

127
2er.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“ ANALISIS DE COMBUSTIBLES ALTERNOS
PARA VEHICULOS AUTOMOTORES ”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
EN EL AREA INDUSTRIAL
P R E S E N T A :
MUÑOZ HERNANDEZ LUIS MIGUEL

DIRIGIDA POR: ING. ARMANDO MALDONADO SUSANO



CIUDAD UNIVERSITARIA.

1997.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

A DIOS, que me ha permitido llegar hasta este momento, en el cual he aprovechado mis capacidades y habilidades para desarrollar este trabajo profesional, además de brindarme tantos regalos y apoyos como lo es mi Familia, mi Pareja, la Vida y mi Universidad.

A MI FAMILIA, SIGNO DE PAZ, AMOR Y FRATERNIDAD.

A mi madre, te agradezco por todos estos años en los que has dado tu vida por mi bienestar y desarrollo profesional: siempre llevaré en mi mente tus enseñanzas, tu amor, tus exigencias y por supuesto tus cuidados. Quiero dedicarte este trabajo como símbolo del amor y respeto que te tengo, tómalo y disfrútalo, ya que para mí representa aquella pequeña mochila que te fue regalada en tu niñez...

GRACIAS, Ma. Micaela Hernández de Muñoz.

A mi padre, hombre de ideales firmes y congruentes, apoyo constante y perseverante de nuestra familia, te agradezco todo el apoyo brindado a lo largo de estos años y el ejemplo que has dejado en mi vida, sinceramente me enorgullezco de tener a mi lado un vivo ejemplo de profesionalismo, paternidad, liderazgo y espíritu universitario, el cual me ha motivado para luchar y obtener grandes ideales y objetivos.

GRACIAS, Rubén Muñoz Muñoz.

A mi hermano gracias por darme tu amor y hermandad, que me han motivado a desarrollarme profesionalmente, y por ser el gran símbolo de unión y de manifestación del amor de Dios hacia nuestra familia. Te dedico este trabajo y mi carrera, ya que Dios nos ha unido en esta maravillosa familia para superarnos y salir adelante juntos, de tal forma que podamos alcanzar grandes éxitos en la vida.

GRACIAS, Armando Muñoz Hernández.

A MI PAREJA, SÍMBOLO DE SUPERACIÓN Y AMOR.

A Lupita, al llegar a este punto de nuestra vida, recuerdo cada uno de los instantes que hemos vivido juntos, desde hace 9 años hemos compartido estudios, experiencias, nuestra Universidad y sobre todo nuestro amor, lo cual ha permitido que nuestra relación se fortalezca y nos permita realizar todos nuestros sueños. Te doy infinitas gracias por apoyarme, exigirme y ser la compañera que Dios ha puesto en mi camino para impulsarnos y abrirnos paso ante la vida, de tal forma que podamos crear nuevos caminos de éxito y satisfacción mutua. Te dedico este trabajo como signo de admiración y respeto ante una persona profesional y perseverante de la cual he aprendido y ha dejado huella en mí.

GRACIAS, Ma. Guadalupe Zaragoza Gómez.

A MIS ABUELITOS, CON EL AGRADECIMIENTO POR FORMAR A MIS PADRES.

Agradezco infinitamente el ejemplo y cuidados mostrados a mis padres, entiendo que haya sido difícil la formación de los hijos al dejar de contar con su pareja, pero creo que el papel que tienen en sus vidas y en la mía es muy importante, ya que el hecho de contar con una persona que en todo momento nos ofrezca su amor es fundamental en la vida de cualquier persona. Doy gracias a Dios por que ustedes pueden compartir estos momentos conmigo y por eso les ofrezco este trabajo y me enorgullezco de ser el primer nieto en brindarles esta satisfacción.

GRACIAS, Petra Reyes Tava

GRACIAS, Rubén Muñoz Sánchez.

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO y
FACULTAD DE INGENIERÍA.**

Me enorgullezco profundamente de ser uno de tus hijos honorables, al heredar tu historia, tus triunfos, tu trascendencia nacional y mundial y sobre todo el espíritu universitario que ha caracterizado a todos aquellos hombres que han impulsado el desarrollo de nuestro país. Agradezco la oportunidad de haberme recibido en tus aulas e instalaciones dignas del desarrollo profesional de la juventud mexicana. Dedico esta Titulación a todos y cada uno de mis profesores, ya que gracias a su entusiasmo y amor a la docencia me han impregnado de conocimientos y experiencias fundamentales en mi profesión. Finalmente a todos mis compañeros, deseo éxito en nuestros proyectos para engrandecer la trayectoria de la Máxima Casa de Estudios de México.

¡GOYA...UNIVERSIDAD!

AL ESCUADRÓN KASBEK.

Agradezco a todos aquellos jóvenes que en algún momento de su vida aceptaron el compromiso de engrandecer la mística del Escuadrón Kasbek, ya que a lo largo de 10 años pude encontrar a mis mejores amigos, además de vivir distintas experiencias que quedarán grabadas en mi mente y que me motivan a llevar ese compromiso y liderazgo por el resto de mi vida

HAY PECES, HAY REDES....

... SÓLO FALTAN PESCADORES.

A MI DIRECTOR DE TESIS.

Agradezco tus enseñanzas, asesoría y paciencia, los cuales me motivaron para emprender y desarrollar este proyecto tan interesante. Para mí ha sido un placer, poder trabajar con un especialista en la materia, en el cual pude descubrir a un amigo que me impulsó y apoyó a lo largo de los meses que estuvimos trabajando juntos.

GRACIAS, ING. Armando Maldonado.

A MI COMPAÑERO E INSTRUCTOR.

Agradezco de antemano la amistad que me ha permitido conocerte y participar contigo en los distintos cursos impartidos, ya sea como instructor, compañero y amigo siempre mostraste un especial interés y apoyo en el éxito de este trabajo.

GRACIAS, Miguel Marmolejo.

A MI ASESORA TÉCNICA.

Agradezco la amistad incondicional y asesoría técnica mostrada ante el desarrollo de este trabajo, ya que en muchos de los innumerables problemas, con gusto y paciencia me brindaste la solución adecuada en la elaboración de mi trabajo de Titulación.

GRACIAS, Laura Lázaro.

Agradezco a todas aquellas personas que de alguna u otra forma me apoyaron en el desarrollo e investigación de esta tesis, Laboratoristas de Termoenergía, Personal de la Coordinación de CCH, Personal de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, principalmente a Gloria Yañez, por su apoyo incondicional.

GRACIAS A TODOS ELLOS.

Con mi mejor muestra de:

GRATITUD

a quienes, sin esperar nada de mí,
dieron de sí para que mi carrera
fuera más fácil y con esa ayuda haya
podido alcanzar la meta que me propuse

MIGUEL MUÑOZ HERNÁNDEZ

RESUMEN

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México ha sufrido graves problemas de contaminación por emisiones a la atmósfera en los últimos años, estos problemas se han propiciado por la acción de diversos factores generados por la misma sociedad y las características propias del terreno de esta región. Entre estos factores encontramos la altura sobre el nivel del mar de nuestra ciudad; las cadenas montañosas que la rodean, además de la dirección que comúnmente sigue el viento impiden una ventilación óptima de las capas bajas de la atmósfera; producción de gasolinas que propician altos niveles de contaminación al realizar el proceso de combustión; falta de tecnología apropiada para el almacenamiento y transporte de estos combustibles; la baja eficiencia en las políticas ambientales, etc

Este tipo de problemas necesita del accionar de toda la sociedad, obviamente las autoridades u organismos de gobierno son los indicados para normar y gestionar esta situación, pero corresponde al resto de los sectores contribuir a la generación de soluciones, que puedan encontrar el beneficio para nuestra sociedad, por esta razón en la Universidad Nacional Autónoma de México se han tomado cartas en el asunto para brindar una serie de soluciones generadas a partir de distintas investigaciones realizadas en sus distintas instituciones

La presente investigación tiene como objetivo realizar un análisis comparativo de emisiones y rendimientos entre el combustible convencional y un combustible alterno formado por una mezcla de combustible convencional y alcohol etílico (etanol), de tal forma que al ir incrementando el porcentaje de alcohol en el combustible alterno se puedan determinar los beneficios de éste. Además es importante detectar un intervalo de operación óptimo bajo condiciones de trabajo de la Ciudad de México.

La metodología desarrollada en esta investigación fue deductiva, ya que partiendo de una serie de pruebas separadas, se plantea un comportamiento general del combustible utilizado, de tal forma que se obtuvieron resultados interesantes con respecto a la emisión de gases contaminantes, ya que hay una

mejoría por parte del combustible alterno, con respecto al rendimiento hay grandes variaciones, ya que mientras en algunas pruebas un aspecto mejoraba en el combustible alterno en otras era superado por el combustible ordinario o viceversa.

Después de realizar el análisis comparativo se pueden distinguir claras variaciones en los diversos aspectos analizados, a pesar de ello se deduce que el uso de un combustible alterno formado por etanol y gasolina Magna Sin es factible en una proporción de 25 - 30 % de alcohol. Un dato bastante interesante es que el motor de combustión interna en el cual se hicieron las pruebas presentó dificultades a la operación al llegar a incrementar el porcentaje de etanol a un 40%.

Es importante observar que la aceptación de un combustible alterno con las características presentadas en esta investigación, resulta muy complicada, a pesar de sus beneficios en emisiones contaminantes y rendimiento en el porcentaje de etanol antes mencionado, se presentan dos grandes limitantes, como lo es el costo del combustible y la oferta nacional de alcohol etílico, ya que el combustible alterno a ese porcentaje representó un incremento aproximado del 100% debido a que al haber poca oferta de este compuesto el costo resulta ser muy elevado. En algunos países se ha empleado etanol al 100% debido a las condiciones a las cuales se operan los vehículos y sobre todo a la gran producción de caña de azúcar existente en esos lugares lo que representa bajos costos del combustible. Sin embargo estos costos deben ser comparados con los gastos generados por problemas respiratorios y enfermedades causadas a la población en general debidas a la contaminación.

Por otra parte es fundamental hacer notar que la generación de un nuevo tipo de combustible representa un cambio necesario en la tecnología de los automóviles, sería inconveniente hacer el cambio al combustible alterno presentado en este trabajo si no se modifican algunos sistemas del automóvil ya que no fue creado para este tipo de combustible, lo cual abre la posibilidad para la generación y desarrollo de la industria nacional automotriz, que sería respaldada por el desarrollo tecnologías apropiadas para la formulación de nuevos combustibles.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAP. I. Conceptos Fundamentales del Motor de Combustión Interna	5
1.1. El Motor de Combustión Interna	6
1.1.1. Trabajo del motor	6
1.1.2. Ciclo de cuatro tiempos	7
1.2. El Combustible	11
1.2.1. Octanaje	12
1.2.2. Volatilidad	15
1.2.3. Calor latente de vaporización	16
1.2.4. Peso específico	17
1.2.5. Poder calorífico	17
1.3. Sistemas del Automóvil	17
1.3.1. Sistema de Combustible	18
1.3.1.1. Carburación	18
1.3.1.2. Inyección	29
1.3.2. Sistema de Ignición	35
1.3.3. Sistema de Arranque	37
1.3.4. Sistema de Carga	38
1.3.5. Sistema de Lubricación	39
1.3.6. Sistema de Enfriamiento	40
CAP. II. Gestión y Normatividad Ambiental.....	41
2.1. Orígenes de las emisiones del escape de Motores de Gasolina.....	42
2.1.1. Requerimientos de aire-combustible.....	42
2.1.2. Gases producto de la combustión.....	45
2.1.3. Reducción de las emisiones por reactores externos.....	48
2.2. Zona Metropolitana de la Ciudad de México.....	50
2.2.1. Calidad del aire en la ZMCM.....	52
2.2.2. Consumo de Energía.....	55
2.3. Inventario de emisiones	56

2.3.1. Fuentes fijas.....	56
2.3.2. Fuentes móviles.....	57
2.4. Situación actual de los contaminantes atmosféricos.....	59
2.4.1. Situación Nacional.....	62
2.4.2. Calidad del aire en las principales ciudades de la República Mexicana.....	62
2.5. Gestión ambiental.....	64
2.5.1. Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).....	66
2.5.2. Métodos manuales de monitoreo atmosférico.....	67
2.5.3. Métodos continuos de monitoreo atmosférico.....	69
2.6. Consecuencias de la contaminación.....	69
2.6.1. Precipitación ácida.....	69
2.6.2. Inversión térmica.....	72
2.6.3. Problemas de contaminación global.....	73
2.7. Estudios realizados con cooperación internacional.....	76
2.8. Programas contra la contaminación.....	76
2.8.1. Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica.....	77
2.8.2. Programa Metropolitano ante Contingencias Ambientales.....	78
2.9. Normatividad ambiental sobre emisiones contaminantes a la atmósfera.....	80
CAP. III. El Etanol como Combustible Alterno.....	83
3.1. Los hidrocarburos como energéticos en México.....	84
3.2. Balance energético nacional regional (ZMCM).....	85
3.2.1. Oferta.....	86
3.2.2. Demanda.....	88
3.2.3. Relaciones entre el consumo de energía y la contaminación ambiental.....	90
3.3. Consumo de gasolinas.....	91
3.3.1. Consumo de gasolinas promedio en la ZMCM para 1987.....	91
3.3.2. Consumo nacional de gasolinas.....	91
3.3.3. Comparación entre el consumo de gasolinas en México y otros países durante 1985.....	92
3.4. Uso de aditivos oxigenados. El caso del etanol.....	92
3.4.1. Consideraciones para usar alcohol de caña, como aditivo oxigenado en combustibles automotrices.....	92
3.4.2. Consideraciones referentes al empleo de mezclas de	

ÍNDICE

v

gasolina-etanol.....	95
3.4.3. El etanol como aditivo oxigenado y comburente. Características fisicoquímicas y energéticas.....	98
3.4.4. Los aditivos oxigenados y los combustibles alternos.....	99
3.4.5. Actuales aditivos antidetonantes para gasolina y su impacto ambiental.....	99
3.4.6. Actuales aditivos oxigenados. Para gasolinas.....	101
3.4.7. El etanol de caña como aditivo antidetonante en México.....	102
3.4.8. El etanol como aditivo para el diesel.....	103
3.4.9. Uso del etanol como carburante. experiencias.....	104
Vols Wagen.....	104
Ford.....	104
General Motors.....	105
3.4.10. El alcohol carburante en los países de Latinoamérica y el caribe.....	105
3.4.11. Requerimientos de la industria automotriz para utilizar aditivos oxigenados y convertidores catalíticos.....	107
3.5. Experiencias internacionales.....	108
3.5.1. Brasil.....	108
3.5.2. Estados Unidos de América.....	110
3.5.3. Otros países.....	113
3.6. Desventajas del uso de etanol como combustible alternativo.....	114
3.6.1. Costos medios y marginales de mejorar el poder antidetonante de los combustibles automotrices.....	114
3.6.2. Limitantes.....	119
3.7. Producción de etanol.....	119
3.7.1. Producción de etanol a partir de caña de azúcar. rendimientos.....	119
3.7.2. Situación de la producción de etanol como combustible en Latinoamérica.....	119
Situación en Brasil.....	119
3.7.3. Situación de la producción de etanol en México.....	121
3.7.3.1. La producción de alcohol de caña por parte del sector azucarero en México.....	121
3.7.3.2. Capacidad instalada.....	122
3.7.3.3. Materia prima.....	123
3.7.3.4. Producción.....	124

3.7.3.5. Consumo.....	125
3.7.3.6. Perspectivas para incrementar la producción.....	126
3.8. Los éxitos en el control de la contaminación por automóviles en los Estados Unidos de América. Posibilidades para México.....	127
Fuente de tablas del capítulo III.....	128
CAP. IV. Pruebas realizadas al Motor de Combustión Interna.....	129
4.1. Introducción.....	130
4.2. Objetivo.....	130
4.3. Metodología.....	130
4.4. Ecuaciones básicas.....	133
4.5. Conjunto de pruebas.....	138
4.5.1. Propiedades de los combustibles.....	138
4.5.2. Manejo de las pruebas.....	139
4.5.3. Comentarios de las pruebas.....	139
4.6. Presentación de las pruebas.....	139
4.6.1. Primera prueba seleccionada.....	140
4.6.2. Segunda prueba seleccionada.....	144
4.6.3. Tercera prueba seleccionada.....	148
4.6.4. Cuarta prueba seleccionada.....	152
4.6.5. Quinta prueba seleccionada.....	156
4.6.6. Sexta prueba seleccionada.....	160
4.7. Agrupación de las pruebas.....	165
4.7.1. Metodología.....	165
4.7.2. Alcances.....	165
4.7.3. Tablas y gráficas.....	166
4.7.4. Discusión de resultados.....	171
4.8. Conclusiones.....	173
CAP. V. Conclusiones y Recomendaciones.....	176
APÉNDICES.....	180
BIBLIOGRAFÍA.....	207

INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación consiste en realizar un estudio comparativo entre un combustible ordinario (gasolina Magna Sin) y un combustible alterno, el cual está compuesto por el mismo combustible ordinario y cierto porcentaje de alcohol etílico, al someter ambos combustibles a una serie de pruebas bajo las mismas condiciones de operación, se puede analizar el comportamiento del combustible alterno, tomando como referencia al combustible ordinario. Los aspectos que se comparan son:

Las emisiones de gases contaminantes, tales como, monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO₂), oxígeno (O₂) y partes por millón de hidrocarburos (ppm HC).

El rendimiento del combustible en el motor, con la eficiencia interna (η_{int}), eficiencia mecánica (η_{mec}) y eficiencia térmica (η_{ter}). Y,

El gasto del combustible contra la potencia entregada por el motor.

El interés de desarrollar esta investigación, se debe a que en la actualidad existen graves problemas de contaminación en el aire de nuestro país, principalmente en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), provocados por una gran cantidad de factores que contribuyen al crecimiento de este problema, dichos factores son: sobrepoblación, presencia de grandes industrias contaminantes en la ciudad, condiciones meteorológicas y físicas de nuestra ciudad, políticas ambientales, además de los problemas económicos que impiden un desarrollo óptimo de la ciencia y tecnología con respecto a la reformulación de combustibles y el desarrollo de la industria automotriz nacional. Frente a esta situación es necesario afrontar y dar soluciones a cada uno de los factores antes presentados para frenar y erradicar la contaminación del aire, antes de que este problema sea irreversible y pueda provocar grandes afecciones a la salud de los habitantes de esta región del país. Dependiendo de cada uno de los factores, se pueden encontrar diversas soluciones, lo importante

es conjuntar esfuerzos para encontrar la óptima solución que beneficie a nuestra sociedad ante este problema. Esta investigación pretende contribuir al grupo de soluciones que deben aportar todas las instituciones de nuestra nación, por esta razón en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México se ha desarrollado el presente trabajo.

Desde el final de la década de los ochentas se visualizó el problema de contaminación del aire y se comenzaron a tomar decisiones importantes sobre gestión y normatividad ambiental, de tal forma que se han generado convertidores catalíticos, reformulación de combustibles, centros de verificación, normas más estrictas para control de emisiones al ambiente, etc. Sin embargo la contaminación se sigue incrementando a pasos agigantados, por lo que se requiere seguir haciendo frente a este problema con mayor énfasis e interés, ya que no solamente se quiere detener la contaminación sino eliminarla.

La presente investigación afronta el factor de reformulación de combustibles, con la presentación de un combustible oxigenado, ya que la presencia de alcohol etílico oxigena al combustible ordinario. En este aspecto se han realizado dos estudios previos en la Universidad Nacional Autónoma de México, el primero de éstos fue realizado en la ENEP Aragón en el cual se realizaron pruebas con alcohol metílico, el segundo fue un trabajo bibliográfico de la Facultad de Química trabajando con alcohol etílico. Por esta razón es importante realizar un análisis comparativo de un combustible oxigenado con alcohol etílico y el combustible ordinario trabajando bajo las mismas condiciones de operación y más importante aún resulta observar su comportamiento en las condiciones de la Ciudad de México, tales como la altitud, temperatura, humedad, etc.

Desde la década de los setentas se han desarrollado avances en cuanto al desarrollo de combustibles alternos teniendo como base de experimentación el alcohol etílico, estas experiencias se han realizado principalmente en Brasil y Estados Unidos de América, los cuales son buenos productores de alcohol de caña, dicha situación les permite la producción y el desarrollo de tecnología adecuada para el consumo de este tipo de combustibles. En países en los que la producción de alcohol de caña no tiene los mismos volúmenes se han tomado decisiones que promueven la oxigenación de los combustibles en menor escala

con la ayuda de Metil TerButil Eter (MTBE) y Etil TerButil Eter (ETBE), nuestro país se encuentra en esta situación.

Este estudio se presenta en cinco capítulos, los cuales enmarcan la investigación en aspectos técnicos, normativos, operativos y experimentales sobre la utilización del etanol como combustible alternativo en vehículos automotores, a continuación se presentan dichos capítulos:

Cap. I Conceptos Fundamentales.

Cap. II Gestión y Normatividad Ambiental.

Cap. III El Etanol como Combustible Alternativo.

Cap. IV Pruebas realizadas al Motor de Combustión Interna.

Cap. V Conclusiones y recomendaciones.

En el primer capítulo se presentan una serie de definiciones que nos ayudan a conceptualizar los distintos sistemas que componen a un vehículo automotor, así como los elementos y funciones de cada uno de ellos. Además se presentan las principales características de los combustibles usados en nuestro país.

En el segundo capítulo se exponen los distintos factores que propician el problema de contaminación del aire de la Ciudad de México proveniente de los vehículos automotores: los gases producto de la combustión; así como los mecanismos, procesos y normas que se han generado a partir de esta problemática por parte de las Instituciones Gubernamentales relacionadas con el cuidado y mejoramiento del medio ambiente.

En el tercer capítulo se presentan algunos proyectos que permiten sustituir a los hidrocarburos como combustibles, principalmente se muestra al etanol como combustible alternativo, el cual resulta una solución latente ya que ha sido probado en algunos países, en los que se han presentado buenos resultados en cuanto al comportamiento e impacto de este combustible.

En el cuarto capítulo se muestran los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con los dos combustibles (ordinario y alternativo) en un motor sometido a las mismas condiciones de operación en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, en las cuales se midieron emisiones,

eficiencias y gasto-potencia al variar el porcentaje de etanol en el combustible alterno.

Finalmente en el quinto capítulo se presenta la conclusión de esta investigación, así como las recomendaciones pertinentes sobre el uso de un combustible alterno con estas características en un motor de combustión interna. Además del impacto que puede presentar la introducción de este tipo de combustible en nuestra sociedad.

I.- CONCEPTOS FUNDAMENTALES

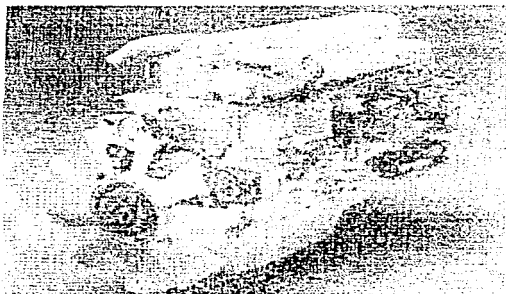
1.1. EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.

