldehído, ocasiona al comienzo de carcinoma de las cavidades nasales [3].

En un estudio hecho por los fabricantes del MTBE "Task Force in the USA", se sometieron a prueba 344 ratas Fischer y ratones CD-1, machos y hembras, con varias dosis por inhalación; los resultados indicaron que la exposición de inhalación de ratas y ratones a elevadas concentraciones de MTBE resulta en un aumento en la incidencia de tumores de los riñones en las ratas macho, y tumores del hígado en las ratas hembra [3].

La avanzada tecnología de los motores modernos requiere que las gasolinas contengan, en sus formulaciones, aditivos de alta calidad para el óptimo funcionamiento de los motores pero también deben contemplar sus repercusiones en la salud del hombre.

Las reformulaciones por sí mismas no son capaces de contrarrestar o sustituir un mal funcionamiento de los vehículos ni compensar tecnologías automotrices obsoletas.

RECOMENDACIONES

El objetivo principal de ésta investigación fue el de verificar que los aditivos usados ofrecieran un ahorro de combustible aceptable, sin embargo, sería interesante que se hicieran pruebas pero analizando ahora las emisiones de gases y verificar qué tanto disminuyen las sustancias tóxicas de éstos como son, principalmente, los óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre, monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y algunos generados por los mismos aditivos

Los aditivos analizados en esta investigación sólo se experimentaron en motores de gasolina, y convendría hacer pruebas de aditivos para motores diesel

BIBLIOGRAFÍA.

Usos y abusos de la gasolina.
 SHIFTER, ISSAC, et. al.
 Fondo de Cultura Económica.
 Serie: la ciencia para todos.
 México, 1998.

Aditivos organometálicos
 en la gasolina y su efecto en
 la emisión de contaminantes.
 CARPINTEYRO, JORGE.
 Facultad de Química, UNAM.

Manual de automóviles.
 ARIAS-PAZ, M
 CIE.SI DOSSAT 2000.
 52 a. edición, 1997, España.

Motores alternativos de
 Combustión interna.
 MUÑOS, MARIANO, et. al.
 Prensas universitarias de Zaragoza.
 Zaragoza, España, 1999.

Termodinámica.
 BLACK, WILLIAM, et. al.
 Compañía Editorial Continental.
 Primera edición, 1989, México.

REFERENCIAS.

[1] Dr. GIDLOW, D.; LARBET J. "Cuestiones y problemas en torno a la reducción y eliminación del plomo en las gasolinas"
 The Associated Octel Company Limited, Inglaterra.

[2] SOFFRITTI, MALTONI. "Las nuevas gasolinas y su impacto sobre el medio ambiente y la salud pública"
 Fondazine Di Oncologia e Scienze Ambientali, Septiembre, 1993, Italia.

[3] SALVATORE, RAND. "Mercadeo de gasolinas sin plomo; efectos técnicos, ambientales y de costo".
 Centro de investigaciones, Texaco, Noviembre, 1994