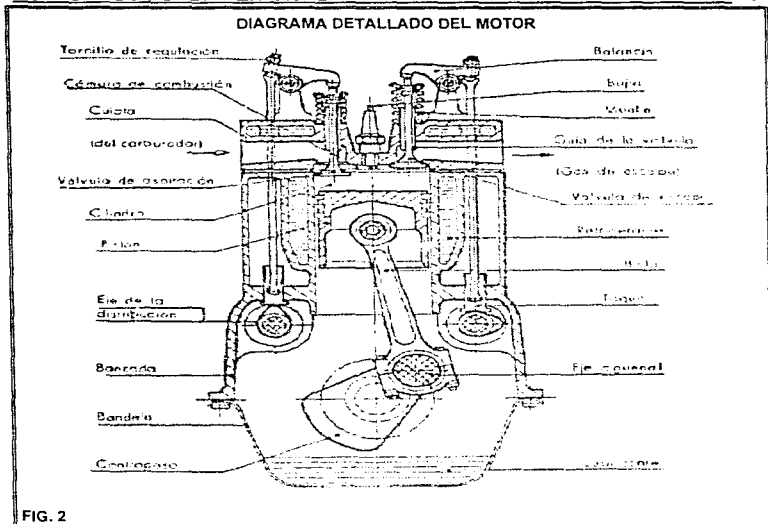
Una gran mayoría de los motores de émbolo, de movimiento alternativo, emplean el encendido por chispa para iniciar el proceso de combustión. El control de la combustión, una vez iniciada la llama, es efectuado por los contornos de la cámara de combustión.

El proceso de combustión funciona al quemar un combustible de manera controlada mezclando el aire y el combustible en la proporción correcta e incendiándolo, causa una rápida liberación de energía. Si la mezcla aire combustible se incendia en un cilindro cerrado y uno de sus extremos se puede mover, la expansión de los gases incrementa la presión en el cilindro moviéndolo y provocando trabajo útil. Esto es la base de los motores de combustión interna. El extremo del cilindro que se mueve se le llama piston.

1.1.1. TRABAJO DEL MOTOR.

La mayoría de los motores de combustión interna, utilizan el principio de desplazamiento positivo, según el cual, un émbolo se desliza dentro de un cilindro, hacia atrás y hacia adelante y transmite fuerza a la flecha motriz, por lo general, mediante un simple mecanismo de biela y manivela.

EL MOTOR**FIG.1**



1.1.2. CICLO DE CUATRO TIEMPOS.

Cada movimiento de ascenso y descenso del pistón se le llama carrera. Casi todos los motores de automóvil requieren de cuatro movimientos del pistón (dos ascendentes y dos descendentes) para completar un ciclo de combustión. Estas cuatro carreras ocurren cada 2 revoluciones del cigueñal (1) El ciclo es como sigue:

- a) Carrera de Admisión: La valvula de admisión se abre permitiendo al combustible y al aire entrar al cilindro mientras la valvula de escape permanece cerrada. La rotacion del cigueñal hace descender el pistón, creando un área de presión baja en el cilindro y también en el múltiple de

admisión. Al haber una presión más baja en el cilindro con respecto a la presión atmosférica, la mezcla aire combustible es empujada al cilindro ya que la presión atmosférica intenta igualar la presión que se encuentra en el cilindro.

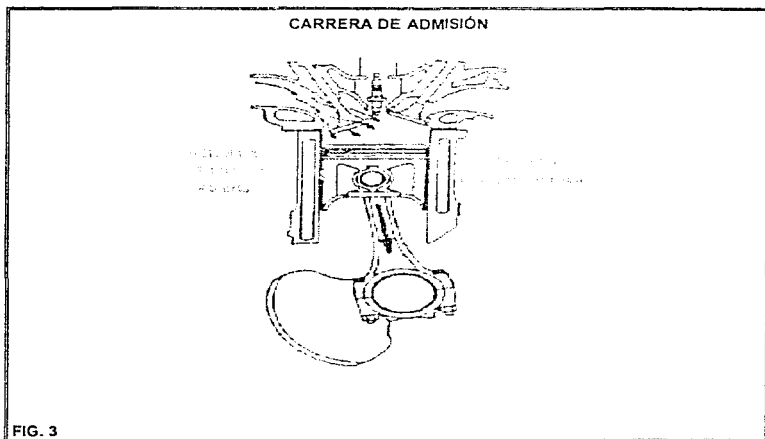
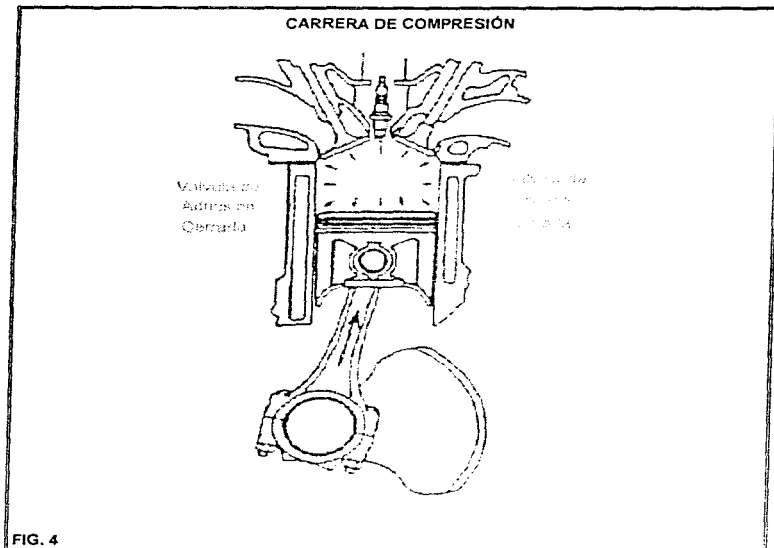
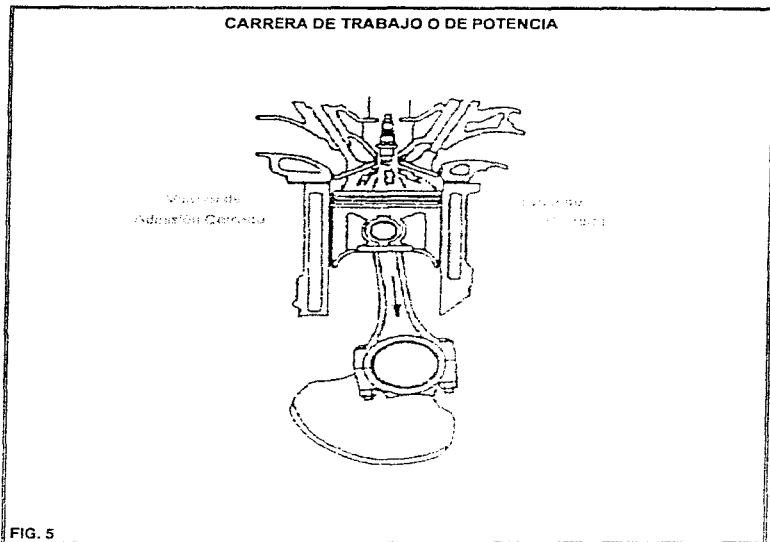


FIG. 3

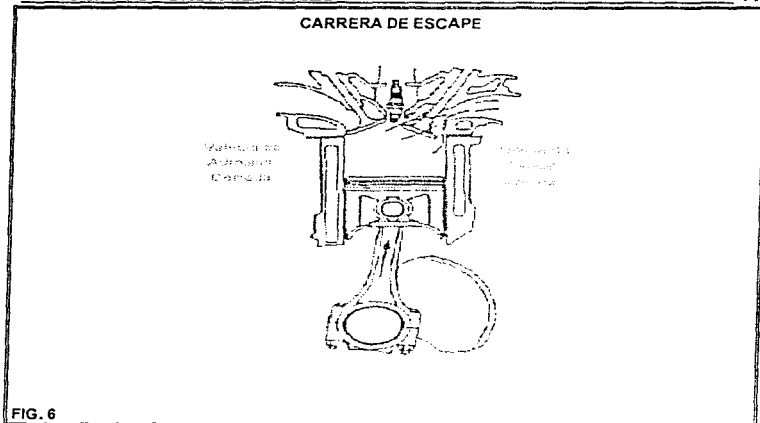
b) Carrera de Compresión: Estando el pistón en la parte baja de la etapa de admisión (PMI, Punto Muerto Inferior), el cigueñal fuerza al pistón a subir. En esta carrera las válvulas tanto las de admisión como las de escape se encuentran cerradas y el pistón actúa como un compresor, comprimiendo la mezcla aire combustible. Cuando el pistón llegue a su meta (PMS, Punto Muerto Superior), la mezcla se ha comprimido aproximadamente a 1/9 de su volumen original. Antes de que el pistón llegue al Punto Muerto Superior, la chispa es introducida en la cámara de combustión. Esto causa que la mezcla de aire combustible se empiece a quemar, y a expandirse en la cámara.



c) Carrera de Expansión, también conocida como Carrera de Potencia: En la parte alta de la etapa de compresión un instante antes de que el cigüeñal cause que el cilindro descienda nuevamente, la mezcla aire combustible se incendia y arde muy rapido. Debido a que no existe mucho espacio entre el pistón y la cabeza del cilindro, la presión en el cilindro se incrementa. El pistón es presionado hacia abajo con gran fuerza, ésta actua sobre el pistón y se traslada a través de la biela al cigüeñal provocand un torque (fuerza giratoria). Este torque suministra la potencia para mover la llanta motriz. Antes de terminar la carrera, la válvula se empieza a abrir y la presión alta de gases quemados empiezan a salir del cilindro.



d) Carrera de Escape: Al final de la carrera de expansión el pistón se encuentra en la parte baja del cilindro. Dentro del cual se encuentran gases, los cuales deben ser removidos. El pistón se mueve hacia arriba debido al movimiento del cigüeñal pero esta vez en lugar de permitir que los gases sean comprimidos, la válvula de escape ya se ha abierto y la mayor parte de los gases son expulsados del cilindro, el resto se queda dentro del cilindro y se diluye con la mezcla nueva. Al final de la etapa de escape, el pistón se encuentra en el punto muerto superior, el cilindro está listo para iniciar el ciclo nuevamente. Conforme el pistón inicia su movimiento hacia abajo la válvula de escape se cierra, la válvula de admisión se abre y el ciclo de 4 tiempos empieza nuevamente. (1,2)



1.2. EL COMBUSTIBLE.

Los combustibles líquidos son la fuente de energía principal para los vehículos automotores, los más empleados, son los derivados del petróleo. Algunas veces, cuando no se dispone de petróleo crudo, se recurre a combustibles similares obtenidos del carbón por procedimientos especiales, pero su costo resulta evidentemente mucho más elevado. Los principales tipos de combustibles líquidos puestos a la venta en el comercio son los hidrocarburos obtenidos de la refinación del petróleo crudo, además del diesel y de los alcoholes.

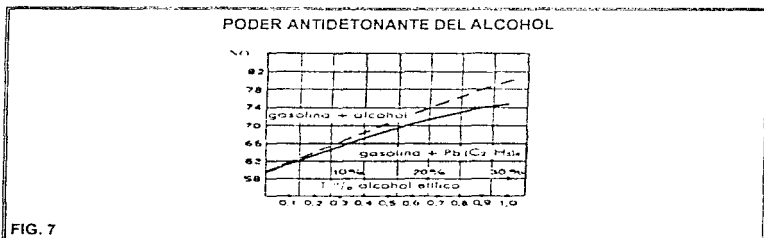
Los combustibles se clasifican en dos grandes categorías:

- a) Gasolina, y b) Diesel.

los cuales se distinguen esencialmente entre sí por su volatilidad, es decir, por su aptitud para evaporarse y, en consecuencia, por su capacidad de mezclarse homogéneamente con el aire. Las gasolinas son usadas sobre todo en los motores de encendido por chispa, y el diesel, en los motores de encendido por compresión.

El keroseno o petróleo refinado se considera producto intermedio entre las gasolinas y el diesel.

Los alcoholes tienen en sus moléculas átomos de oxígeno. Tienen buen poder antidetonante, pero escaso poder calorífico. En casos especiales se usa mezclado con la gasolina, sobre todo el alcohol metílico o metanol ($\text{CH}_3\text{-OH}$) y el alcohol etílico o etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{-OH}$).



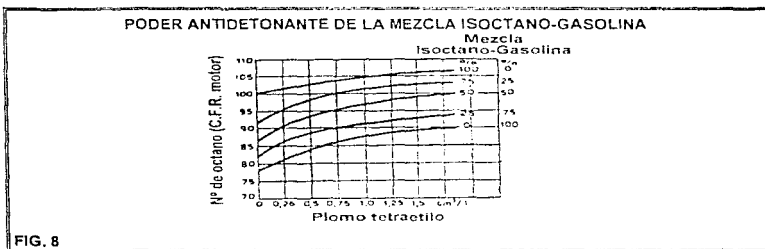
El petróleo crudo es la mezcla de un gran número de hidrocarburos, de compuestos de carbono y de hidrógeno con un bajo porcentaje de azufre, oxígeno y nitrógeno; contiene también algunas impurezas, como agua y arena.

Cuando un motor de encendido por chispa funciona en condiciones difíciles, es decir, con carga elevada, con encendido adelantado o con una relación aire combustible no adecuada al régimen y a temperatura demasiado alta, puede originarse el fenómeno llamado cascabeleo. Este cascabeleo es la consecuencia de una combustión anormal que tiene carácter detonante, el cual depende de las características del combustible y se produce más fácilmente cuando mayor es la relación de compresión del motor.

1.2.1. OCTANAJE.

Cuando el combustible tiene aptitudes para soportar elevadas compresiones, se dice que está dotado de un elevado poder antidetonante. La calidad de un carburante depende esencialmente del valor de su poder antidetonante, cuya medida está dada por el llamado número de octano (N.O.). El valor del N.O. de un carburante se obtiene comparándolo con combustibles de referencia constituidos por mezclas de isooctano y heptano o bien isooctano y tetraetilo de plomo.

Al isoctano C_8H_{18} de la serie isoparafínica, que tiene óptima cualidad antidetonante, se le asigna convencionalmente el N.O. 100, y al heptano C_7H_{16} de la serie parafínica, que posee cualidades antidetonantes muy bajas con N.O. cero. Mezclando los dos combustibles en diversas proporciones, se obtienen mezclas con todos los N.O. posibles entre 0 y 100. Para determinar el número de octano de un combustible, mediante pruebas se determina la mezcla de isoctano y heptano que para un mismo valor de la relación de compresión tenga la misma intensidad de la detonación que el combustible en ensayo. El tanto por ciento de isoctano en esta mezcla representa el número de octano del combustible. Así, por ejemplo, un combustible que posee la misma intensidad de detonación que una mezcla compuesta de 80% en volumen de isoctano y 20% de heptano, tiene un número de octano de 80.



Por consiguiente, el número de octano de un carburante es el tanto por ciento en volumen del isoctano contenido en la mezcla heptano-isoctano que, en un motor de prueba, detona hacia el mismo valor de la relación de compresión hacia el cual lo efectúa dicho carburante. El isoctano y heptano se designan también con el nombre de combustibles de referencia primarios. Cuanto más elevado es el N.O. de un combustible, mayor es su capacidad de resistir a la detonación y más alta puede ser la relación de compresión del motor. Como la potencia y el consumo específico dependen de la relación de compresión, puede afirmarse que esta importante característica del motor depende también del N.O. del combustible. El N.O. de los carburantes puede ser elevado con la mezcla, en pequeñas porciones, de determinadas sustancias antidetonantes. Las más empleadas para este fin son las siguientes:

Tetraetilo de plomo. TEP: $Pb(C_2H_5)_4$, y

Tetrametilo de plomo. TMP: $Pb(CH_3)_4$.

PODER ANTIDETONANTE DEL TETRAETILO DE PLOMO

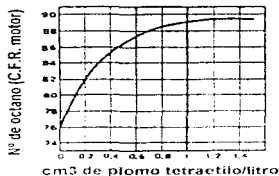


FIG. 9

El tetraetilo de plomo es el más eficaz de los que en la actualidad se usan, pero si su tanto por ciento rebasa en la gasolina determinados valores, origina los siguientes inconvenientes:

- a) Formación de depósitos de óxido de plomo, que actúan corrosivamente sobre las paredes del cilindro, del pistón y, en particular, sobre puntos muy sometidos a calentamiento (válvulas, electrodos de las bujías, etc.)
- b) Toxicidad de los vapores del combustible.

EVOLUCIÓN DE LAS GASOLINAS EN MÉXICO VS EL N.º DE OCTANO

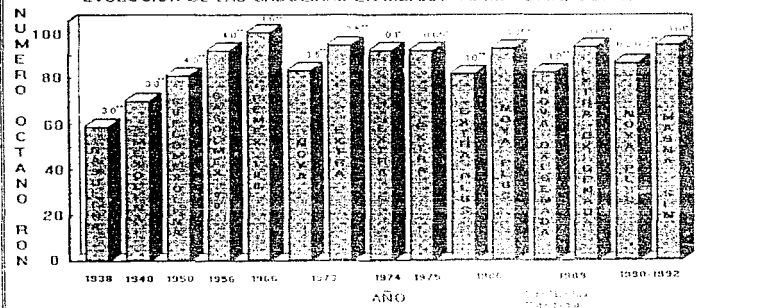
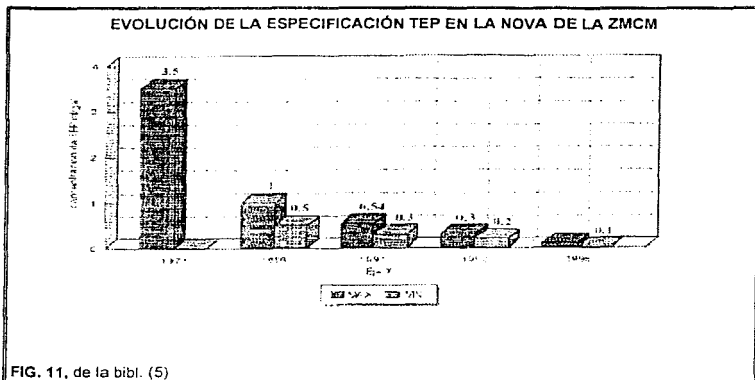


FIG. 10. de la bibl. (5)

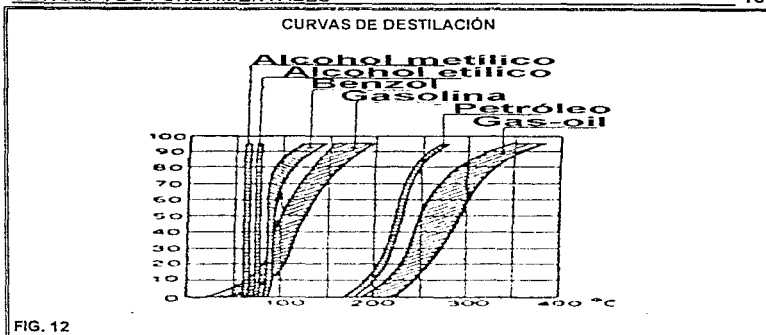


1.2.2. VOLATILIDAD.

Los diversos hidrocarburos puros tienen distintas temperaturas de vaporización. Los combustibles en uso, por ser una mezcla de hidrocarburos, evaporan parcialmente a varias temperaturas. Para definir su modo de comportarse desde el punto de vista volatilidad, se obtiene la curva de destilación, que representa la ley según la cual varía el tanto por ciento de combustible que se evapora al aumentar la temperatura.

La figura 12 muestra los intervalos de destilación de la gasolina, gasoil y petróleo, a su vez podemos observar que las curvas de destilación de los alcoholes resultan rectas, porque éstos son compuestos puros que evaporan a una temperatura bien definida.

La volatilidad es una propiedad importante de la cual depende el comportamiento del motor en el arranque y en la aceleración. De la curva de volatilidad se originan también algunos inconvenientes funcionales, como son la formación de vapor en el circuito del combustible y la dilución del lubricante.



Arranque: Para facilitar el arranque es conveniente que parte de la gasolina evapore a temperatura ambiente, es decir que la sección de la curva de destilación relativa al porcentaje vaporizado entre 0% y el 10% se verifique a una temperatura relativamente baja. Además, para conseguir las mejores condiciones para el periodo de calentamiento después de que el motor ha sido puesto en marcha, son convenientes temperaturas de destilación más bien bajas para toda la curva.

Aceleración y distribución de la mezcla: Una buena vaporización a baja temperatura favorece la distribución del combustible entre los cilindros y permite una mejor aceleración, porque reduce la cantidad de partículas líquidas en el conducto de aspiración.

1.2.3. CALOR LATENTE DE VAPORIZACION.

El calor latente de vaporización es otra característica de los carburantes, el descenso de temperatura que experimenta una mezcla aire combustible por efecto de la vaporización es, aproximadamente de 20°. El calor de vaporización de los alcoholes es muy superior al de la gasolina; el descenso de temperatura provocado en la formación de la mezcla aire alcohol, teniendo en cuenta que la cantidad de aire es menor, resulta, aproximadamente, de 85° C para el alcohol etílico, y de 125° C para el metílico. Un elevado calor de vaporización dificulta el arranque y la marcha en frío, mientras que en caliente favorece un eficaz rendimiento volumétrico.

1.2.4. PESO ESPECÍFICO.

El peso específico, se emplea para discriminar los distintos tipos de combustibles.

1.2.5. PODER CALORIFICO.

El poder calorífico es el contenido de energía del combustible, el cual varía en relación a las cantidades de hidrógeno y de carbono. Entre mayor sea la cantidad de hidrógeno, mayor resulta el poder calorífico, puesto que el correspondiente al hidrógeno es de 28700 Joules/Kg, mientras que el del carbono es tan solo 9140 Joules/Kg. Entre los productos de la combustión se encuentra el agua y, según que ésta se halle en el estado líquido o de vapor, variara el valor del poder calorífico del combustible. Por lo tanto se tienen dos poderes caloríficos.

Poder Calorífico Superior, es la cantidad de calor en Joules producidos por un kilogramo de combustible quemado en exceso de aire cuando los productos de la combustión son enfriados hasta el punto de que resulte condensado el vapor de agua que ellos contienen.

Poder Calorífico Inferior, es la cantidad de calor en kilocalorías producidas por un kilogramo de combustible quemado en exceso de aire cuando los productos de la combustión son enfriados hasta el punto de la ebullición del agua, sin que el vapor contenido en ellos resulte condensado.

Para los efectos de la utilización en el motor, interesa principalmente el Poder Calorífico Inferior, ya que el vapor de agua no se condensa, debido a la elevada temperatura a la cual son expulsados los gases. (2)

1.3. SISTEMAS DEL AUTOMÓVIL.

Un vehículo automotor está compuesto por una serie de sistemas, que permiten el funcionamiento óptimo de la unidad en cuestión, los principales sistemas son los siguientes:

EL AUTOMÓVIL: SISTEMAS QUE LO COMPONEN

SISTEMA DE COMBUSTIBLE
SISTEMA DE IGNICION
SISTEMA DE ENCENDIDO
SISTEMA DE CARGA
SISTEMA DE LUBRICACION
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

**FIG. 13**

1.3.1. EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE.

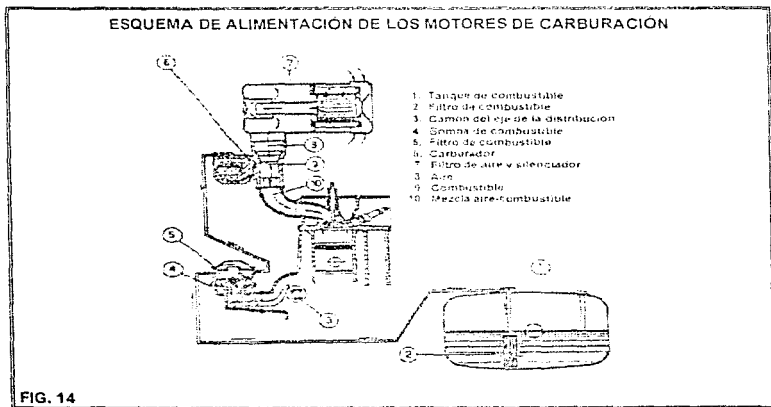
En el sistema de combustible, se presentan dos formas en las cuales se suministra el combustible hacia el múltiple de admisión: La Carburación y La Inyección.

1.3.1.1. CARBURACIÓN.

- ALIMENTACIÓN.

El sistema de alimentación comprende los elementos del motor destinados a preparar la mezcla aire combustible en la justa proporción y llevarla a cada uno de los cilindros.

El carburador es el órgano esencial del sistema. El sistema está formado por uno o más depósitos, una o más bombas para el desplazamiento del combustible, uno o más filtros y por las tuberías correspondientes. El aire atraviesa el carburador impulsado por los pistones durante la fase de aspiración. En los motores de automóvil, el aire se depura por medio de filtros antes de llegar al carburador. La mayor parte de los carburadores están dispuestos de forma que puedan utilizar solo la gasolina como combustible, pero existe algunos tipos de fabricación especialmente aptos para usar otros combustibles líquidos, como alcoholes y petróleos.



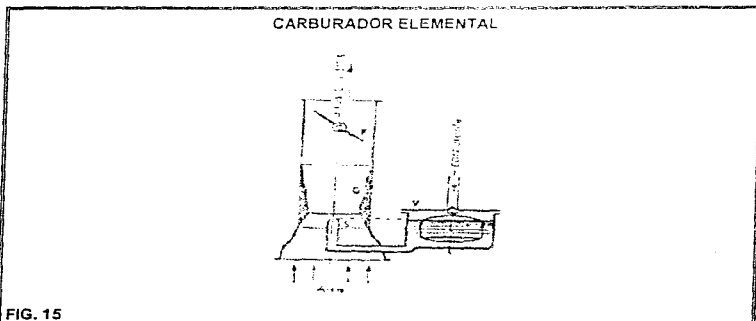
- PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL CARBURADOR.

El carburador ha de cumplir las siguientes funciones:

- 1ª Dosificar el combustible para obtener la relación de mezcla (relación en peso combustible/aire) que satisface las condiciones de funcionamiento del motor.
- 2ª Inyectar el combustible y mezclarlo homogéneamente con el aire.

Debido a que los requerimientos de la mezcla varían con la temperatura, velocidad y carga sobre el motor, es muy difícil proveer una carburación perfecta para todas las condiciones de operación. La temperatura exterior así como la temperatura de funcionamiento del motor afecta los requerimientos de la relación aire combustible. Para arranque fácil, particularmente en tiempo frío, se requiere una mezcla muy rica. Al momento que arranque el motor, cambian los requerimientos de la relación de mezcla, la proporción de aire a combustible se debe aumentar para evitar inundaciones y paro del motor. Según calienta el motor, mejora la vaporización de combustible y se necesitan mezclas progresivamente más pobres.

Los cambios en la velocidad y potencia del motor también afectan los requerimientos en la relación aire combustible. En marcha mínima y en operación a baja velocidad y potencia, se requiere una mezcla pobre para minimizar las emisiones por el escape. A velocidad mediana y con aceleración parcial, se necesitan mezclas todavía más pobres para economía de combustible, y para máxima potencia, se necesita una mezcla rica.



Toda la ciencia de la carburación se relaciona con la circulación o flujo de combustible y aire, de hecho ambas sustancias se les puede hacer mover, debido a una diferencia de presiones; la dirección de flujo es siempre al lado de presión más baja.

La función primaria del motor es producir potencia; pero, en la carrera de admisión es una muy eficiente bomba de vacío. El movimiento descendiente del pistón crea un vacío o baja presión en el cilindro. La presión atmosférica, mas alta, empuja el aire a lo largo del carburador, del múltiple de admisión y hacia dentro del cilindro.

Los elementos que constituyen un carburador son los siguientes:

a) Una cuba o depósito, donde el carburante es mantenido a un nivel constante, a la altura del surtidor. Ello se obtiene mediante un flotador construido de lámina muy delgada de latón, o de plástico, que actúa, directamente o mediante una leva, sobre una válvula cónica; la válvula se abre en cuanto el nivel desciende y permite la entrada del carburante, el cual ha sido entregado por la bomba de gasolina a una presión constante, cualquiera que sea la velocidad del motor. Este sistema tiene la ventaja de ser muy simple y sólo raras veces origina irregularidades en su funcionamiento por defectos de estancamiento en la válvula o por la sensibilidad del flotador a las acciones dinámicas. En los automóviles la forma y posición del flotador en el carburador y del surtidor respecto al flotador se eligen de manera que el nivel se mantenga también correcto en las curvas y las pendientes. El peso del flotador para un carburador dado depende, como es natural del peso específico del combustible usado. Si el nivel de combustible en la cuba esta muy bajo, el aire que circula a lo largo del venturi tendrá que elevar más distancia a la gasolina. Como resultado, la circulación de combustible se reducirá en proporción a la circulación de aire y la mezcla estará muy pobre. Esto ocasionará falta de potencia y problemas similares de rendimiento; por otra parte si el nivel del flotador esta alto, será descargado demasiado combustible en la corriente de aire y la mezcla estará muy rica. Esta condición puede contribuir a un elevado consumo y puede ocasionar problemas de funcionamiento. También puede causar o contribuir a los problemas de arranque caliente.

b) Un difusor, en forma de tubo de venturi. El cual es uno de los dispositivos más importantes utilizados en el carburador y sirve para producir, en reciprocidad con el surtidor, la depresión necesaria a la aspiración del carburante. El diámetro de la sección más estrecha del venturi se elige de modo que, a bajo número de revoluciones, la velocidad del aire sea todavía suficiente para succionar carburante del surtidor, y a elevado número de revoluciones no sea excesivamente intensa, a fin de no disminuir en demasía el rendimiento volumétrico y, por tanto, la potencia. Según aumenta la velocidad del aire que circula a lo largo del venturi, disminuye la

presión. La velocidad del aire es máxima y la presión es mínima en la sección más estrecha del venturi. El límite máximo de la velocidad media del aire (para una corriente uniforme en la aspiración) resulta en los motores de cuatro y seis cilindros, sobre unos 120 m/seg. Dispositivos especiales para incrementar el grado de pulverización (rejillas muy finas, pantallas o hélices accionadas por el aire aspirado, etc.) son en general inútiles y dañinas porque aumentan la resistencia al paso del aire reduciendo, por consiguiente bajan el rendimiento volumétrico del motor.

c) Un surtidor, del cual fluye el carburante atraído por la depresión que se origina en la sección más estrecha del venturi. El caudal del surtidor está determinado por el diámetro de la esprea. Esta se halla constituida generalmente por una pequeña pieza desmontable, provista de un orificio calibrado y colocada en el conducto que lleva el combustible al surtidor. El diámetro del orificio es una de las dimensiones características del carburador y viene expresado en centésimas de mm (80/100, 125/100, etc.) Variando el diámetro de la esprea, se puede enriquecer o empobrecer la mezcla y modificar, dentro de ciertos límites, el trabajo y el consumo del motor, o bien permitir el funcionamiento con carburante de distinto peso específico y poder calorífico del normal (como en el caso del etanol).

d) Una válvula (generalmente de mariposa), situada después del surtidor, sirve de elemento regulador de la cantidad de mezcla que se introduce en el cilindro. En algunos tipos de carburador es de corredera, de forma cilíndrica o de cuña. (3)

Por supuesto en un carburador moderno hay mucho más que una cuba de combustible, flotador, mariposa de acelerador, venturi y surtidor, por ello es importante analizar los distintos sistemas requeridos por el carburador para un óptimo funcionamiento.

- ALIMENTACIÓN DEL MOTOR A BAJA VELOCIDAD.

En marcha mínima, la circulación de aire a lo largo del venturi se reduce porque la mariposa del acelerador está casi cerrada. La caída de la presión en el venturi es muy ligera, por lo que la boquilla principal de descarga no proporciona combustible. Sin embargo, el espacio debajo de la mariposa del acelerador está expuesto al vacío del múltiple. Por ello, hay una condición de baja presión debajo del acelerador que está casi cerrado.

El orificio de marcha mínima está ubicado justamente debajo del borde de la mariposa del acelerador, cuando esta está cerrada. La pequeña cantidad de combustible necesaria para mantener al motor en marcha mínima es descargada desde el orificio de marcha mínima y mezclada con el aire que pasa por la mariposa del acelerador que está casi cerrada.

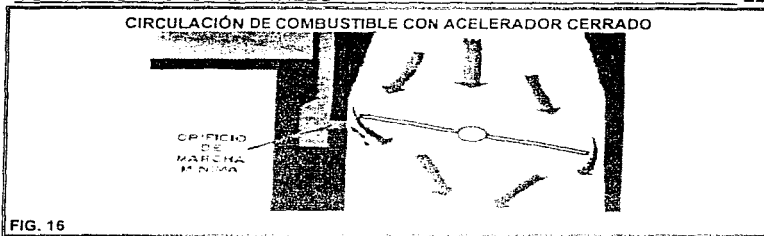


FIG. 16

El sistema de marcha mínima es abastecido con combustible que circula por el surtidor medidor principal. Después de salir del surtidor (esprea) el combustible fluye hacia arriba a lo largo del tubo de baja. El flujo de combustible está limitado por la restricción del sistema de baja, la cual es usualmente una restricción calibrada en el extremo inferior del tubo de baja.

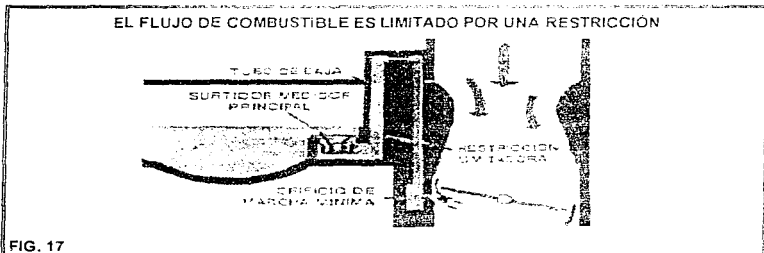


FIG. 17

Encima del tubo de baja el conducto de marcha mínima hace dos rápidas vueltas en ángulo recto y sigue hacia abajo hasta el orificio de marcha mínima. Aunque el orificio de marcha mínima está ubicado debajo del nivel del combustible que hay en la cuba, no ocurre acción de sifón. Esto se debe a que una o más purgas de aire en el extremo superior del conducto de marcha mínima sirven como respiraderos para que el combustible no sea extraído por sifón desde la cuba. De igual importancia son las burbujas de aire que entran a la corriente de combustible a través de las purgas de aire.

LAS PURGAS DE AIRE EVITAN EL SIFÓN DEL COMBUSTIBLE

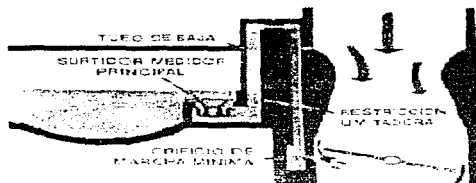


FIG. 18

Al airear el combustible antes de que llegue al orificio de marcha minima, ayuda a que se mezcle con más facilidad y uniformidad con el aire que circula a lo largo del carburador.

EL ORIFICIO DE TRANSFERENCIA SIRVE COMO PURGA DE AIRE

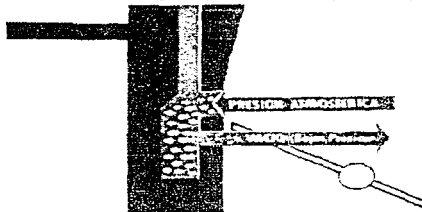
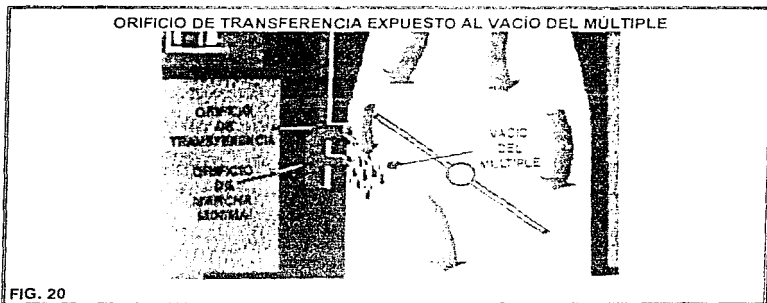


FIG. 19

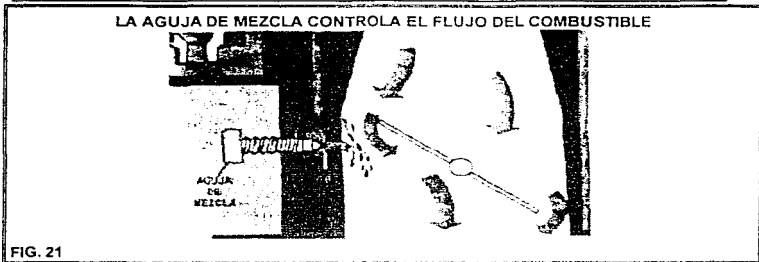
En marcha minima cuando la mariposa del acelerador está cerrada, se purga aire adicional a la corriente de combustible en el sistema de marcha minima, a través del orificio de transferencia. Pero, es mejor explicar por qué el aire penetra por el orificio de transferencia en vez de que se escurra combustible por él. Para fines practicos, con acelerador cerrado la presión en el orificio de transferencia es igual o casi igual a la atmosférica. Sin embargo, debajo de la mariposa del acelerador, en el orificio de marcha minima hay vacío del múltiple o sea baja presión. Debido a esta diferencia en presión, el aire entra por el orificio de transferencia, se mezcla con el combustible y es descargado a través del orificio de baja.

Quando se abre ligeramente la mariposa del acelerador, tanto el orificio de transferencia como el orificio de marcha mínima están expuestos al vacío del múltiple. Esto hace que el combustible fluya desde los orificios de marcha mínima y de transferencia para proporcionar la relación aire combustible correcta para funcionamiento a baja velocidad, con el motor ligeramente acelerado. Si no fuera por este combustible adicional suministrado a través del orificio de transferencia, la mezcla con el motor ligeramente acelerado sería demasiado pobre y habría un punto muerto al andar a baja velocidad. Esto es porque al abrir ligeramente el acelerador hay más circulación de aire pero sin aumento correspondiente en el flujo de combustible por el orificio de marcha mínima, debido a la restricción limitante que está en el extremo inferior del tubo de baja.



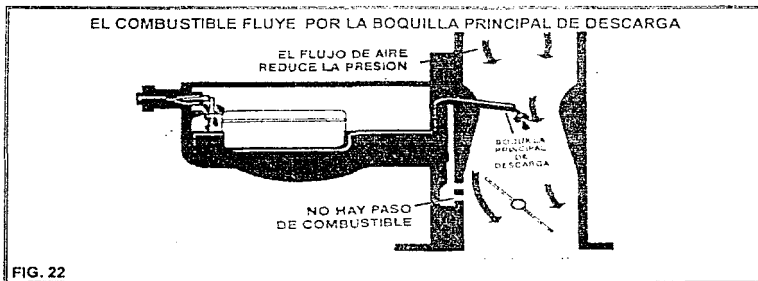
En la mayoría de los carburadores, el ajuste de la mezcla se logra con una aguja de ajuste de mezcla en el circuito de marcha mínima cerca del orificio de descarga de marcha mínima. Al apretar la aguja se reduce el flujo de combustible para producir una mezcla más pobre y al aflojar la aguja se permite que circule más combustible para tener una mezcla más rica. Los carburadores de dos y de cuatro gargantas tienen dos sistemas completos de marcha mínima y dos agujas de ajuste de mezcla.

Los orificios de marcha mínima y de transferencia suministran las necesidades de combustible para el funcionamiento a baja velocidad. Sin embargo, se necesitan un sistema para alta velocidad y varios sistemas auxiliares a fin de proporcionar las mezclas más ricas requeridas para aceleración súbita, máxima potencia y arranque en frío.



- EL SISTEMA DE ALTA VELOCIDAD.

Cuando se abre el acelerador mas aila del orificio de transferencia, aumenta la circulación de aire por el carburador. La velocidad aumentada del aire que circula a lo largo del venturi reduce la presión lo suficiente para ocasionar que fluya combustible desde la boquilla principal de descarga. En este momento, la presión en el extremo de la boquilla principal es menor que la presión en los orificios de transferencia y de marcha mínima. Como resultado, no hay circulación adicional de combustible en estos orificios. En realidad, dado que el sistema de alta velocidad es abastecido desde el pozo principal, el sistema de alta velocidad tiende a absorber el combustible en los conductos del sistema de marcha mínima



El surtidor (esprea) principal llamado a veces surtidor de alta velocidad, controla o mide el combustible que circula desde la cuba y hacia el pozo principal. El extremo inferior del tubo principal de descarga se extiende dentro del pozo principal. El sistema de alta velocidad toma su suministro de combustible del pozo principal y lo descarga en la corriente de aire que circula por el venturi. Este sistema también tiene una o más purgas de aire. Es un método común proveer una purga de aire en el extremo superior del pozo principal. Los agujeros en el tubo principal de descarga permiten que el aire se mezcle con el combustible que circula por el tubo. La introducción de aire en el combustible ayuda a disgregar este y da por resultado atomización mejorada.

La cuba de combustible tiene un respiradero al exterior solamente en marcha mínima, cuando el acelerador está totalmente cerrado. El propósito del respiradero externo es dejar escapar cualquier presión de vapor que podría producirse dentro de la taza como resultado del calor del motor debajo del cofre. En todas las posiciones del acelerador que no sean marcha mínima, la cuba del combustible tiene respiración interna por medio del tubo de equilibrio. El tubo de equilibrio se extiende desde la cuba de combustible hasta la parte superior de la toma de aire del carburador. Como resultado, la presión está equilibrada lo cual, sencillamente, significa que la presión que actúa sobre el combustible en la cuba es la misma que la presión en la toma del aire. El tubo de equilibrio compensa automáticamente los cambios normales en la restricción al paso de aire a través del filtro de aire. Si el carburador no tuviera el tubo de equilibrio, un filtro de aire que este sucio produciría un efecto de estrangulador sobre el flujo del aire y haría que la mezcla estuviese excesivamente rica.

LA CUBA DE COMBUSTIBLE TIENE UN SISTEMA DE RESPIRADERO INTERNO

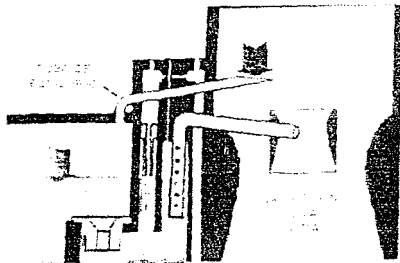


FIG. 23

- LOS SISTEMAS DE POTENCIA.

Un sistema sencillo para alta velocidad que proporcionase una relación aire combustible constante, sería adecuada para aplicación en un motor estacionario en donde la velocidad y la carga también son constantes. sin embargo, una relación fija de mezcla no satisface los requisitos de los automóviles o camiones, porque tanto la velocidad como la carga varían.

Para proporcionar máxima potencia, el sistema de alta velocidad debe suministrar al motor una mezcla que sea de alrededor de 13 kilos de aire por 1 kilo de gasolina. Para máxima economía con aceleración parcial y mínimas emisiones por el escape, la relación de la mezcla debe ser alrededor de 17 kilos de aire por 1 kilo de gasolina. En el sistema básico para alta velocidad, el surtidor principal representa una restricción fija al flujo de combustible y el venturi es una restricción fija al paso de aire. Este sistema solo puede producir una relación aire combustible fija o constante. Para producir una relación aire combustible variable, se debe proporcionar algún método para cambiar ya sea el tamaño efectivo del venturi o el tamaño efectivo del surtidor principal.

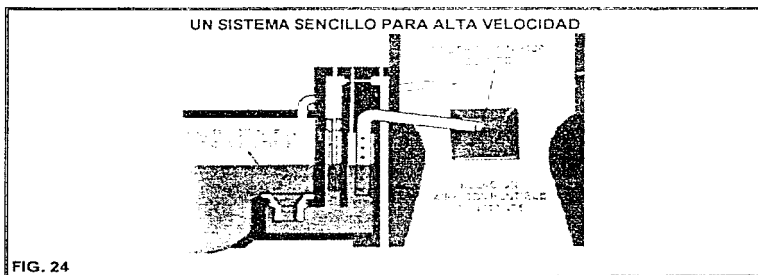
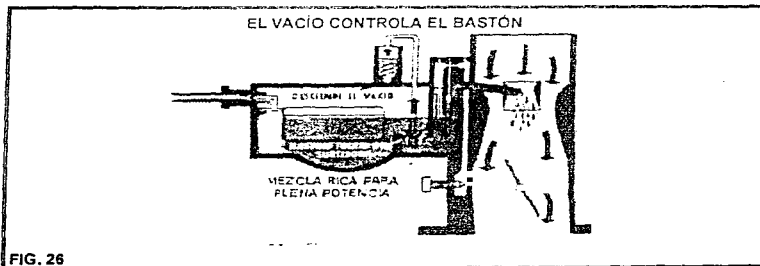
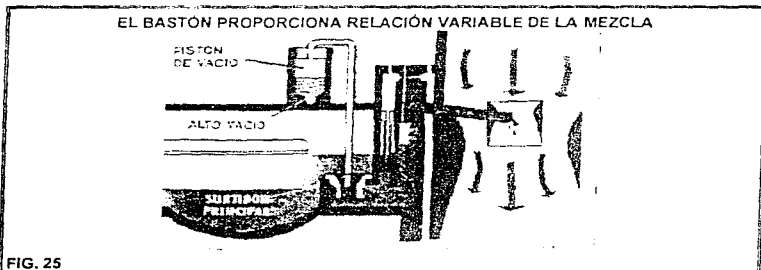


FIG. 24

En la práctica, se usa uno de varios métodos para variar la cantidad de flujo de combustible, dependiendo de las condiciones y requerimientos de operación del motor. Una forma de proporcionar una relación aire combustible variable es con el uso de una varilla medidora, mejor conocida como aguja. Cuando se usa este método, el surtidor principal es de tamaño suficiente para proporcionar la mezcla muy rica requerida para máxima potencia del motor. Se obtienen mezclas más pobres introduciendo la aguja en la abertura del surtidor para restringir el flujo del combustible. Dado que el vacío del motor cambia según los requerimientos de mezcla de aire combustible, se

pueden usar un pistón de vacío o un diafragma de vacío para controlar la aguja. En condiciones de carga y velocidad constantes, el vacío del múltiple es alto y es deseable una mezcla pobre para máxima economía y mínimas emisiones por el escape. En los carburadores equipados con pistón y aguja bajo carga de resorte, el alto vacío del múltiple tira del pistón hacia abajo para que el extremo inferior de la aguja penetre más en el surtidor. Esto reduce el paso de combustible por el surtidor para proporcionar la mezcla pobre requerida. Cuando se abre totalmente el acelerador, para máxima aceleración o para subir un a pendiente fuerte, disminuye el vacío en el múltiple y el resorte empuja hacia arriba al pistón de vacío. Esto saca la aguja del surtidor para permitir mas circulación de combustible y proporcionar la mezcla más rica que se necesita para plena potencia del motor. (4)



1.3.1.2. INYECCIÓN.

En los sistemas de inyección de gasolina, el aire se mezcla directamente en el cilindro o bien antes de la válvula de aspiración, mediante chorros intermitentes de combustible producidos por inyectores.

Los motores de inyección de combustible no deben confundirse con los Diesel, aunque el sistema de alimentación los hace aparentemente similares, porque tanto el encendido de la mezcla como la combustión son del todo análogos a los motores con sistema de carburación.

Es muy importante mantener constante la relación aire combustible, por lo que es necesario actuar bien sobre el combustible o sobre el aire introducido en el motor.

Otra ventaja de la inyección es de dar lugar a menores consumos específicos en cuanto es más fácil obtener, a cualquier régimen y en las variaciones de régimen, una mejor dosificación de la mezcla que con el carburador, pero es más difícil obtener una mezcla homogénea, porque el combustible dispone de un período de tiempo más breve para mezclarse con el aire; desventaja que se trata de reducir al mínimo con una buena turbulencia, la cual en los motores de inyección es factor de gran importancia para obtener una buena combustión.

En los motores de inyección se pueda alcanzar una relación de compresión más alta que en los motores de carburación (por tanto, a igualdad de condiciones es posible obtener una mayor p.m.e., o sea, una mayor potencia específica). Parece que esto puede atribuirse, además de a la refrigeración debida a la evaporación del carburante en el cilindro, al hecho de que permaneciendo menos en el cilindro, el carburante está sujeto en menor medida a aquellas transformaciones químicas (formación de peróxidos) que originan la detonación.

La inyección puede ser hecha directamente en el cilindro o bien en el conducto de aspiración inmediatamente antes de la válvula.

Cuando la inyección se hace directamente en el cilindro se puede lograr un buen barrido del mismo y de la cámara de combustión por medio del aire solo y, por tanto, sin desperdicio de combustible. Por el contrario, puede haber condensaciones de carburante sobre las paredes del cilindro y, por ello, dilución del aceite lubricante; este inconveniente se remedia con particulares medidas en la elección del inyector, de la forma de la cámara de combustión y de la presión de la inyección.

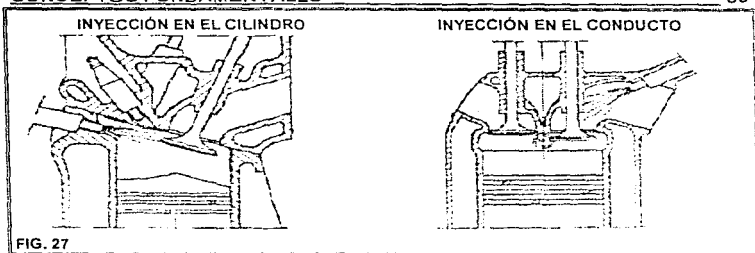


FIG. 27

La inyección en la admisión se efectúa generalmente durante la fase de aspiración (pero también puede ser efectuada mientras la válvula está todavía cerrada), con presiones de inyección en general comprendidas entre 30 y 50 kg/cm²; en algunos casos, sin embargo, puede también ser superior. Cuando se hace la inyección en el cilindro puede ser también en la fase de compresión durante la cual es más fácil obtener la evaporación de la gasolina. "En los motores con compresor en los cuales se efectúa el barrido estableciendo un gran ángulo de traslape (hasta 80°) entre las fases de aspiración y escape, es conveniente efectuar la inyección durante la fase de compresión. La duración de la inyección varía con la carga del motor, esto es, según que la cantidad de combustible a inyectar sea mayor o menor; como término medio está comprendida entre 40° y 80° de rotación del eje motor. Para los motores de uso normal los consumos específicos resultan generalmente inferiores al 10% respecto a aquellos de motores de carburación, mientras la p.m.e. sufre un sensible incremento."

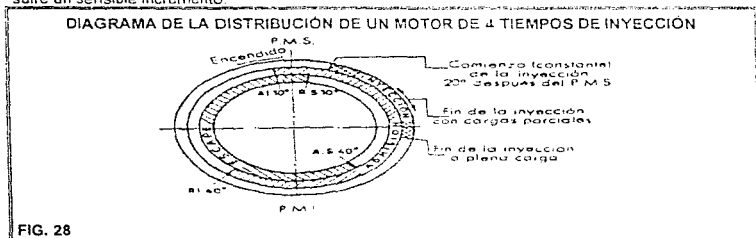


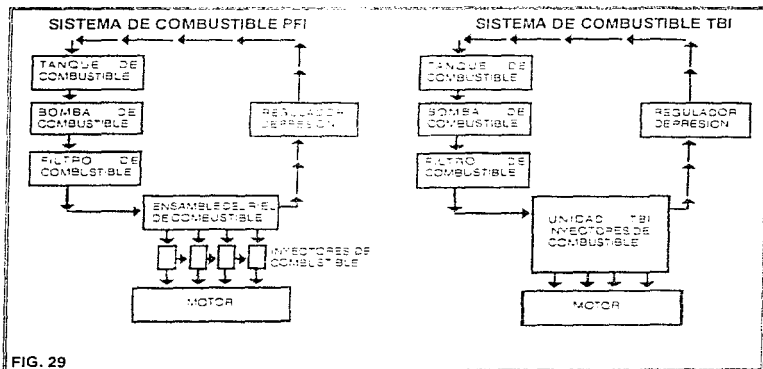
FIG. 28

La alimentación por inyección, especialmente la directa en el cilindro, no es conveniente para cilindradas unitarias inferiores a los "400 // 500" cm³, ya que por debajo de ese límite aumenta la dificultad de dosificación, por otro lado, el costo de la instalación resulta desproporcionado respecto a la del motor

El número de revoluciones máximo del motor de inyección encuentra una limitación en el régimen máximo al cual la bomba de inyección puede funcionar sin inconvenientes. Tal régimen, que depende de las características constructivas, oscila alrededor de 4000 / 4500 r.p.m., por lo que, teniendo en cuenta que la bomba gira a la velocidad del eje de la distribución (es decir, a la mitad del eje del cigüeñal), el régimen máximo al cual puede funcionar el motor esta actualmente fijado en las 8000 / 9000 r.p.m. (3)

-MODELOS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN.

En la actualidad existen dos modelos distintos en cuanto al sistema de inyección se refiere. En uno de ellos el combustible es entregado al motor por los inyectores de combustible individuales montados en el múltiple de admisión cerca de cada cilindro (sistema PFI). En el otro los inyectores proporcionan el combustible al motor a través del cuerpo de aceleración montado sobre el múltiple de admisión (sistema TBI).

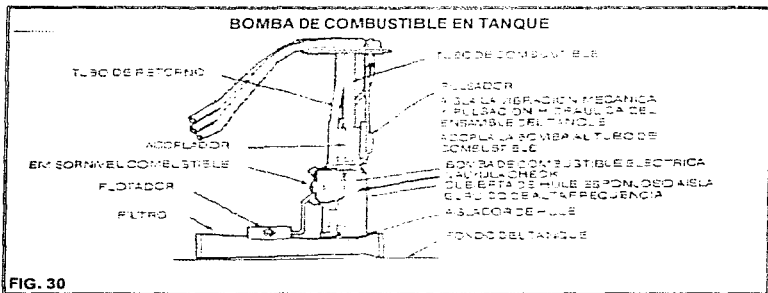


El sistema de combustible por inyección, empieza con el tanque de combustible, en el cual se localiza una bomba eléctrica junto con el emisor del nivel de combustible y un filtro de tipo malla, ésta bombea combustible a los inyectores a través del filtro del combustible en línea. La bomba está diseñada para suministrar combustible a una presión mayor de la requerida por los inyectores; el regulador de presión mantiene combustible disponible para los inyectores a una presión constante. El sistema se compone de los siguientes dispositivos:

- COMPONENTES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN.

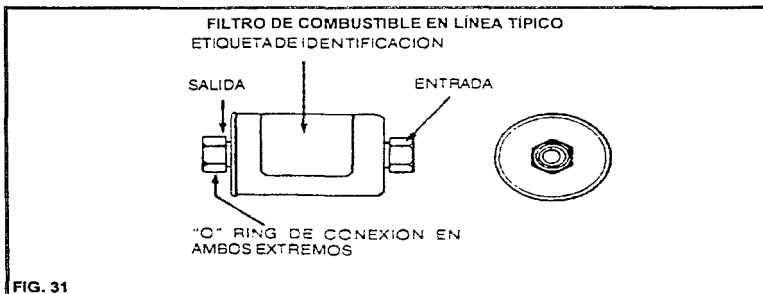
- Tanque de combustible. La función del tanque de gasolina es almacenar el combustible que se distribuye al sistema por medio de la bomba que se encuentra alojada en él. La mayoría de los tanques son de acero y están recubiertos en su exterior e interior por compuestos epóxicos ricos en aluminio (exterior) y zinc (interior).

- Bomba de combustible. La operación de la bomba de gasolina del sistema PFI es muy similar a la del sistema TBI, la diferencia básica entre ellas es la presión que generan para su sistema de combustible. El combustible es alimentado al sistema desde la bomba de paletas de desplazamiento positivo alojada en el tanque de combustible. La bomba alimenta combustible a través del filtro en línea de combustible al riel de inyectores (PFI) o a los inyectores en la unidad (TBI).



- Filtro de combustible. Un filtro de combustible en línea está localizado en el compartimento del motor o cerca del tanque de combustible, en las conexiones de rosca se utilizan O-rings para

evitar fugas de combustible. Mangueras flexibles o tuberías metálicas con rosca, conectan el filtro a la línea de alimentación del tanque.

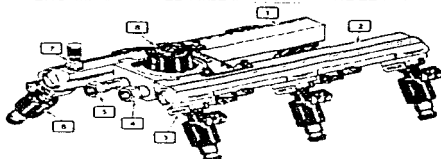


- Regulador de presión del combustible. El regulador de presión PFI es una válvula de alivio operada por un diafragma, con la presión de la bomba de combustible en un lado del resorte del regulador. En el sistema TBI forma parte de la unidad TBI en la cubierta de dosificación de combustible, y contiene una cámara de aire y una cámara de combustible que están separadas por una válvula de alivio operada por un diafragma y un resorte calibrado.

La función del regulador es mantener una presión diferencial constante a través de los inyectores en todo momento. El regulador de presión compensa la carga del motor aumentando la presión de combustible cuando hay bajo vacío en el motor. Si el regulador de presión (PFI y TBI) suministra una presión demasiado baja puede ocurrir un funcionamiento pobre. Si la presión es muy alta se puede presentar, mal rendimiento de combustible y un olor excesivo a gasolina.

- Riel de combustible. El ensamble del riel de combustible está montado en la sección inferior del múltiple de admisión y distribuye el combustible a los cilindros a través de inyectores individuales; este ensamble está compuesto por el riel izquierdo el cual entrega combustible a los cilindros pares, el riel izquierdo el cual entrega combustible a los cilindros nones, los inyectores y el regulador de presión.

ENSAMBLAJE DEL RIEL DE COMBUSTIBLE PFI



- 1 ENSAMBLE PIEL IZQUIERDO DE COMBUSTIBLE Y TAPON
- 2 ENSAMBLE PIEL DERECHO DE COMBUSTIBLE Y TAPON
- 3 SEGURO RETENEDOR DEL INYECTOR
- 4 CONEXION DE SALIDA DEL COMBUSTIBLE
- 5 CONEXION DE ENTRADA DEL COMBUSTIBLE
- 6 ENSAMBLE DEL INYECTOR MULTIC (MPFI)
- 7 ENSAMBLE DE LA CONEXION PARA LA PRESION DEL COMBUSTIBLE
- 8 ENSAMBLE DEL REGULADOR DE PRESION

FIG. 32

- Inyectores de combustible. Los inyectores de combustible PFI y TBI son dispositivos operados por un solenoide el cual al ser energizado abre una válvula de bola; ambos inyectores proporcionan combustible en forma de rocío cónico. En el sistema PFI el rocío de combustible es dirigido a la válvula de admisión y en el sistema TBI a las paredes del cuerpo de aceleración.

COMPARACIÓN DE INYECTORES PFI Y TBI

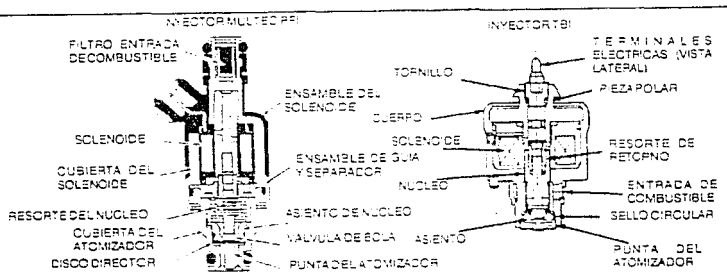


FIG. 33

Un inyector de combustible que no abra puede originar una condición de no arranque. Un inyector atascado y/o parcialmente abierto puede causar una pérdida de presión después que se apaga el motor, por lo tanto se podrán apreciar tiempos de arranque muy prolongado. Un inyector atascado completamente abierto causara que el motor se pare o una condición de no arranque. (4)

1.3.2. SISTEMA DE IGNICIÓN.

La finalidad del sistema de Ignición es encender por medio de la chispa la mezcla aire combustible. transforma los 12 volts de la batería en impulsos que van desde 25000 volts hasta 50000 volts. También distribuye estos impulsos a cada bujía en el orden de encendido comúnmente llamado "orden de encendido", de tal forma que el chispazo en los electrodos de la bujía es cerca del P.M.S., El sistema de Ignición consta de dos circuitos

- | | | |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|
| | Circuito primario | Batería |
| | | Switch |
| | | Bobina |
| Sistema de Ignición. | | Platino |
| | | Condensador |
| | | Bobina |
| | Circuito secundario | Tapa de distribuidor |
| | | Escobilla |
| | | Cable de bujía |
| | | Bujía |

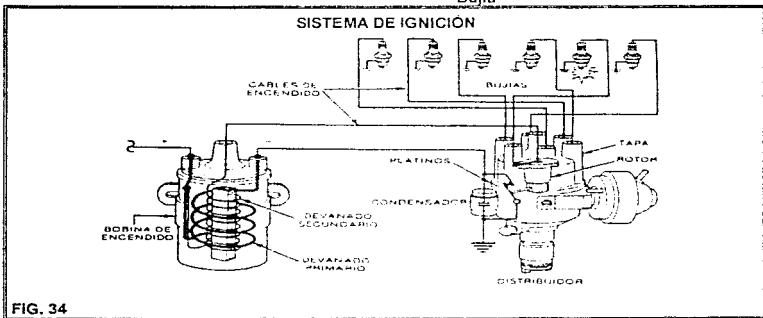


FIG. 34

Circuito Primario. Cuando cerramos el interruptor de ignición, la corriente eléctrica del acumulador fluye por la resistencia a la terminal positiva de la bobina. De ahí pasa por el enrollamiento primario de la bobina y sale por la terminal negativa hacia los platinos y condensadores. Debido a que se crea una inducción en el secundario de la bobina, la carga aumenta muy rápido en diferencia del potencial a un voltaje mayor que el de cualquier parte del circuito primario. Por esta razón el condensador se descarga rápidamente a través de la bobina provocando un flujo inverso de la corriente en el circuito primario.

Circuito Secundario. Este circuito empieza en el secundario de la bobina, este embobinado consiste de cerca de 30000 espiras de alambre de cobre fino. Cuando los platinos se abre se interrumpe la saturación de la bobina y se genera el alto voltaje en el secundario debido a la autoinducción del embobinado. El alto voltaje que sale del devanado secundario de la bobina fluye hacia la tapa del distribuidor a través de un cable que llega a la torreta central, de ahí fluye por medio de un carbon hacia el rotor. El rotor está unido al eje del distribuidor y gira con él distribuyendo los impulsos de alto voltaje a las torretas laterales, en las cuales están colocados los cables que se dirigen hacia las bujías, éstas completan el circuito secundario, las cuales se construyen con un cuerpo metálico y un aislador que cubre un electrodo que se encuentra al centro. En el extremo inferior se encuentra el electrodo lateral o de masa. La chispa salta del electrodo central al electrodo lateral para encender la mezcla aire combustible.

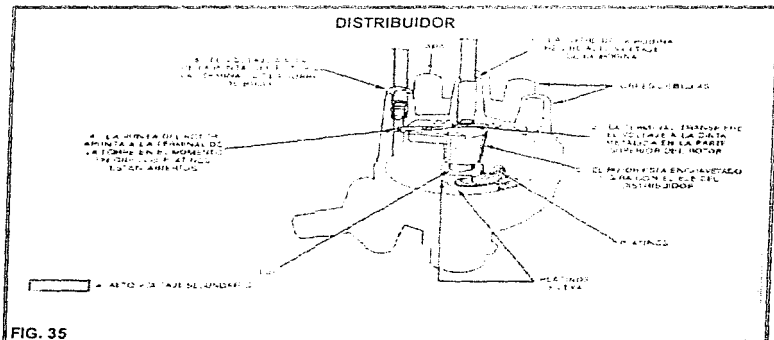
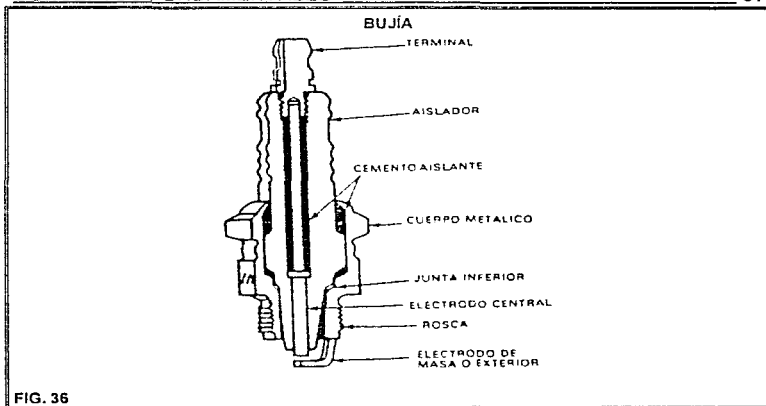


FIG. 35

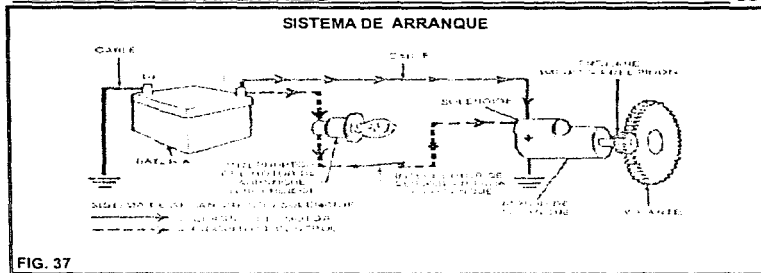


1.3.3. SISTEMA DE ARRANQUE.

Está compuesto por: Batería, Interruptor del motor de arranque, motor de arranque, solenoide y el piñón.

Este sistema es un complemento al sistema de ignición, ya que para realizar el primer ciclo de trabajo del motor, se necesita de un impulso inicial, el cual es proporcionado por un dispositivo, llamado motor de arranque accionado por un solenoide.

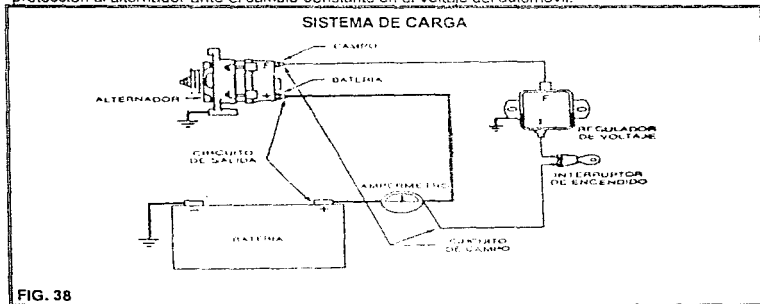
Este dispositivo se acciona con el interruptor de arranque del motor, ya que mediante un circuito de control se pone en funcionamiento el solenoide, el cual permite el movimiento lineal del piñón de la marcha, el cual hace contacto empujando con el volante del cigüeñal, después de dicho contacto el rotor de la marcha proporciona el torque suficiente para que el piñón transmita movimiento al volante. dado el impulso inicial el piñón regresa a su posición inicial, dejando de hacer contacto con el volante del cigüeñal.



1.3.4. SISTEMA DE CARGA.

Está compuesto por: alternador, regulador de voltaje, interruptor de encendido y la batería.

Este sistema permite recargar eléctricamente la batería, debido a que durante el encendido y sobre todo durante el funcionamiento de los sistemas eléctricos del automóvil como son luces, calefacción, radio, etc. el voltaje de la batería tiende a disminuir, por dicha razón se necesita de un generador o alternador que permita transformar la energía mecánica en energía eléctrica y mandarla a la batería. En este circuito es muy importante la presencia del regulador de voltaje, ya que sirve de protección al alternador ante el cambio constante en el voltaje del automóvil.



1.3.5. SISTEMA DE LUBRICACIÓN.

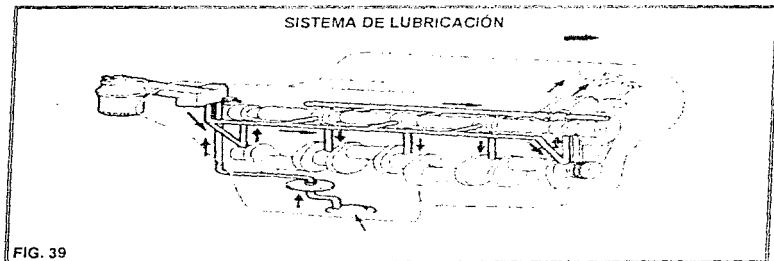
La lubricación de un motor encendido por chispa se puede obtener con cualquiera de los siguientes sistemas:

1.- Lubricación por cuchara y salpicadura. La cabeza de la biela recoge, con una cuchara el aceite, el cual es mantenido a un nivel adecuado en el cárter. El aceite penetra en el cojinete de la biela y en las paredes internas del cárter y del cilindro.

2.- Lubricación forzada. El aceite se pone en circulación por medio de una o más bombas y es dirigido, mediante adecuados canales y tuberías, a los puntos que han de lubricarse. El aceite que fluye de las partes lubricadas se recoge en el cárter, desde el cual es puesto de nuevo en circulación por medio de la bomba.

3.- Lubricación por dosificación. El aceite contenido en un depósito se introduce por medio de una bomba dosificadora y así puede lubricar todo el motor.

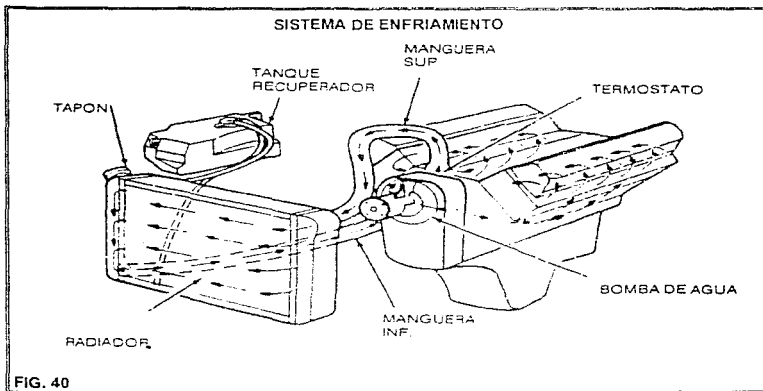
4.- Lubricación por medio de mezcla aceite combustible. El sistema solo se aplica en motores de 2 tiempos y de carburación, cuyo propio pistón se encarga de efectuar la compresión del fluido operante en el cárter.

**1.3.6. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.**

Con válvulas abriendo y cerrando, pistones moviéndose hacia arriba y hacia abajo, el cigüeñal y el árbol de levas girando las bujías generando chispas y específicamente el encendido del combustible, la energía calorífica generada en el motor es considerable. La temperatura dentro de la cámara de combustión es aproximadamente 1100°C. Puesto que esta alta temperatura puede crear problemas para los materiales de los que está hecha la máquina, es clara la necesidad de remover este calor, lo cual es trabajo del sistema de enfriamiento.

Cuando la máquina es sobrecargada, se quema más combustible y consecuentemente se necesita extraer más calor a través del sistema de enfriamiento. Un termostato detecta el incremento en temperatura del refrigerante que entra al cilindro y responde al abrir la valvula que controla la cantidad de refrigerante al radiador. El sistema de enfriamiento está presurizado de tal manera que el punto de evaporación del refrigerante se eleve, permitiendo que el motor opere ligeramente más caliente y más eficiente. Parte del refrigerante es desviado del sistema principal y dirigido a pequeños radiadores los cuales proveen calor a la cabina.

Rara vez el agua sola puede ser utilizada como refrigerante ya que tiene 3 desventajas: se congela, se evapora y produce corrosión. Adicionando un volumen igual de glicol anticongelante el agua ayuda a vencer estas desventajas. La mezcla agua-glicol tiene un alto punto de ebullición, contienen inhibidores de corrosión y bajo punto de congelación. (2)



II. GESTIÓN Y NORMATIVIDAD AMBIENTAL

2.1. ORIGENES DE LAS EMISIONES DEL ESCAPE DE MOTORES DE GASOLINA.

Pruebas extensas han demostrado que cuando se queman diferentes gasolinas en un motor dado, se producirán diferentes hidrocarburos (HC) no consumidos entre los productos del escape, además, los productos del escape varían entre los diferentes motores aún cuando funcionan con la misma gasolina. Se han identificado más de 200 HC entre los productos de escape de una gasolina dada.

Los fenómenos de combustión que ocurren en un motor de combustión interna son tan complejos que ha sido imposible deducir un modelo de reacción química que pueda pronosticar con éxito los productos en el escape.

En el motor convencional de gasolina encendido por chispa, una mezcla de aire y gasolina, suministrada por el carburador es admitida al cilindro por medio del múltiple de admisión y la válvula de admisión durante la carrera de admisión del pistón, que luego es comprimida y encendida por la chispa de la bujía de encendido, durante la carrera de compresión. La mezcla se quema y los productos de la combustión se expanden y el pistón viaja hacia abajo en la carrera de expansión. Los gases producto de la combustión son expulsados del cilindro a través de las válvulas y múltiple de escape durante la carrera de expulsión para llegar al sistema de escape. Se puede estimar la cantidad de aire teórica para quemar completamente el combustible. (6)

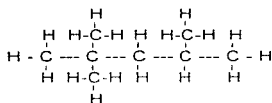
2.1.1. REQUERIMIENTOS DE AIRE-COMBUSTIBLE.

El aire es una mezcla de 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y 1% de otros gases. El oxígeno es el elemento más abundante, el oxígeno libre constituye cerca del 21% del volumen o 23% de la masa de la atmósfera. Es el oxígeno del aire el que se mezcla con el combustible. El nitrógeno es convertido a óxido de nitrógeno y ácido nítrico.

La gasolina es una mezcla compuesta a base de varios hidrocarburos. Contiene 16% de su peso de hidrógeno y 84% de carbón. Idealmente la gasolina tiene las siguientes características.

La fórmula es: C_8H_{18} .

Se le denomina: 2,2,4 trimetil isoocetano.



Su peso molecular es el siguiente:

Ca	=	12 011 X 8	=	96.0880 gr.
H ₁₈	=	1 0079 X 18	=	18.1422 gr.
TOTAL	=		=	114.2302 gr.

Proporción en la sustancia:

Carbono (C)	=	96 0880/114.2302	=	84.12 %
Hidrógeno (H)	=	18 1422/114.2302	=	15.88 %

Octanaje: 100 octanos

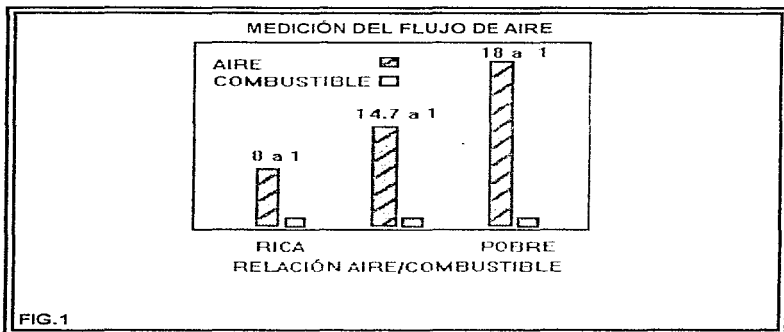
Sin embargo, existen variaciones, que permiten caracterizar a las gasolinas, principalmente en su grado de octanaje. En el caso de nuestras gasolinas tienen un grado de octanaje de 84 para la Nova y de 92 para la Magna Sin.

Cuando la gasolina es mezclada con oxígeno y es encendida, se quema. A esta acción se le llama combustión y es una manera de liberar energía almacenada en la mezcla formada de aire y gasolina. El proceso de combustión también es referido como una reacción de oxidación. Se quiere decir con esto que el oxígeno es combinado con gasolina para formar una mezcla química nueva.

Se sabe sin considerar la eficiencia, que una mezcla dentro del rango de 8:1 y de 18.5:1 debe ser proporcionada para que funcione un motor de automóvil. Lo más práctico sería poder emplear la relación de aire combustible que permitiera el máximo de potencia al máximo de economía de combustible. Desgraciadamente, no existe una relación de aire combustible capaz de proporcionar ambas, las pruebas demuestran que la potencia máxima se obtiene usando una mezcla de 12.5:1 a 13.5:1, mientras que el máximo de economía resulta al usar una mezcla de 15:1 a 16:1. Es obvio que ninguna relación

satisface todos los requerimientos. Por lo tanto, el carburador debe ser capaz de proporcionar rápidamente la mejor mezcla de combustible para satisfacer los requerimientos variables del motor.

Si se desea obtener la máxima potencia, es necesario quemar todo el oxígeno del aire, y si queremos lograr el máximo de economía es conveniente quemar todo el combustible (2).



La combustión queda representada por la siguiente ecuación:

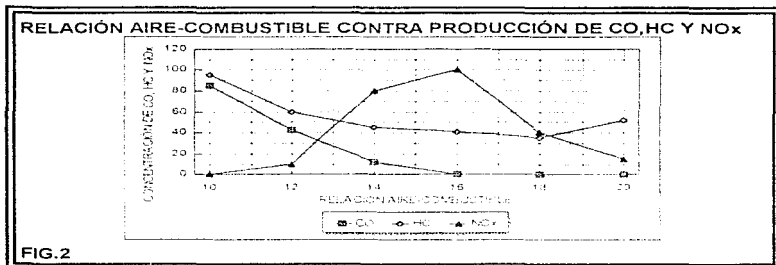


Es decir, la gasolina al ser quemada en presencia de oxígeno (contenido en el aire) se produce vapor de agua, bióxido de carbono y energía.

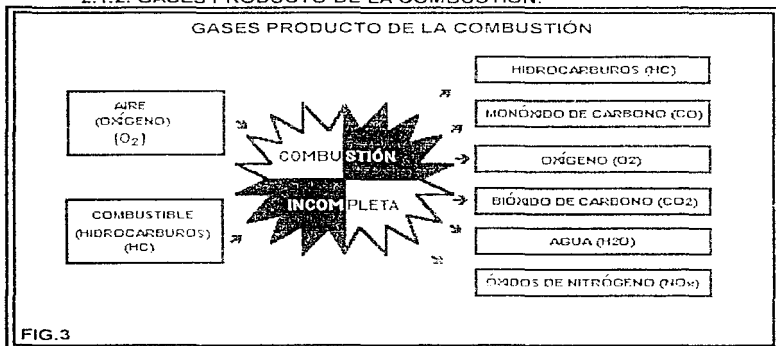
Con base en esta reacción, 1716 gr. de aire son requeridos para cada 114 gr. de gasolina para obtener una combustión completa. Por lo que la relación aire-combustible teórica (A/C_{teo}) = 15 : 1.

Anteriormente al control de emisiones se tenían A/C= 12.5 a 14.1 :1, con las cuales se obtenían potencias máximas en los motores, pero se tenía un alta

producción de CO, HC y NOx, la mínima producción de CO es cercana a la A/C teo, como se puede observar en la siguiente gráfica (6)



2.1.2. GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN.



Durante el proceso de combustión, es muy importante tener las condiciones óptimas para que se produzca una combustión completa, en caso

contrario se provocarán en mayor cantidad las emisiones contaminantes. A continuación se presentan los principales gases contaminantes:

-**Hidrocarburos (HC)** Este es un termino muy amplio que se usa para describir las materias orgánicas que se encuentran en las gasolinas y en todos los productos derivados del petróleo

La mayor parte de los hidrocarburos sólo son venenosos en concentraciones superiores a varios cientos de partes por millón; sin embargo, la luz del sol causa que algunos de éstos reaccionen con óxidos de nitrógeno y que se formen así un grupo de oxidantes que son perjudiciales para la salud.

Los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, en presencia con la luz solar, producen una mezcla de humo y niebla comúnmente conocida como **SMOG**. Contribuyen a la formación de Ozono, irritan los ojos y nariz, algunos (como el benceno) son cancerígenos.

- **Monóxido de Carbono (CO)** Es el gas contaminante más frecuente, ya que representa aproximadamente la mitad de los contaminantes presentes en la atmósfera. Es incoloro e inodoro y es producto de las combustiones incompletas, como las producidas por las refinerías de petróleo y principalmente por motores de combustión interna como los de los automóviles, camiones y motos. Los motores de combustión interna que operan con mezclas ricas tienden a aumentar las emisiones de monóxidos de carbono e hidrocarburos ya que no hay suficiente oxígeno para la combustión completa. En cambio, cuando operan con mezclas pobres, las emisiones de monóxido de carbono se reducen, aunque, si son demasiado pobres y no hay combustión completa, aumentan las emisiones de hidrocarburos.

El CO afecta al cuerpo humano con gran rapidez: la hemoglobina, el pigmento y el elemento respiratorio de los glóbulos rojos de la sangre, tienen una gran afinidad por el CO, casi 300 veces más que por el oxígeno. Cuando el CO se combina con la hemoglobina, se reduce la cantidad de hemoglobina disponible para llevar oxígeno a los tejidos del cuerpo. Si el volumen de CO que se combina con la hemoglobina es considerable el cuerpo literalmente sufre sofocación debido a la falta de oxígeno.

- Óxidos de Nitrógeno (NOx): Contiene oxígeno y nitrógeno y se forman cuando el aire, a temperaturas elevadas se calienta. Todo proceso de combustión que utiliza el aire como fuente de oxígeno -motores, sistemas de calefacción, plantas de energía, turbinas de gas entre otros- emiten óxidos de nitrógeno. Entre más altas sean las temperaturas mayor la concentración de oxígeno y mayor la producción de óxidos de nitrógeno. Estos al reaccionar con los rayos solares, forman oxidantes que dan al smog su característico color café. Puede ser fatal en concentraciones elevadas. A nivel de concentraciones medias irrita los pulmones, causa bronquitis y neumonía y disminuye la resistencia a infecciones respiratorias

- Plomo (Pb): El plomo es un metal no ferroso que se presenta en forma de partículas que se suspenden en el aire junto con los gases de escape en los motores operados con gasolina (el tetraetilo de plomo se agrega al combustible para evitar detonación o cascabeleo).

El plomo en general presenta altos riesgos para la salud, puede llegar a producir alteraciones nerviosas y digestivas. En concentraciones altas, si se inhalan dichas partículas o polvos, puede producirse una intoxicación crónica que se conoce como saturnismo

- Ozono (O₃): El ozono es un gas que se encuentra en la atmósfera y rodea a la tierra. Funciona como pantalla protectora, formada por tres moléculas de oxígeno que absorben las radiaciones ultravioletas del sol e impiden que éstas lleguen a la superficie terrestre. En altas concentraciones el ozono es nocivo a la salud. El trastorno más común es la irritación ocular

- Dióxido de azufre (SO₂): Es un irritante respiratorio que normalmente se absorbe en la nariz y en las vías respiratorias superiores. En combinación con la humedad del aire y las precipitaciones forma la llamada lluvia ácida que en mayores y prolongadas concentraciones afecta la vegetación y edificios

- Dióxido de Carbono (CO₂): Es el resultado de una molécula de Carbón unida a dos de Oxígeno en la cámara de combustión y es enviada hacia afuera por medio del escape. No es tóxico, y debido a la creciente cantidad generada por

la quema masiva de los hidrocarburos, en el mundo se produce el efecto invernadero, con la consecuencia de un incremento de la temperatura, así como del nivel de los mares (2)

Actualmente se realizan en la Secretaría de Salud estudios epidemiológicos que valoran la relación dosis/respuesta entre los diferentes contaminantes y la salud de la población del Valle de México para la futura actualización de los criterios establecidos en las normas que regulan la calidad del aire (9)

VALORES NORMATIVOS PARA LOS CONTAMINANTES			
CONTAMINANTE	VALORES LÍMITE		
	EXPOSICIÓN AGUDA		EXPOSICIÓN CRÓNICA
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	Media Aritmética Anual (Para protección de la salud de la población susceptible)
OZONO (O ₃)	0.11 ppm, 1 hora	1 vez en 3 años	----
Bisóxido de azufre (SO ₂)	0.13 ppm, 24 horas	1 vez al año	0.03 ppm
Bisóxido de nitrógeno (NO ₂)	0.21 ppm, 1 hora	1 vez al año	----
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm, 8 hora	1 vez al año	----
Partículas suspendidas totales (PST)	260 µg/m ³ , 24 horas	1 vez al año	75 µg/m ³
Partículas fracción respirable (PM ₁₀)	150 µg/m ³ , 24 horas	1 vez al año	50 µg/m ³
Plomo (Pb)			1.5 µg/m ³ **

Normas vigentes publicadas por la Secretaría de Salud en el Diario Oficial de la Federación

FIG.4

2.1.3. REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES POR REACTORES EXTERNOS.

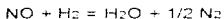
Un reactor externo es un elemento que nos permite reducir las emisiones al ambiente de gases producto de la combustión; a continuación se presentan, cuatro tipos de reactores:

* Reactores Térmicos: Oxidan el CO y los HC que salen de la cámara de combustión en el sistema de escape, la temperatura del reactor debe ser suficientemente elevada para que se verifique la reacción, se debe introducir una cantidad adecuada de O₂ y se debe tener un tiempo específico de permanencia de los gases en el reactor. Su ventaja es una reducción de CO y de HC mientras

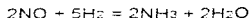
que la desventaja consiste en un elevado costo y volumen así como el aumento de las emisiones de NOx debida al exceso de O₂ en el reactor.

* Reactores Catalíticos de Oxidación. Los catalizadores son sustancias heterogéneas que normalmente incluyen metales como platino, iridio, paladio, etc. y se colocan en el tubo de escape. Un parametro que influye notablemente sobre el rendimiento del catalizador es la superficie expuesta al contacto de los gases de escape. Para elevar esta superficie se prefieren los reactores con el catalizador formando gránulos de tamaño pequeño, frente a los catalizadores monolíticos. En este tipo de reactores se puede realizar la oxidación del CO y de los HC a bajas temperaturas y más rápido que en los reactores térmicos. Su inconveniente es el aumento de las emisiones de NOx. Sólo es usado en motores que utilizan gasolina sin plomo ya que éste provoca un envenenamiento progresivo de los metales del catalizador.

* Reactores Catalíticos de Reducción. Se encargan de reducir el NOx a N₂. Para que trabaje con buenos rendimientos es necesario que en su interior no exista prácticamente O₂. Se utilizan catalizadores que en su interior tienen Rodio o Rutenio, los que favorecen únicamente las reacciones de componentes reductores como H₂ y CO produciéndose las siguientes reacciones:



Queda con menor importancia la reacción no deseada que forma amoníaco:



* Reactores Catalíticos Mixtos o de tres vías. Cuando se trabaja con mezclas estequiométricas, pueden utilizarse, este tipo de reactores, ya que actúan simultáneamente sobre los tres contaminantes HC, CO y NOx, de tal forma que el NOx se reduce y cede su oxígeno para oxidar el HC y el CO. El rendimiento está condicionado a la exactitud de la dosificación, la que difícilmente

proporcionará un carburador, de no ser que tenga información instantánea del proceso de combustión en función de los productos resultantes (6)

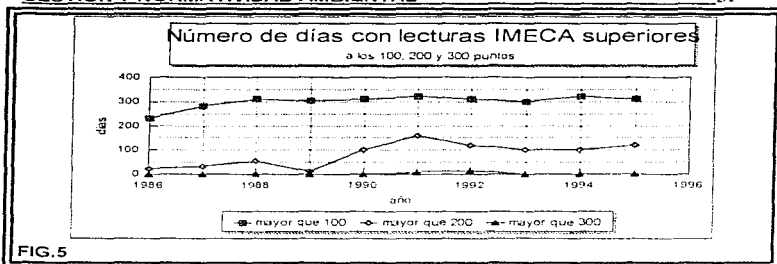
2.2. ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

La ZMCM está situada a 2240 metros sobre el nivel del mar, y cubre un área de 2500 km². Su población en 1990 fue mayor a 15 millones de personas, contando con una densidad de población que varía desde casi siete mil personas por kilómetro cuadrado en la zona centro hasta 500 personas por kilómetro cuadrado en zonas circundantes. De esta población 55% reside en el Distrito Federal y 45% en los municipios del Estado de México.

La temperatura en la Ciudad de México es en promedio de 15°C (12°C en enero, 17°C en mayo). La precipitación durante el verano (de junio a septiembre) es de 725 mm por año. La ventilación es pobre dadas sus características geográficas ya que está rodeada por montañas, lo cual no facilita la dispersión de los contaminantes.

La gran concentración demográfica así como el acelerado desarrollo industrial y la gran demanda de servicios que conlleva, colocan a la ZMCM entre las ciudades con mayor problemática ambiental del mundo, razón por la cual se ha puesto énfasis en el control de los problemas de contaminación que se presenta.

En la República Mexicana, esta zona es la que presenta los mayores problemas de contaminación atmosférica, por lo que es en ella donde se han desarrollado y puesto en práctica las medidas más importantes en materia de prevención y control de dicha contaminación. En la actualidad, gracias a la aplicación por parte de las autoridades ambientales, de las 41 medidas del Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA), la concentración de los contaminantes primarios que son reconocidos a nivel general como potencialmente peligrosos para la salud, se mantienen ya dentro de las normas de calidad del aire. Tal es el caso del CO, SO₂ y del Pb, mientras que el O₃, que es contaminante secundario, aún no ha sido controlado, mostrando frecuentemente valores por arriba de la norma, pero con índices máximos decrecientes, ya que el número de contingencias (medidas mayores a 250 IMECAS) entre 1988 y 1995 han sido las siguientes:



El sistema de monitoreo atmosférico de la ZMCM se compone de cinco elementos, siendo el principal la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), mientras que las estaciones piloto, las unidades móviles de monitoreo atmosférico, la red manual y la red meteorológica son los elementos que la contemplan o apoyan.

La red manual de monitoreo atmosférico que mide las concentraciones de PST, funciona realizando muestreos durante un periodo de 24 horas cada seis días, excepto en invierno, cuando se incrementa la frecuencia de muestreo a una vez cada tres días. Actualmente cuenta con 19 estaciones: cinco de éstas también miden la fracción respirable e identifican y cuantifican los metales presentes en las PST; cinco estaciones cuentan además con equipos muestreadores de gases específicos mediante el método de burbujeo.

La red meteorológica tiene como objetivo proporcionar información que ayuda a pronosticar los niveles de calidad del aire. Los datos en ella generados son determinados en la elaboración del pronóstico de la calidad del aire, cuyo fin es analizar la estabilidad o el desplazamiento de los contaminantes con una, 24 ó 48 horas de antelación. Consta de 10 estaciones con sensores de velocidad y dirección del viento, medidores de humedad relativa y temperatura, los cuales se interconectan teleméricamente al Sistema Central de Control, enviando la información en tiempo real. Se completa con una medición de vientos de altura (consiste en una torre meteorológica) y dos radares, lo cual permite obtener información de las condiciones de mezcla de la atmósfera. Además se

complementa con la información que proporciona el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Las unidades móviles de monitoreo están equipadas de manera similar a las estaciones de la RAMA pero tienen funciones y objetivos distintos, entre los que destacan la evaluación del nivel de desempeño de instrumentación de estaciones fijas, validación de información, y los estudios iniciales o determinantes para la ubicación de sitios de monitores. En el caso de las estaciones piloto, su objetivo primordial es el vigilar y validar el desempeño de la totalidad del sistema al funcionar en forma paralela pero independiente de la Red Automática de Monitores Atmosférico.

Para poder garantizar la calidad y validez de los datos obtenidos de la RAMA, se cuenta con un Programa de Aseguramiento de la Calidad, cuyo propósito es el de verificar que la información sea precisa, para proporcionar al sistema mayor confiabilidad. Este programa consiste en auditorías de ejecución y auditorías al sistema que se aplican a diferentes etapas de la metodología de evaluación de contaminantes. El INE es el encargado de realizar estas auditorías a los sistemas, y a su vez, es auditado por agencias extranjeras, principalmente por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

2.2.1. CALIDAD DEL AIRE EN LA ZMCM.

La calidad del aire es un elemento esencial para la salud y bienestar humano y de los ecosistemas. Diversos fenómenos naturales, tales como el vulcanismo y los incendios forestales o la erosión ocasionada por el viento, alteran dicha calidad al introducir un variado número de contaminantes. Pero la dimensión de esta contribución a la contaminación severa del aire que caracteriza, sobre todo, a las áreas urbanas altamente industrializadas y con una gran densidad vehicular, es menor en general comparada con las contribuciones de las actividades humanas, ya sean domésticas, industriales, agrícolas o de otra índole.

Más aún, este tipo de contaminación ha mostrado no tener fronteras, en forma tal que los contaminantes generados en un país pueden tener impactos indeseables en los países vecinos, e incluso, contribuir al deterioro de la capa de ozono que protege la tierra de las radiaciones ultravioleta solar, o bien provocar el

denominado efecto de invernadero que está ocasionando el calentamiento del planeta. Esto último muestra las implicaciones internacionales del problema y explica el porqué se han suscrito convenios multinacionales tendientes a prevenir, reducir y controlar las emisiones que ocasionan tales fenómenos de carácter global. Es en virtud de lo expuesto, que dentro del marco de desarrollo sustentable, se considera clave:

- La ejecución de los programas destinados a cumplir con los compromisos internacionales destinados a limitar las emisiones contaminantes a cantidades y en plazos determinados
- El monitoreo y control de la contaminación fotoquímica
- La administración local de la calidad del aire, en particular en las áreas urbanas, con la contribución de la industria, el transporte, las autoridades locales y el público en general.

Con el fin de evaluar el logro de las metas fijadas y determinar el desempeño de la administración de la calidad del aire, se han establecido internacionalmente sistemas de información que permite contar con indicadores útiles para tales fines, entre ellos se encuentran:

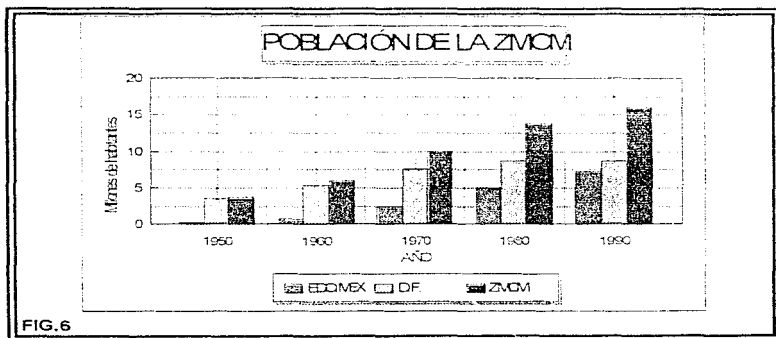
1. La estimación del volumen anual de emisiones de los principales contaminantes del aire, generados por fuentes móviles (vehículos automotores, principalmente) y fijas (centrales eléctricas, combustión industrial, procesos industriales, combustión no industrial y uso de solventes, entre otros).
2. Las tendencias de calidad del aire, en términos de concentración de dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), partículas suspendidas, ozono y plomo (Pb), a nivel nacional, en áreas urbanas y en estaciones localizadas en lugares en los que se pueda determinar las concentraciones "de fondo".
3. La intensidad de las precipitaciones ácidas.
4. Emisiones de plomo total de fuentes móviles (vehículos automotores y otros).
5. Emisiones de CO₂ total de fuentes móviles (7)

La contaminación del aire en la Ciudad de México ha aumentado con el crecimiento mismo de la ciudad, con el de su población, los empleados generados

en la industria y los movimientos y traslados de sus habitantes. El principal factor que explica la emisión de contaminantes en la Ciudad es el consumo de energía.

A continuación se muestran algunos datos que reflejan los incrementos antes señalados:

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México habita más de la quinta parte de la población nacional, se genera el 35% del PIB del País y se consume el 17% de la energía producida. La población registrada en el censo de 1990 para la ZMCM es de 14 millones 987 mil habitantes. El 55% viven en el Distrito Federal y el 45% en los municipios conurbados del Estado de México. Las proyecciones indican que la población continuará su crecimiento con una tasa anual de 1.4% llegando a más de 20 millones de habitantes para el año 2010. La población del Estado de México crecerá más rápido y con un nivel inicial de infraestructura y servicios menor a la del Distrito Federal. La extensión de la mancha urbana obliga a sus pobladores a transportarse grandes distancias para cumplir con sus actividades cotidianas. Se estima que diariamente se realizan 29.5 millones de viajes, los cuales se hacen en 2 millones 372 mil autos privados, 56 mil 50 taxis, 69 mil 500 combis y microbuses (8).

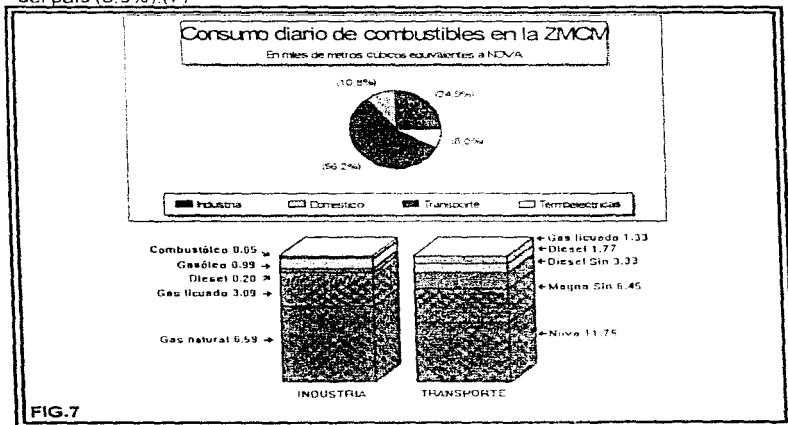


2.2.2. CONSUMO DE ENERGÍA.

Actualmente en la Ciudad de México aproximadamente se consume diario el equivalente a 43 8 millones de litros de combustibles derivados del petróleo, y su combustión es la causa de generación de contaminantes del aire, representando aproximadamente 85% de las emisiones totales. La contribución de los distintos tipos de combustible al total del consumo energético de la ZMCM.

Dicho consumo, continúa en aumento: las gasolinas en los últimos cuatro años presentan un incremento en el gasto promedio diario de 5 3% por año, al pasar de 15.7 millones de litros diarios en 1989 a 19.3 millones a fines de 1993.

De 1985 a 1988 las ventas anuales de autos nuevos en la ZMCM se incrementaron a un ritmo de 5.6% mientras que en el resto del país la tasa promedio anual para dicho periodo fue de 5.7%. Para el quinquenio comprendido entre 1989 y 1993 el crecimiento anual en la ZMCM (5.3%) fue menor al del resto del país (6.9%). (7)



2.3. INVENTARIO DE EMISIONES.

Los inventarios de emisiones son registros organizados y clasificados de las fuentes potencialmente emisoras de contaminantes al aire, ubicadas dentro de los límites de una cuenca atmosférica y que se emplean para establecer la cantidad y la tendencia de las emisiones, los estándares de emisión en las normas de calidad del aire y las prioridades en su control.

2.3.1. FUENTES FIJAS

Las emisiones estimadas por contaminante para las ciudades que cuentan a la fecha con sus inventarios de emisión para fuentes fijas, se presentan en el cuadro siguiente:

CIUDAD	NO. EMPRESAS ENCUESTADAS	EMISIONES TOTALES (TONELADAS POR AÑO)					TOTAL
		PST	SO ₂	CO	NO _x	HC	
TIJUANA	114	3053	11749	117552	6032	231	138617
CD. JUAREZ	135	4968	8751	17199	9160	1195	30029
D.F.	2131	49010	380377	12735	155064	19648	616835
LERMA-TOLUCA	67	13704	203170	2006	42779	1274	262932
Zona Conurbada D.F.	1582	206454	62358	44400	123839	38020	475070
CELAYA	38	3291	20285	261	5090	49	28977
IRAPUATO	23	281	979	21	262	468	1547
SALAMANCA	9	11391	117675	3565	21930	4073	158635
TULA-APANCO	8	15914	243484	5707	43713	17660	326485
GUADALAJARA	423	15045	10634	1624	3184	49	30536
MONTERREY	85	9724	22360	2164	8375	155	42779
PUEBLA	12	121	1755	42	468	5	2390
SN JUAN DEL RIO	10	382	5626	60	1218	11	296
S.L.P.	113	527	3364	799	888	45	5623
VILLAHERMOSA	110	6325	2897	1156	5949	104	16434
TLAXCALA	10	5	1060	29	300	4	1467
COATZACOALCOS	78	13553	6026	24731	33887	58453	84043

Por lo que respecta a las fuentes fijas de jurisdicción federal, los inventarios se obtienen del cumplimiento del artículo 21 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, el cual especifica: "Una vez otorgada la licencia de funcionamiento, el responsable de la fuente fija deberá remitir a la Secretaría, en el mes de febrero

de cada año y en el formato que ésta determine, una cédula de operación que contenga la información y documentación prevista en el Artículo 19 del Reglamento." En la información proporcionada se incluyen datos como el número de fuentes emisoras, el consumo de combustibles y el reporte de las emisiones, entre otras.

2.3.2. FUENTES MÓVILES.

La estimación de emisiones por fuentes móviles de algunas ciudades del país se presenta en el siguiente cuadro

EMISIONES ESTIMADAS PARA FUENTES MÓVILES PARA 1993								
CIUDAD	PARQUE VEHICULAR	EMISIONES ton/año						
		PST	SO ₂	NO _x	HC	CO	Pb	
TIJUANA	Gasolina	277540	712	850	718	19087	194138	30.79
	Diesel	1500	8	8	74	43	75	
CIUDAD JUÁREZ	Gasolina	176934	2076	1604	2074	55685	566287	106.17
	Diesel	1665	86	87	69	139	173	
MONTERREY	Gasolina	469989	1633	1262	16328	43787	448296	83.46
	Diesel	220140	22493	8789	17624	36376	48162	
SLP	Gasolina	178914	393	614	632	10544	107229	20.09
	Diesel	3728	147	19	85	173	215	
GUADALAJARA	Gasolina	422806	2416	1558	20487	54687	546734	103.06
	Diesel	132509	8309	3962	6648	13483	16743	
IRAPUATO	Gasolina	23344	106	78	1064	2694	27394	3.13
	Diesel	1554	66	228	488	990	1230	
CELAYA	Gasolina	29024	123	98	124	3282	33372	6.28
	Diesel	12481	787	286	628	1273	1780	
SALAMANCA	Gasolina	18708	66	83	688	1764	17936	3.48
	Diesel	8534	368	74	161	326	407	
TULA -- APAXCO	Gasolina	16829	64	71	644	2332	23748	4.82
	Diesel	4423	366	111	241	488	606	
COATZACOALCOS	Gasolina	34482	160	123	1498	4228	48832	8.14
	Diesel	29806	1860	881	1108	2426	3012	
TOTAL		2262101	42676	18137	101370	283771	2080632	37683

En las zonas urbanas del país que muestran un alto grado de desarrollo se llevan a cabo estudios de inventarios de emisiones originadas por fuentes móviles, los cuales constituyen la información básica para la instrumentación, entre otros, de programas estatales de verificación y control de emisiones vehiculares. Actualmente son 20 entidades federativas las que cuentan con programas de verificación de emisiones vehiculares (ya sea anual o semestral):

Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Puebla, Oaxaca, Querétaro, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz.

En las siguientes tablas se puede observar el inventario de emisiones por sectores, durante el año de 1994. En la primera de ellas se muestran las toneladas al año, mientras que en la segunda se muestra el porcentaje con el que contribuye cada sector en la emisión de PST, SO₂, CO, NO_x e HC.

INVENTARIO DE EMISIONES, 1994. (TON/AÑO)							
SECTOR	TONELADAS/AÑO						
	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC	CO ₂ M ³	%
INDUSTRIA (1)	6 358	26 051	8 696	11 52	33 099	105 724	3
SERVICIOS (2)	19 777	7 817	133	8 779	295 439	327 914	10
TRANSPORTE (3)	18 847	12 700	2 418 207	91 787	833 199	1026 645	75
VEGETACION Y SUELDOS (4)	4 753 337	0	0	0	38 099	162 746	12
TOTAL	171 614	48 468	2 428 141	128 646	1 028 771	1 699 629	100

REFERENCIAS:
 (1) Fuente Instituto Nacional de Estadística, Sistema Nacional de Información de Fuentes (SNIF) 1994.
 (2) Fuente Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Estadística, Subdirección de Estadísticas Ambientales, Contaminación 1994.
 (3) Fuente Departamento del Distrito Federal, Subdirección General de Ecología y Protección del Ambiente, Proyectos Ambientales 1994.
 (4) Fuente INEGI, Centro de Estudios de la Atmósfera y los Efectos de la Actividad y del Medio Ambiente, Estudios de Fuentes de México, 1994. Torpedos, Dirección de Estadística y Contaminación, Fuente Natural 1994.

FIG. 10, de bibli. 7

INVENTARIO DE EMISIONES, 1994. (TON/AÑO)						
SECTOR	%					
	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC	
INDUSTRIA (1)	3.7	5.4	0.1	0.01	3.3	5.2
SERVICIOS (2)	11.5	1.6	0.005	0.007	28.7	18.9
TRANSPORTE (3)	10.4	26.2	100	71.9	81.2	54.1
VEGETACION Y SUELDOS (4)	27.4	0	0	0	0.003	3.8
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

REFERENCIAS:
 (1) Fuente Instituto Nacional de Estadística, Sistema Nacional de Información de Fuentes (SNIF) 1994.
 (2) Fuente Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Estadística, Subdirección de Estadísticas Ambientales, Contaminación 1994.
 (3) Fuente Departamento del Distrito Federal, Subdirección General de Ecología y Protección del Ambiente, Proyectos Ambientales 1994.
 (4) Fuente INEGI, Centro de Estudios de la Atmósfera y los Efectos de la Actividad y del Medio Ambiente, Estudios de Fuentes de México, 1994. Torpedos, Dirección de Estadística y Contaminación, Fuente Natural 1994.

FIG. 11, de bibli. 7

2.4. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.

En las siguientes gráficas se aprecian las distintas concentraciones de Plomo (Pb), Bióxido de azufre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Partículas Suspensas, Bióxido de Nitrógeno (NO₂) y Ozono (O₃) durante los últimos cinco años.

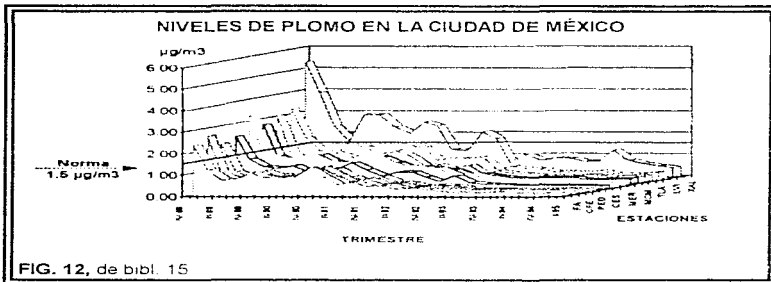


FIG. 12, de bibl. 15

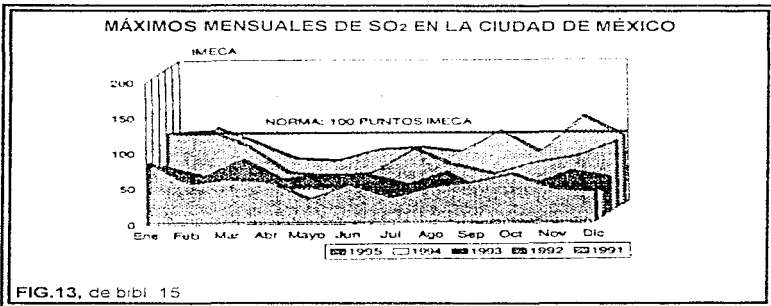


FIG.13, de bibl. 15

MÁXIMOS MENSUALES DE CO EN LA CIUDAD DE MÉXICO

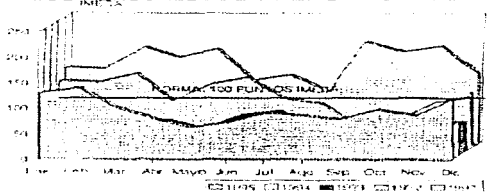


FIG.14, de bibl. 15

PM-10 EN LA ZMCM (1988-1995), POR ZONAS

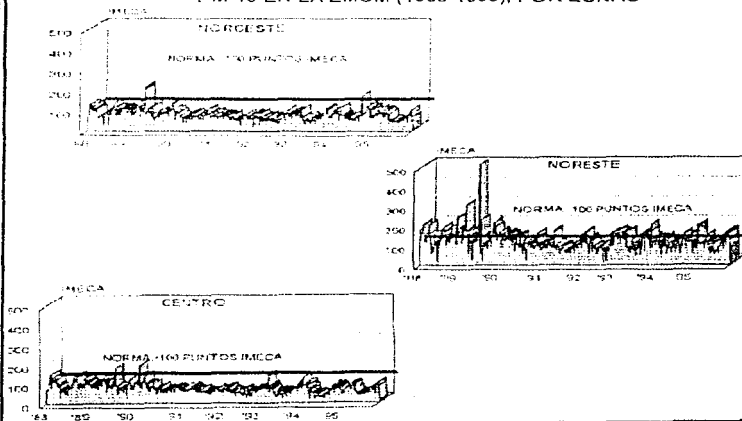
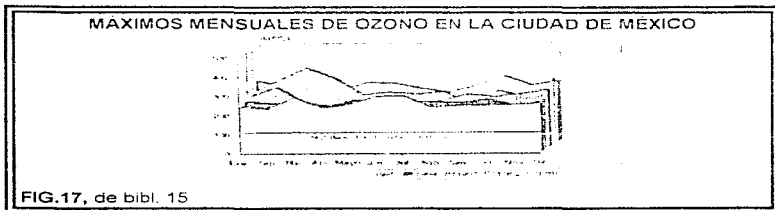
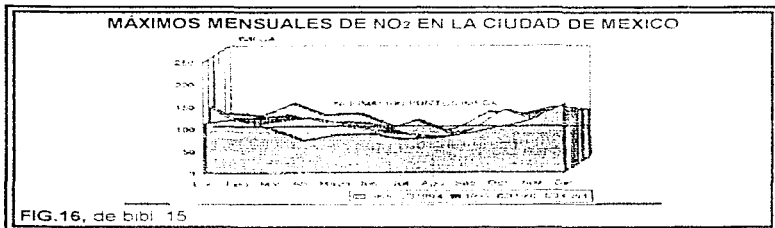
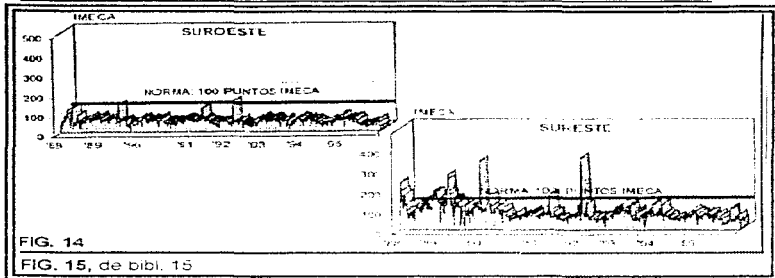


FIG.15 continua...



2.4.1. SITUACIÓN NACIONAL.

El gran desarrollo industrial en las zonas urbanas en los últimos 40 años y la falta de impulso al campo han provocado migraciones masivas a las grandes metrópolis, acarreado como consecuencia la ocupación desordenada del suelo y una gran demanda de servicios, como agua, transporte y energía, lo que a su vez genera múltiples desequilibrios de carácter económico, urbano, energético, social y ambiental. Por ejemplo, el crecimiento de la mancha urbana demanda el uso desproporcionado del transporte y a la vez dificulta su empleo eficiente, ambos factores se combinan para aumentar las emisiones contaminantes a la atmósfera.

A nivel nacional, el desequilibrio en la distribución de actividades productivas de los sectores secundario (industria) y terciario (comercio y servicios) ha provocado la generación de fenómenos críticos de contaminación atmosférica, tales como los que se observan en las zonas metropolitanas de las ciudades de México, donde se concentra alrededor del 25% de la industria instalada en el país y 19% de la población nacional; Guadalajara que cuenta con cerca de 5% del total de la industria nacional y alberga el 2.5% de los habitantes del país, y Monterrey, que participa con 4% de la industria nacional y 1.5% de la población.

Para hacer frente a la problemática de la calidad del aire, actualmente se refuerzan, amplían y aplican acciones globales en sectores relevantes promovidas por las autoridades encargadas de la prevención, control y vigilancia de los agentes productores del deterioro ambiental; todo ello dentro de un marco de gestión que toma en consideración acciones sobre emisiones específicas (fuentes emisoras) en sectores determinados con base en prioridades y teniendo como objetivo primordial el proteger la salud de la población en dichas metrópolis.

2.4.2. CALIDAD DEL AIRE EN LAS PRINCIPALES CIUDADES DE LA REPÚBLICA MEXICANA.

Para evaluar el grado de contaminación atmosférica, se han determinado escalas definidas a partir de los estándares internacionales establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), y de estudios toxicológicos, epidemiológicos y de experimentos controlados que se han realizado principalmente en el extranjero

Para facilitar la comprensión de los informes de la calidad del aire al público en general, las concentraciones que se miden de los distintos contaminantes atmosféricos se expresan a través del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), de modo que las concentraciones se traducen a una escala que va de 0 a 500 puntos.

En las siguientes figuras y cuadros se puede observar dicha escala y los efectos en la salud al variar las concentraciones de los distintos contaminantes atmosféricos.

EQUIVALENCIA DEL IMECA A LAS CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES			
CONTAMINANTE	IMECA 0	IMECA 100	IMECA 500
Monóxido de carbono (CO) ppm	0	0.25	50
Bióxido de nitrógeno (NO ₂) ppm	0	0.24	2
Bióxido de azufre (SO ₂) ppm	0	0.14	1
Partículas suspendidas totales (PST) µg/m ³	0	275	1000
Ozono (O ₃) ppm	0	0.25	0.60

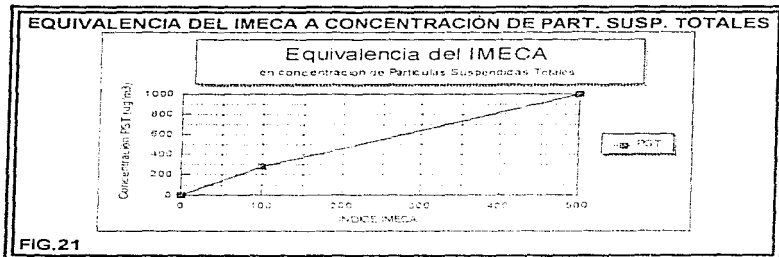
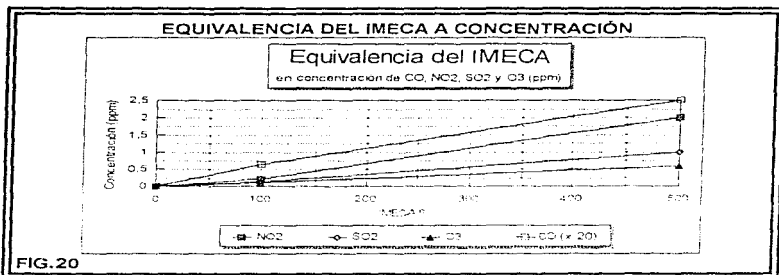
ppm - partes por millón.
Fuente: Comisión Metropolitana de Control Ambiental y Control de los Contaminantes Atmosféricos en el Valle de México, DDF, 1994.

FIG. 18

ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE		
IMECA	CALIDAD DEL AIRE	INDICACIONES Y EFECTOS
0 - 100	Satisfactoria	Situaciones favorables para la realización de toda tipo de actividades físicas.
101 - 200	No satisfactoria	Molestias menores en personas sensibles.
201 - 300	Mal	Aumento de molestias e intolerancia relativa al ejercicio en personas con padecimientos respiratorios.
301 - 500	Muy mala	Aparición de diversos síntomas e intolerancia al ejercicio en la población sana.

Fuente: Sistema Nacional de Monitoreo Atmosférico, Instituto Nacional de Ecología - Setecol, 1994.

FIG. 19



2.5. GESTIÓN AMBIENTAL.

Conforme al acuerdo que regula la organización y funcionamiento interno de la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), la instancia encargada de desarrollar y proponer criterios, especificaciones técnicas y bases de diseño y operación de los sistemas de monitoreo atmosférico que se instalen en las entidades federativas, es el Instituto Nacional de Ecología (INE) a través de su Dirección General de Normatividad Ambiental. El INE dirige, además, los estudios tendientes a determinar la calidad del ambiente, en coordinación con las

dependencias y entidades de la Administración Pública Federal y los gobiernos de los estados y municipios.

En función de las transformaciones que tuvieron tanto las Normas Técnicas Ecológicas (NTE) como las Normas Técnicas Sanitarias (NTS) con base en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización del uno de julio de 1992, actualmente se cuenta con 18 Normas Oficiales Mexicanas Ecológicas (NOM-ECOL), que sumadas a las correspondientes a contaminación atmosférica y ruido (antes NOM-AA; ahora NMX) totalizarían 51 normas relacionadas con la contaminación atmosférica. Estas Normas Oficiales Mexicanas, se dividen en tres secciones.

- * NOM de Monitoreo
- * NOM de Fuentes Fijas
- * NOM de Fuentes Móviles

Para evaluar el efecto que los ordenamientos legales tienen en la administración de la calidad del aire, así como para registrar las tendencias de los contaminantes atmosféricos y, con base en esto, poder proponer, aplicar y orientar las acciones y estrategias de control, se estableció el Sistema Nacional de Información de la Calidad Ambiental (SNICA), el cual concentra la información de los inventarios de emisiones tanto de fuentes móviles como fijas, y del Sistema Nacional de Monitoreo Atmosférico.

El SNMA es un conjunto heterogéneo de componentes: métodos y equipos que pueden ser clasificados en manuales y automáticos. Dado el desequilibrio en el desarrollo urbano-industrial, las actividades en el monitoreo atmosférico han evolucionado de igual manera, aplicándose la mayoría de los recursos tanto económicos como tecnológicos en zonas urbanas con mayores problemas. De acuerdo a su cobertura las redes de monitoreo, ya sean manuales o automáticas, se clasifican como locales, estatales o regionales.

Actualmente 55 ciudades del país cuentan con equipo de monitoreo atmosférico manual y algunas de ellas con equipos automáticos, de los cuales la mayor parte están en proceso de instalación, prueba o actualización. Estos últimos han sido adquiridos principalmente con recursos del Programa Regional De Administración de la Calidad del Aire en zonas Críticas y del Programa

Integral Ambiental Fronterizo (PIAF). Se encuentra en proceso la transferencia de los sistemas de monitoreo a los gobiernos de los estados, los cuales serán responsables de su operación, con el apoyo y supervisión del INE. En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, al crearse la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la contaminación Ambiental en el Valle de México, cuya competencia incluye las 16 delegaciones que conforman al Distrito Federal y los 17 municipios conurbados del Estado de México, el INE transfirió a ella la red respectiva de monitoreo del aire (7).

2.5.1. ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE.

Un índice de calidad del aire se puede definir como una función de transformación de los datos de niveles de concentración de contaminantes a un valor simple, representativo de la calidad del aire en una región determinada.

El IMECA (Índice Metropolitano de la Calidad del Aire) posee valores numéricos que permiten relacionar el grado de contaminación atmosférica con los posibles efectos en la salud, en una forma accesible a la población. Ver figuras 18 a 21.

El IMECA fue establecido por la extinta Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente y fue elaborado por la Asesoría del Dr. Wayne Ott, distinguido científico de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. En un inicio el índice fue nombrado IMEXCA (Índice Mexicano de la Calidad del Aire) y posteriormente, a partir de 1986, se particularizó para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, tomando el nombre de IMECA.

La base científica del IMECA se remonta a los trabajos de Ott y Thom, quienes en 1972 desarrollaron un índice urbano estandarizado de calidad de aire (SUAQI) que posteriormente recibió el nombre de Índice Estandarizado de Contaminación (PSI), el cual fue adoptado en los Estados Unidos como índice nacional uniforme de calidad del aire, a partir de 1979.

La metodología de cálculo de este índice fue generalizada por sus autores en 1976, bajo el nombre de UNIPLEX, siendo adoptado con características nacionales particulares por Canadá (API) y por México (IMECA).

Fundamentalmente, el IMECA tiene la función de mantener informada a la población sobre la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, así como observar el comportamiento de los distintos contaminantes y comparar la calidad del aire entre zonas que utilicen índices similares.

El IMECA consta de dos algoritmos de cálculo fundamentales; el primero, para la obtención de los subíndices correspondientes a diferentes indicadores de la calidad del aire, y el segundo, para la combinación de éstos en un índice global.

El primero involucra la utilización de funciones segmentadas basadas en dos puntos de quiebre principales, los cuales se obtuvieron a partir de los criterios mexicanos de calidad del aire y de niveles para los cuales existen evidencias de que ocurren daños significativos a la salud. Al primero se le asignó arbitrariamente el valor de 100, y al segundo el de 500; entre estos dos puntos se definieron tres más, los cuales tienen por objeto clasificar el intervalo en diferentes términos descriptivos de la calidad del aire.

El valor de 100 representa la calidad del aire considerada como adecuada para la protección de la salud de la población y corresponde a los valores de los Criterios de Calidad del Aire; el de 500, a una situación en la cual la ciudadanía puede verse afectada. Estos niveles de contaminación están asociados a las fases I y II del Plan de Contingencias Ambientales, para los cuales existen medidas específicas para cada caso (10).

2.5.2. MÉTODOS MANUALES DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.

Para el diseño de redes manuales se aplican criterios internacionales como los de la OMS, de la Organización Mundial de Meteorología (OMM) y del Programa Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), tanto para el número y ubicación de las estaciones como para los procedimientos de medición de los contaminantes. En cuanto a la frecuencia de monitoreo, el mínimo es un muestreo de 24 horas cada seis días, y el interés primordial de estas redes es determinar la concentración de Partículas Suspendidas Totales (PST); en el siguiente cuadro se mencionan algunos de los métodos manuales de monitoreo de contaminantes atmosféricos empleados en México.

MÉTODOS DE MONITOREO MANUAL DE CONTAMINANTES		
CONTAMINANTE	MÉTODO DE MUESTREO	MÉTODO DE ANÁLISIS
Partículas Suspensas Totales	Muestreador de alto volumen	Gravimetría
Partículas Suspensas fracción respirable	Muestreador PM-10 Muestreador de Alto Volumen con Dispositivo de Separación	Gravimetría
Sulfatos	Muestreador de alto volumen	Digestión/ Colorimetría
Nitratos	Muestreador de alto volumen	Digestión/ Colorimetría
Metales: Plomo, Cadmio, Cobre, Cinc y Niquel	Muestreador de alto volumen	Espectrofotometría de Absorción Atómica

Fuente: Sistema Nacional de Monitoreo atmosférico. Instituto Nacional de Ecología. Sedesol, 1994

FIG.22

Los criterios de daño del aire, publicados por la entonces Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA) el 29 de noviembre de 1982, están incluidos en el siguiente cuadro. También se incluyen los valores propuestos en los proyectos de normas de calidad del aire expedidos por la Secretaría de Salud (SSA) en coordinación con la Sedesol, y publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF) del 13 de enero de 1994, como se puede apreciar, no sólo se revisan y, en algunos casos, se hacen más estrictos los valores de los criterios, sino que se enriquece la normatividad al añadir promedios anuales de algunos contaminantes.

NORMATIVIDAD DE LA CALIDAD DEL AIRE		
CONTAMINANTE	CRITERIOS 1982 (1)	PROYECTOS DE NORMA 1994 (2)
Monóxido de carbono (CO)	13 ppm en 8 horas	11 ppm en 8 horas
Dióxido de azufre (SO ₂)	0.13 ppm en 24 horas	0.13 ppm en 24 horas 0.03 ppm en 1 año
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.21 ppm en 1 hora	0.21 ppm en 1 hora
Ozono (O ₃)	0.11 ppm en 1 hora	0.11 ppm en 1 hora
Partículas menores a 10 micrómetros (PM-10)	150 µg/m ³ en 24 horas *	150 µg/m ³ en 24 horas 50 µg/m ³ en 1 año
Partículas Suspensas Totales (PST)	275 µg/m ³ en 24 horas	260 µg/m ³ en 24 horas 75 µg/m ³ en 1 año
Plomo (Pb)	1.5 µg/m ³ (promedio de 3 meses)*	1.50 µg/m ³ (promedio de 3 meses)

* Criterios Nacionales
Fuente: Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1982 y del 18 de enero de 1994

FIG.23

2.5.3. MÉTODOS CONTINUOS DE MONITOREO ATMOSFÉRICOS.

PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LOS MÉTODOS CONTINUOS DE MONITOREO	
CONTAMINANTE	PRINCIPIO DE OPERACION
Ozono (O ₃)	Fotometría en el rango de ultravioleta
Oxidos de nitrógeno (NO, NO ₂ , NO _x)	Quimiluminiscencia
Bióxido de azufre (SO ₂)	Fluorescencia conductancia electrolytica
Monóxido de carbono (CO)	Espectrometría no dispersiva por correlación
hidrocarburos totales (HC)	Ionización de flama
Partículas suspendidas fracción respirable (PM-10)	Atenuación de radiación beta

Fuente: Sistema Nacional de Monitoreo Atmosférico, Instituto Nacional de Ecología, Sedesol, 1994

FIG. 24

Los equipos de medición utilizados en los sistemas continuos de monitoreo atmosférico, son analizadores de gases específicos, tales como el ozono (O₃), los óxidos de nitrógeno (NO_x), incluidos el monóxido y el bióxido de nitrógeno, el bióxido de azufre (SO₂), el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos totales excepto el metano y las partículas suspendidas en fracción respirable (PM-10). Se utilizan seis principios de operación en los mismos, como podemos observar en el cuadro anterior.

Actualmente en el país opera equipo automático de monitoreo en nueve entidades federativas: Cananea-Nacoazari, Sonora; Ciudad Juárez, Chihuahua; Guadalajara, Jalisco; Manzanillo, Colima; Monterrey, Nuevo León; San Luis Potosí; Tijuana, Baja California; Toluca, Estado de México; y la ZMCM consideradas como regionales.

2.6. CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN.

2.6.1. PRECIPITACIÓN ÁCIDA.

La precipitación ácida conocida también como lluvia ácida, es un fenómeno que ha surgido alrededor de los centros urbanos e industriales, sin que ello signifique que sus efectos se circunscriban únicamente a estas áreas, sino que se dejan sentir también a cientos de kilómetros del lugar de origen de sus precursores. Dicho fenómeno es el producto de la incorporación de compuestos químicos a la atmósfera, que en contacto con la humedad existente en ella forman ácidos. El origen de dichos compuestos puede ser antropogénico, como las

emisiones vehiculares e industriales; naturales, producto de diversos procesos geológicos como erupciones volcánicas, incendios forestales y tormentas eléctricas; biológicos como la fermentación aeróbica y anaeróbica.

El agua de lluvia se considera ácida cuando su Potencial Hidrógeno (pH), es inferior a 5.6, aunque en estudios recientes los investigadores han considerado las precipitaciones ácidas cuando su pH es menor de 5.0 ya que factores naturales como las emisiones de ácidos orgánicos, compuestos de azufre y nitrógeno emitidos por fuentes naturales, traen como consecuencia que el pH de la lluvia no contaminada esté más cerca de 5.0 que de 5.6. La ligera acidez que presenta el agua de lluvia en condiciones normales es causada por la formación de ácido carbónico, cuando la humedad atmosférica alcanza un equilibrio con el dióxido de carbono (CO₂) presente en el aire.

En la actualidad las precipitaciones ácidas adquieren gran importancia, pues sus efectos pueden ser irreversibles y acabar con lagos, ríos, bosques (sin excluir reservas naturales, áreas protegidas o parques nacionales), zonas arqueológicas, monumentos históricos, edificios estructuras metálicas, así como los ecosistemas asociados a ellos, entre otros.

Un caso representativo donde la acidez del agua de lluvia se ve afectada por la presencia de contaminantes es la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en donde existe una gran cantidad de industrias y vehículos, por lo cual las concentraciones de los contaminantes precursores de la precipitación ácida son muy altas. Por tal motivo, en 1987 la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (ahora Sedesol) inició el "Programa de Precipitación Ácida de la Ciudad de México" seleccionando para ello los sitios de muestreo en función de las estaciones de monitoreo atmosférico, cuya ubicación y distribución, en el año de 1987, consideró criterios de localización de sitios idóneos en cuanto a sus características meteorológicas y topográficas, se seleccionaron las estaciones Felipe Ángeles, Museo, Lomas y La Villa.

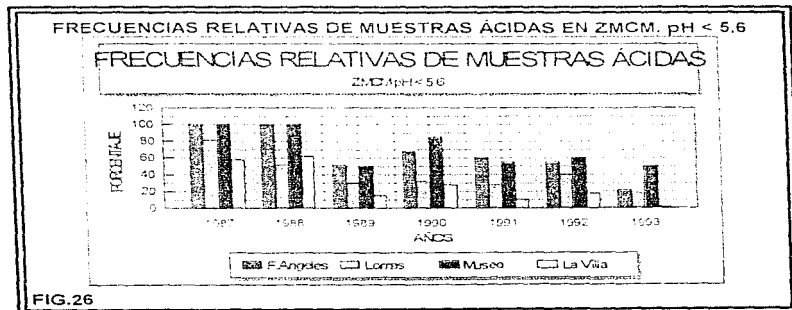
Para 1993 el programa atravesó por una nueva etapa operativa al transferirse a la Dirección de Ecología del Departamento del Distrito Federal (DDF), donde se da continuidad a los objetivos iniciales con el apoyo del Instituto Nacional de Ecología.

Hasta el año de 1992, el INE coordinó y realizó los estudios correspondientes a la evaluación de las lluvias ácidas a través del programa antes mencionado y que a lo largo de seis años de estudio el programa ha permitido establecer la presencia del fenómeno de lluvia ácida en la ZMCM, así como los promedios de acidez y la frecuencia con la que se presenta (frecuencias relativas de las muestras de lluvia que presentaron pH menor a 5.6 en el periodo 1987 a 1992). Las estaciones ubicadas en la zona suroeste de la ciudad, registraron la mayor frecuencia de valores ácidos y el promedio de mayor acidez (7)

PROMEDIOS DE ACIDEZ OBSERVADOS EN LA ZMCM, 1987-1993	
AÑO	INTERVALOS PROMEDIO DE pH
1987	3.6 -- 3.9
1988	3.7 -- 4.1
1989	3.4 -- 3.7
1990	3.3 -- 3.8
1991	3.4 -- 3.7
1992	3.3 -- 3.6
1993	3.4 -- 3.9

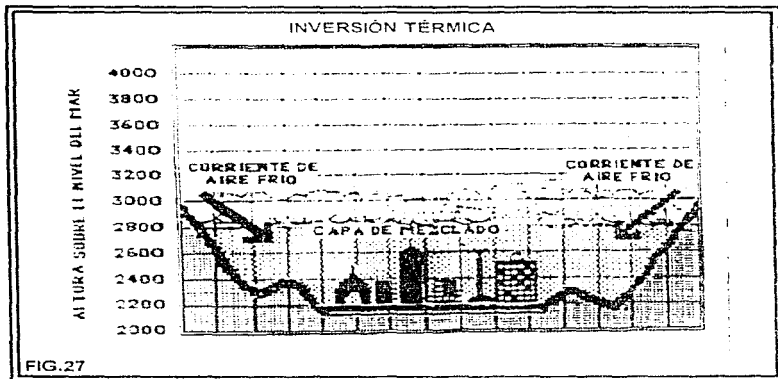
Fuente: Dirección General de Normatividad Ambiental, Instituto Nacional de Ecología, Senesal, 1994, Dirección de Ecología, DDF, 1994.

FIG.25

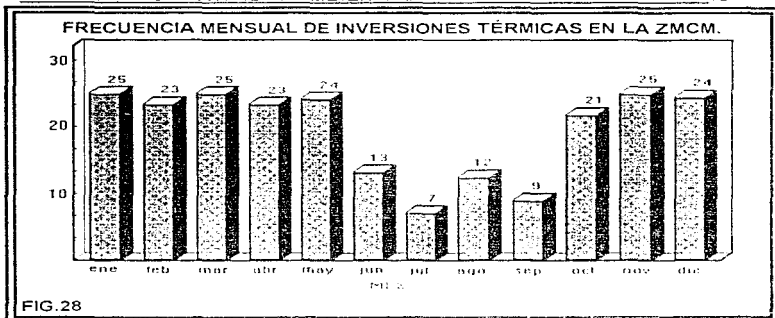


2.6.2. INVERSIÓN TÉRMICA

Como fenómeno meteorológico, las inversiones térmicas en el valle de México tienen una especial relevancia en la concentración de contaminantes en el aire. Estas ocurren durante las primeras horas del día, en donde una masa de aire frío superficial queda atrapada por una masa de aire caliente en las alturas, acumulándose los contaminantes emitidos en la noche anterior y los arrojados por las actividades matutinas de la población e industrias de la ciudad.



Las inversiones térmicas se presentan en todos los meses del año. Sin embargo, su frecuencia de ocurrencia y duración es mayor en los meses invernales. Las inversiones térmicas más severas registradas en los últimos años, mostraron una duración de 7 horas a partir de las cinco de la mañana, con un espesor máximo de mezcla del orden de 550 metros de altura en los días más agudos.



Además y en particular durante la temporada invernal, frecuentemente coinciden otros fenómenos meteorológicos tales como los sistemas de alta presión. Estos limitan aún más la escasa dispersión de los contaminantes y están relacionados con la presencia de aire polar sobre el territorio nacional.

En el invierno, las inversiones térmicas se rompen normalmente alrededor de las 10 de la mañana por acción del sol, el cual calienta el aire superficial de la ciudad, provocando su movimiento ascendente y permitiendo la dispersión de los contaminantes (8).

2.6.3. PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN GLOBAL.

De entre los problemas ambientales que amenazan al planeta, el calentamiento global y la destrucción de la capa de ozono ocupan el primer lugar en atención. Cambios climáticos marcados y aumento de la radiación UV con perjuicios sobre la salud de la población mundial son los riesgos inherentes a estos fenómenos, los cuales preocupan a la comunidad científica y han sido puntos relevantes durante diversas convenciones mundiales.

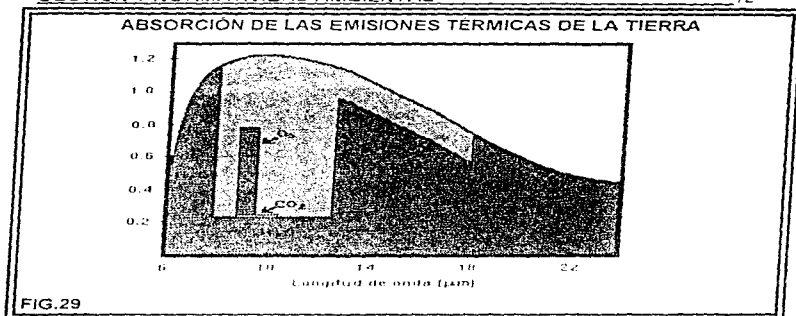
Todos los procesos de combustión, incluida la respiración de los seres vivos, dan como resultado distintos gases; cuando se tiene una máxima

eficiencia, los gases generados son el bióxido de carbono (CO_2) y el vapor de agua (H_2O). Ya que sólo en la teoría puede haber un 100% de eficiencia, la combustión de materiales genera gases no completamente oxidados, como el monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno (NO_x). Estos gases son vertidos directamente a la atmósfera, que aunque finita, ha sido concebida siempre como un gran sumidero para los contaminantes que genera el hombre.

La producción de gases contaminantes es mucho mayor que la capacidad de la naturaleza para absorberlos dentro de sus ciclos, y por lo tanto muchos de ellos quedan almacenados en la atmósfera. Esta situación involucra dos consecuencias directas, la primera la permanencia en el aire que respiramos de gases que por sí mismos, son tóxicos para el hombre y muchos de los organismos vivos. La segunda que conlleva grandes riesgos a nivel mundial, es el aumento de la temperatura media de la atmósfera como consecuencia del efecto invernadero:

Efecto invernadero. La temperatura de la atmósfera terrestre depende del delicado balance entre la radiación solar de alta frecuencia que entra en la tierra y la radiación de baja frecuencia que nuestro planeta emite al espacio. Si la atmósfera fuera removida, la temperatura promedio de la superficie terrestre sería 35°C más baja que como lo conocemos, esto es, llegaría a -18°C . Esta sería la temperatura de equilibrio radioactivo del planeta. Sin embargo, la atmósfera es una cobija de calentamiento para la tierra debido a la acción de algunos gases como el CO_2 que forma menos del 2% del volumen total del aire, pero que han ido incrementándose debido a las emisiones de origen antropogénico.

El efecto invernadero puede explicarse de la siguiente manera: el sol irradia energía, principalmente en la región visible de 0.4 a 1.0 micras (μm), longitud de onda a la cual la atmósfera terrestre es "transparente" (deja entrar casi toda esa energía), sin embargo, la tierra rerrradia al espacio energía en la zona del infrarrojo, a la cual la atmósfera es muy absorbente. Por ejemplo, el vapor de agua en la atmósfera absorbe energía principalmente entre 5.0 - 8.5 μm , en tanto que el CO_2 ya existente en el aire absorbe entre 12.5 - 18.0 μm (una mayor adición de CO_2 no incrementa la absorbancia en ese intervalo). El intervalo de 8.5 - 12.5 μm es una "ventana" natural para el enfriamiento terrestre, y es precisamente en ese intervalo en el que la rerrradiación al espacio es máxima.



Sin embargo, esta ventana se reduce por la absorción del ozono (O_3) a $9.5 - 10 \mu m$ y la adicional del CO_2 (que emite el hombre por sus distintas actividades) en el intervalo de $9.5 - 10 \mu m$. En términos generales, el CO_2 es el responsable de la absorción del 12% de la energía rerradiada al espacio (debe señalarse que el fenómeno es exactamente a la inversa en la atmósfera alta, por arriba de los 20 km, esto es, en esa zona el CO_2 favorece el enfriamiento de la atmósfera).

Además de estos gases, otros como el óxido nítrico (N_2O), el metano (CH_4) y los clorofluorocarbonos (CFC's) tienen bandas de absorción muy altas, también en la zona de la "ventana" atmosférica, con lo que incrementan el efecto invernadero y, en consecuencia el calentamiento global y el cambio climático.

Dstrucción de la capa de ozono. Las principales sustancias que reaccionan con el O_3 estratosférico son los clorofluorocarbonados (CFC's) y los halones. Actualmente existen dos puntos en los que se ha deteriorado considerablemente la capa de ozono, dichos puntos son los polos de nuestro planeta, propiciándose en el polo sur el mayor desgaste.

En el sur de Argentina, un grupo de científicos comprobó en 1993 la ceguera total en 400 de 2000 ovejas, la cual podría deberse a la intensa radiación

ultravioleta provocada por el adelgazamiento de la capa de ozono. Según esos científicos, la radiación UV pudo haber aumentado hasta 30 veces por arriba del promedio normal al finalizar el invierno austral.

Estos estragos son extrapolables al género humano, junto con el aumento en la incidencia de cáncer de piel. Es de esperarse también una reducción en el rendimiento de diversos cultivos y la desertificación de regiones fértiles; aunado a lo anterior, existe la amenaza latente a la frágil vida de plancton y diversas especies marinas, lo que implicaría una perturbación de las cadenas y redes tróficas.(11)

2.7. ESTUDIOS REALIZADOS CON COOPERACIÓN INTERNACIONAL.

El problema de la contaminación del aire en México está dado principalmente por el consumo de combustibles fósiles, su calidad y tipo, así como factores meteorológicos y fisicoquímicos, por lo que es conveniente conocer tanto los procesos de combustión como las tecnologías para el control de emisiones; con este fin se han venido desarrollando nuevas tecnologías que permiten el ahorro y uso eficiente de la energía, además de fomentar el uso de energía renovable y la rehabilitación o modernización de los sistemas de producción y transmisión de la misma. Algunos de estos proyectos se llevan a cabo en cooperación con instituciones internacionales, por ejemplo se realizan estudios conjuntos para el control y abatimiento de la contaminación atmosférica con países como Alemania, Estados Unidos, Inglaterra y Japón (7)

2.8. PROGRAMAS CONTRA LA CONTAMINACIÓN

La calidad del aire representa un elemento de preocupación constante para la ciudadanía y autoridades de la Ciudad de México, ya que ésta es degradada por las actividades de transporte y procesos productivos que emplean combustibles fósiles o generan contaminantes durante la transformación y producción de bienes.

El gobierno federal y las autoridades locales han establecido diversos programas orientados al control de las fuentes contaminantes, pudiéndose mencionar:

a) El Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de carácter permanente cuyos beneficios son de mediano y largo plazo;

b) El Programa Invernal que contempla medidas adicionales que se aplican de noviembre a febrero, para contrarrestar los efectos del clima que agudizan la problemática atmosférica durante esta temporada;

c) El Programa de Contingencias Ambientales que permite instrumentar medidas emergentes en el caso de que las condiciones de dispersión sean adversas y se prevea un incremento de los niveles de contaminación.

El seguimiento de la aplicación y vigilancia de los Programas y su beneficio en la calidad del aire se efectúa por medio de los sistemas de monitoreo de la SEDUE, en particular por la Red Automática de Monitores Atmosférico (RAMA) la cual proporciona información horaria que es difundida entre los medios de comunicación masiva (12)

2.8.1. PROGRAMA INTEGRAL CONTRA LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

El Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México fue elaborado por el Secretariado Técnico Intergubernamental constituido con la participación de las Secretarías de Desarrollo Urbano y Ecología, de Hacienda y Crédito Público, de Programación y Presupuesto, de Comercio y Fomento Industrial, de Comunicaciones y Transportes, de Energía, Minas e Industria Paraestatal, de Agricultura y Recursos Hidráulicos, de Salud, el Departamento del Distrito Federal, el Gobierno del Estado de México y los Gobiernos Municipales de la zona conurbada, Petróleos Mexicanos la Comisión Federal de Electricidad y el Instituto Mexicano del Petróleo. Cada una de las dependencias participantes integró un equipo de trabajo y se incorporaron a ellos científicos nacionales y especialistas de los organismos del medio ambiente de Japón, Alemania, Inglaterra, Francia, Canadá y Estados Unidos de América.

En este programa, se atacan las distintas áreas de acción:

* La Industria Petrolera.

- * El Transporte
- * La Industria Privada y los Establecimientos de Servicios.
- * Las Termoeléctricas
- * Reforestación y Restauración ecológica
- * Investigación, Educación ecológica y Comunicación social.

El Programa Integral demandará un esfuerzo mayor, por parte del Gobierno y de la Sociedad, para hacer frente al problema. Se trata de un programa de mediano plazo: el programa para la década de los años noventa. Los proyectos que incluye estarán concluidos en un plazo de entre uno y cinco años (8)

2.8.2. PROGRAMA METROPOLITANO ANTE CONTINGENCIAS AMBIENTALES.

El nuevo Programa de Contingencias Ambientales está constituido por dos fases y dos etapas, a diferencia del programa anterior que constaba de tres fases. Las fases corresponden a dos conjuntos de acciones que se aplicarán dependiendo de la severidad de la contingencia. Las acciones de la primera fase se activarán cuando en cualquiera de las estaciones de monitoreo de la red primaria se alcancen los 250 puntos IMECA. Las acciones de la segunda fase se activarán cuando en cualquiera de las estaciones de monitoreo de la red primaria se alcancen los 350 puntos IMECA.

Las etapas corresponden a dos diferentes versiones del programa, cada una de las cuales tiene sus propias acciones específicas. La primera etapa corresponde a la versión del programa que se aplicará desde la publicación de este documento, el 5 de diciembre de 1995, hasta el final del primer semestre de 1996. La segunda etapa añade acciones más complejas pero de mayor costo-efectividad y se aplicará en la segunda mitad de 1996. Tanto la nueva estructura del programa propuesto como, sus acciones recogen la esencia de los siguientes puntos: Activación determinada por criterios de salud ambiental, Consistencia con el programa de largo plazo, Correspondencia con el inventario de emisiones, Activación automática y Claridad en su diseño y sencillez de aplicación. A continuación se presentan dos cuadros donde se describen las acciones consideradas para cada fase del programa, en sus dos etapas (13)

ESTR. MUN. DE BOBO
SECRETARÍA DE AMBIENTE Y SALUD PÚBLICA

GESTIÓN Y NORMATIVIDAD AMBIENTAL

CONTINGENCIAS AMBIENTALES. FASE 1. 250 PUNTOS IMECA.						
ETAPA 1 A PARTIR DE 1995	Reducción de precursores de ozono total/diaria		ETAPA 2 A PARTIR DEL SEGUNDO SEMESTRE DE 1996	Reducción de precursores de ozono total/diaria		
	Nox	HC		Nox	HC	
SECTOR TRANSPORTE						
1. Doble Hoy No Circula que se podrá aplicar tanto entre semana como en fin de semana	20	3	50	9	14	1
2. Agilización del tránsito vehicular en 815 cruces y puntos conflictivos	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
3. Suspensión de la circulación del 50% de 5452 vehículos de oficinas públicas, seleccionando en primer término los de modelo 1985 y anteriores por ser más contaminantes.	1	8	0	8	1	8
4. Solo reducen actividad industrial de establecimientos. Inmex del programa de eliminación de autos altamente contaminantes.	28	1	1	2	n/d	n/d
5. Suspensión de las labores de distribución que impliquen purgas, así como las de mantenimiento que impliquen desfogos en terminales de distribución de gas LP.	s/e	1	3	5	s/e	1
6. *Cierre selectivo del 20% de las gasolineras.	s/e	1	4	2	n/d	n/d
7. Suspensión de obras de bacheo, asfaltado, jardinería y otras que obstruyan el tránsito de vehículos.	s/e	6	1	9	s/e	6
SECTOR INDUSTRIA						
4. Solo reducen actividad industrial que no cumplan con la norma de contaminación y/o no hayan participado en eliminación de autos altamente contaminantes.	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
5. Suspensión de las labores de distribución que impliquen purgas, así como las de mantenimiento que impliquen desfogos en terminales de distribución de gas LP.	s/e	1	3	5	s/e	1
6. Cierre de gasolineras que no cuenten con sistemas de recuperación de vapores.	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
7. Suspensión de obras de bacheo, asfaltado, jardinería y otras que obstruyan el tránsito de vehículos.	s/e	6	1	9	s/e	6
ESCUELAS						
8a. A 200 puntos IMECA, suspensión por zona afectada de actividades al aire libre en escuelas primarias, secundarias, preescolar y guarderías.	s/e	s/e	s/e	s/e	s/e	s/e
8b. A 250 puntos IMECA, suspensión de actividades al aire libre en el total de las escuelas de la zona metropolitana.	s/e	s/e	s/e	s/e	s/e	s/e
9. Vigilancia epidemiológica durante el invierno.	s/e	s/e	s/e	s/e	s/e	s/e
10. Difusión y comunicación de las medidas de contingencia.	s/e	s/e	s/e	s/e	s/e	s/e
TOTAL	50	8	131	131	n/d	n/d

FIG.30 *Medidas susceptibles de ser aplicadas el mismo día de la contingencia
n/d No determinado s/e sin efecto directo

CONTINGENCIAS AMBIENTALES. FASE 2. 350 PUNTOS IMECA.**MEDIDAS ADICIONALES A LAS APLICADAS EN LA FASE 1.****ASUETO GENERAL.**

*Paro obligatorio de escuelas, oficinas públicas, bancos e instalaciones recreativas gubernamentales (museos, parques deportivos, etcétera)

*Exhortación de paro de actividades al sector comercial e industrial privado

*Reducción del 70% de la actividad de las industrias incluidas en el listado del programa, salvo las que tienen procesos continuos

FIG.31

Debido a los problemas de contaminación existentes dentro de la República Mexicana y en Particular en la ZMCM ha sido importante emitir un conjunto de normas que nos permitan hacer frente a esta situación

2.9. NORMATIVIDAD AMBIENTAL SOBRE EMISIONES CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA.

La presente información es de carácter oficial, la cual fue obtenida de las Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental emitidas por el Instituto Nacional de Ecología

El INE presentó trece Normas Oficiales Mexicanas que establecen los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes a la atmósfera, provenientes de diversas fuentes, tanto fijas como móviles, así como las características de algunos combustibles y de los equipos de medición de diversas emisiones. Estas normas fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación del día 22 de octubre de 1993

NORMAS OFICIALES MEXICANAS QUE ESTABLECEN LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA, PROVENIENTES DE DIVERSAS FUENTES, TANTO FIJAS COMO MÓVILES, ASÍ COMO LAS CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS COMBUSTIBLES Y DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN DE DIVERSAS EMISIONES:

NOM-CCAT-001-ECOL/1993

De las emisiones a la atmósfera de dióxido de azufre y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico, en las plantas productoras de ácido sulfúrico.

NOM-CCAT-002-ECOL/1993

De las emisiones de partículas sólidas, así como los requisitos de control de emisiones fugitivas, provenientes de fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento

NOM-CCAT-003-ECOL/1993

De la emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y oxígeno provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible

NOM-CCAT-004-ECOL/1993

De la emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos en planta, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos, con peso bruto vehicular de 400 a 3857 kilogramos.

NOM-CCAT-006-ECOL/1993

De la emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.

NOM-CCAT-007-ECOL/1993

De la emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales y opacidad de humo, provenientes del escape de motores nuevos, que usan diesel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores, con peso bruto vehicular mayor de 3857 kilogramos

NOM-CCAT-008-ECOL/1993

De la opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible.

NOM-CCAT-009-ECOL/1993

De la emisión a la atmósfera de dióxido de azufre (SO₂), neblinas de trióxido de azufre (SO₃) y ácido sulfúrico (H₂SO₄) provenientes de procesos de producción de ácido dodecibencensulfónico en fuentes fijas.

NOM-CCAT-010-ECOL/1993

Del equipo y el procedimiento de medición, para la verificación de los niveles de emisión de contaminantes provenientes de los vehículos automotores en circulación equipados con motores que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.

NOM-CCAT-012-ECOL/1993

De la emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono y humo, provenientes del escape de motocicletas en circulación.

NOM-CCAT-013-ECOL/1993

Del procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de gases contaminantes provenientes de motocicletas en circulación.

NOM-CCAT-014-ECOL/1993

De la emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y oxígeno provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos como combustible.

NOM-CCAT-015-ECOL/1993

Del nivel máximo permisible en peso de azufre, en el combustible líquido denominado gasoleo industrial que se consume por las fuentes fijas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. (14)

De las 13 normas emitidas, son necesarias para este trabajo de investigación seis de ellas las cuales son: La no 3, 4, 7, 8, 10 y 14. Ver apéndice 1.

III.- EL ETANOL COMO COMBUSTIBLE ALTERNO

3.1. LOS HIDROCARBUROS COMO ENERGÉTICOS EN MÉXICO.

Tal como se observó en los balances nacionales de energía, los hidrocarburos representan el 90.1% del total de la producción de fuentes primarias. Por otra parte, estos energéticos representan el 79.4% del consumo final de energía.

La importancia que tiene esta elevada participación tanto en la oferta como en la demanda de energía, es que además de que se trata de acervos no renovables que se están agotando para el ineficiente beneficio de una generación irresponsable, y que las fuentes no renovables continúan declinando en su participación, es que su transformación y uso resulta en la principal fuente de contaminación ambiental.

Las características físicas de los combustibles derivados de los hidrocarburos se presentan a continuación.

TABLA 1. COMBUSTIBLES ACTUALMENTE UTILIZADOS	
COMBUSTIBLES UTILIZADOS	USO
GAS NATURAL	INDUSTRIAL
GAS LICUADO	INDUSTRIAL, DOMÉSTICO
GASOLINA NOVA	AUTOMOTRIZ
GASOLINA EXTRA	AUTOMOTRIZ
COMBUSTOLEO	INDUSTRIAL
TURBOSINA	AVIACIÓN
KEROSINA	DOMÉSTICO, TRANSPORTE
DIÉSEL	DOMÉSTICO, TRANSPORTE
COMBUSTOLEO ESPECIAL	INDUSTRIAL

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTIBLES		
COMBUSTIBLE	NOVA PLUS	EXTRA
CONTENIDO DE TEP	0.5 ml TEP/GAL	0.1 ml TEP/GAL
OCTANO	81	92
PVR	9.5 Lb/pulg2	9.5 Lb/pulg2

TABLA 3.
PRODUCCIÓN NACIONAL DE COMBUSTIBLES (BARRILES DIARIOS)

AÑO	GAS LICUADO	GASOLINAS	COMBUS- TÓLEO	DIESEL	QUERO- SENO	GAS NATURAL
1940	71	10246	55366	11426	2937	456
1950	1471	31375	88696	14573	11658	658
1960	10642	73341	115126	35585	29284	3344
1970	36202	140228	130521	83296	39546	13316
1975	51700	185271	178732	151065	50049	12011
1980	119753	327910	308478	244241	68997	14540
1985	167072	366115	397953	245824	84836	30484
1986	183320	370570	405409	242524	61434	34166
1987	192620	379449	424491	232376	71644	34945

La producción de combustibles petrolíferos creció continuamente desde la nacionalización del petróleo hasta 1982, fecha en que el crecimiento se estanca, para volver a tomar impulso en la década de los noventa.

Se observa de manera particular que el queroseno, (petróleo diésel) decreció entre 1980 y 1986, al subir considerablemente los precios y quedar fuera del alcance de los grupos de menor ingreso, que eran los principales demandantes. La recuperación observada en fechas recientes se debe al crecimiento del queroseno de aviación (turbosina).

3.2. BALANCE ENERGÉTICO NACIONAL REGIONAL (ZMCM).

El punto de partida en el estudio de la contaminación atmosférica y de su posible solución radica en el gasto energético a nivel nacional y regional, esto dentro de varios factores causales como lo son:

- El consumo de energéticos fósiles y la quema de otros combustibles.
- El tipo y la calidad de los combustibles.

- La eficiencia de los procesos de combustión y el alcance del control de emisiones.

La ausencia generalizada de dispositivos de control de combustión y de emisiones, la magnitud y la estructura del consumo de energético en diferentes procesos metropolitanos es lo que explica claramente el problema de la contaminación.

Por tanto el consumo de energía y el balance energético sectorial en la ZMCM configuran elementos para el diagnóstico, previsión de tendencias y el diseño de estrategias para mejorar la calidad del aire.

3.2.1. OFERTA.

El análisis de los balances nacionales de energía muestran la enorme dependencia que se tiene en las fuentes no renovables, especialmente en los hidrocarburos como fuentes primarias de energía.

Las principales fuentes de energía son los hidrocarburos, esto es, el gas natural y el petróleo crudo proveniente de los pozos petroleros, que aportan más del 90% de la oferta energética nacional, la energía hidráulica, cuya participación es declinante, aporta en la actualidad poco más del 2%, cuando llegó a representar en los años de la década de 1960 más del 10% del balance nacional, la leña, también declinante en términos relativos y, que no obstante su carácter no comercial aporta el 3.8%, el carbón aporta el 1.7%; el bagazo de caña contribuye con el 1.2% y la geoenergía, que no obstante sólo aporta el 0.6%, su participación es creciente. De esta oferta son renovables la hidroelectricidad, geotérmica, bagazo de caña y la leña, y representan en conjunto únicamente el 8.2% de la oferta total. La evolución entre 1975 y 1987 de la estructura de la oferta nacional de energía se muestra en la tabla 2. En dicha tabla se observa que en el periodo 1975 a 1987, los hidrocarburos (petróleo crudo, gas natural asociado y no asociado y condensados del gas natural), aumentaron su participación en la producción de energía primaria del 80.1% en 1975 al 90.5% en 1987, mientras las fuentes renovables (hidroenergía, geoenergía, bagazo de caña y leña) redujeron su participación del 17.6 al 7.9% durante ese mismo lapso.

TABLA 4. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA 1975-1986 (PORCENTAJES)

AÑO	CARBÓN	PETRÓLEO CRUDO	GAS ASOC.	GAS NO ASOC.	CONDEN- SADO	HIDRO- ENERGIA	GEO- ENERGIA	BAGAZO DE CAÑA	LEÑA
1975	2.3	60.7	14.6	14.8	—	6.1	0.2	2.1	9.2
1976	1.8	63.8	14.6	12.6	—	6.4	0.2	1.8	8.5
1977	1.9	68.4	14.6	9.2	—	6.1	0.2	1.7	7.8
1978	1.7	60.4	16.7	8.4	—	4.2	0.2	1.6	6.6
1979	1.4	62.0	19.4	5.4	0.3	3.9	0.2	1.5	5.7
1980	1.1	66.3	18.1	5.9	—	2.9	0.2	1.1	4.4
1981	0.9	67.2	18.1	5.2	—	3.6	0.1	0.9	3.8
1982	1.0	68.5	19.1	4.1	0.4	2.8	0.2	0.8	3.1
1983	1.2	68.3	18.5	3.8	1.0	2.5	0.2	0.9	3.3
1984	1.3	69.7	15.9	3.2	2.1	2.9	0.2	1.0	3.4
1985	1.5	69.5	16.1	2.6	2.2	3.3	0.2	1.0	3.5
1986	1.7	68.9	10.4	2.7	2.1	2.7	0.4	1.2	3.9
1987	1.8	68.5	16.3	2.4	2.3	2.3	0.6	1.2	3.8

La evolución desde 1965 a 1987 de la oferta nacional de energía en unidades físicas (billones de kilocalorías) y por tipo de energético, se muestra en la tabla 3. En esta tabla se muestra el aceleramiento en la producción de petróleo a partir de 1976 y correlativamente la producción de gas asociado (el que sale mezclado con el petróleo de los pozos) y del condensado, que aumento mas proporcionalmente por la instalación de equipos de recuperación. El gas no asociado (de los pozos que no producen petróleo) declinó en ese periodo al ser substituido por el aumento observado en el gas asociado.

La energía hidroeléctrica crece entre 1965 y 1970 al ritmo de 11% casi duplicando su producción en ese lapso y virtualmente se estanca a partir de 1970 hasta la fecha con oscilaciones que tuvieron su máximo en 1985, pero que representa la pérdida en participación que se ha observado en las dos últimas décadas. La geotermia, que se inicia en 1973 crece al 31.7% anual en su primera década y se acelera entre 1983 y 1987 al 33.8% anual. No obstante este elevado ritmo de crecimiento, su participación todavía es modesta ya que solamente alcanza el 0.56% de la producción energética. En el periodo 1965-1987, el bagazo de caña crece el 3.3% anual, mientras que la leña lo hace al 1.2%, ambos inferiores al promedio de 7.5% anual correspondiente al total de la producción de la energía primaria, lo cual explica la baja en la participación de estas fuentes renovables.

TABLA 5. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA 1965-1987.
(BILLONES DE KILOCALORÍAS)

AÑO	CARBÓN	PETRÓLEO	CONDEN. SADO	GAZ NO ASOCIADO	GAS ASOCIADO	HIDRO- ENERGÍA	GEÓ- ENERGÍA	BAGAJO DE CAÑA	LEÑA	TOTAL
1965	6.206	178 839	0 03	112 200	23 587	28 410	-----	11 612	-----	418 911
1966	6 383	183 300	0 131	117 366	26 783	32 440	-----	12 300	-----	440 546
1967	7 314	201 294	0 134	122 857	35 541	34 551	-----	14 272	-----	477 217
1968	7 859	215 079	0 113	125 609	33 548	42 139	-----	14 481	62 210	500 527
1969	8 470	226 124	0 217	131 190	37 542	42 623	-----	14 556	63 830	524 554
1970	10 357	230 431	0 062	140 598	44 034	47 820	-----	13 740	64 810	559 852
1971	12 056	236 183	0 037	140 932	36 934	44 862	-----	14 198	66 970	552 172
1972	12 545	249 616	0 042	134 681	61 504	47 232	-----	13 009	68 650	574 561
1973	14 662	255 269	0 031	127 241	64 006	50 108	0 502	16 508	59 960	593 867
1974	17 700	317 353	0 031	124 425	86 113	50 802	1 417	16 708	71 120	687 455
1975	17 557	309 943	0 254	114 118	112 690	47 105	1 625	15 297	70 980	769 685
1976	14 929	439 913	0 038	103 440	120 256	52 440	1 727	15 438	72 200	818 131
1977	17 670	536 192	0 115	84 207	134 617	55 982	1 741	15 493	71 479	917 487
1978	18 135	561 568	1 370	52 385	183 458	46 466	1 731	17 511	72 322	1095 285
1979	18 372	767 441	3 613	69 964	249 714	51 341	2 933	19 389	72 760	1295 777
1980	18 171	1081 611	0 181	95 211	294 602	47 793	2 612	18 590	72 460	1631 691
1981	17 887	1289 727	0 336	101 553	347 437	69 720	2 749	17 015	73 060	1919 501
1982	21 508	1524 932	8 997	52 417	425 175	62 959	3 590	16 150	69 766	2227 494
1983	27 313	1476 180	22 369	82 432	401 259	55 401	3 590	18 150	69 766	2160 174
1984	29 758	1493 000	45 508	70 455	341 431	63 895	3 880	21 055	74 403	2143 366
1985	30 532	1456 611	46 519	55 038	336 870	69 837	4 393	20 335	75 690	2096 632
1986	33 068	1350 593	42 059	52 819	321 436	52 322	8 034	23 672	76 432	1960 737
1987	36 703	1420 896	43 274	45 585	332 747	47 378	11 501	23 762	77 321	2043 157

3.2.2. DEMANDA.

De la oferta disponible a nivel nacional, una parte sustancial de la producción se destina al mercado externo para contribuir al pago de una parte de los intereses de la deuda, constituida por el petróleo crudo y derivados de exportación, que representa el 39.4% de la producción nacional de energía.

El sector energético, por su parte, autoconsume el 18.6% de la energía primaria generada. El 42.1% restante, orientado al consumo de destino final se reparte entre los principales sectores demandantes, entre los que destacan la propia industria de los

EL ETANOL COMO COMBUSTIBLE ALTERNO

89

derivados del petróleo, esto es, la petroquímica básica y secundaria, las industrias metalúrgica, metal-mecánica, química, de alimentos, y particularmente los servicios de transporte, construcción y comercio.

Esta energía de destino final, se distribuye en las diferentes regiones del país de acuerdo a lo que se muestra en el cuadro siguiente:

TABLA 6. CONSUMO REGIONAL DE ENERGÍA EN MÉXICO DURANTE 1984.					
REGIÓN	ÁREA	ÁREA	CONSUMO DE ENERGÍA		BILLONES
	(KM ²)	(%)	BILLONES KCAL/DÍA	(%)	KCAL/KM ²
NOROESTE	414437	20.3	83952	11.9	2.02
NORTE	365735	18.0	24056	3.4	0.65
NORESTE	295955	7.0	152124	21.9	5.14
CENTRO-NTE	143477	7.0	17028	2.4	1.18
CENTRO-PAC	145456	7.1	67140	9.0	4.51
CENTRO-GOLFO	72915	3.5	64129	9.1	8.80
CENTRO	129683	6.2	133582	19.0	10.54
ZMCM	2398	0.1	121550	17.3	507.30
PACÍFICO-SUR	233045	11.4	19896	2.8	0.85
PENINSULAR	166184	8.1	19685	2.8	1.17
TOTAL	2039566	100.0	703533	100.0	3.45

El significado más relevante que se deriva de este cuadro, en cuanto a la concentración de la demanda de energía, es que el Área Metropolitana de la Ciudad de México, que ocupa poco más de la milésima parte del territorio nacional, consume cerca de 150 veces más que el consumo promedio por kilómetro cuadrado del país.

De manera particular, en lo que respecta a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se puede observar en el cuadro 5 cómo se reparten los sectores consumidores los distintos energéticos. En este cuadro se muestra que el transporte es el consumidor más importante de energía y representa casi la mitad de la demanda regional, le sigue la industria, que consume la cuarta parte de la energía de la región y, en tercer lugar, las termoeléctricas instaladas en la zona consumen el 13.9% de la energía de la región.

EL ETANOL COMO COMBUSTIBLE ALTERNO

90

En este mismo cuadro, también se muestra la participación de cada energético en la demanda de la zona, en la que destacan, la gasolina con más de la tercera parte, el gas natural que aporta una quinta parte, el diesel 13.9% y el combustóleo y la electricidad que representan poco más del 10% de los energéticos consumidos en la Zona Metropolitana.

	TRANSPORTE	INDUSTRIA	SERVICIOS	OTROS	TOTAL	
GASOLINA	35.7	-----	-----	-----	35.7	
DIESEL	8.3	-----	5.2	0.4	-----	13.9
COMBUSTÓLEO	-----	8.3	1.5	0.3	-----	10.2
GAS L.P.	-----	-----	-----	0.8	0.9	9.9
GAS NATURAL	-----	5.6	13.9	-----	0.5	20.0
ELECTRICIDAD	0.5	-----	4.7	1.6	3.3	10.3
TOTAL	44.5	13.9	25.3	3.1	12.8	100.0

3.2.3. RELACIONES ENTRE EL CONSUMO DE ENERGÍA Y LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.

El consumo regional de energía por unidad de área y el consumo energético sectorial de la ZMCM explican la naturaleza del problema de contaminación atmosférica. Por un lado, el volumen total de emisiones y el deterioro de la calidad del aire pueden ser en buena parte explicados por la gran concentración territorial del consumo de energía en la ZMCM -dado que el 90% del mismo consiste en la quema de hidrocarburos- que supera en casi 150 veces el promedio nacional.

Por otra parte el consumo energético sectorial tiene correlaciones significativas con el inventario de emisiones lo cual arroja luces claras sobre su estructura. En efecto, el consumo de gasolina en el sector transporte representa, simultáneamente, el mayor gasto relativo de energía y el más grande aportador de contaminantes con respecto al volumen total (CO, NOx, HC, Pb principalmente). Así mismo, las emisiones de SO₂, PST y también de NOx encuentran aquí su contraparte proporcional en aquellos sectores de actividad cuyo insumo energético es el combustóleo y que son: la industria, la generación de electricidad y los servicios.

Estas correlaciones establecen dos referentes cruciales para el análisis de la contaminación atmosférica, que se complementan considerando el consumo de energéticos como gas natural, gas L.P. y diesel en los diferentes sectores. Debe advertirse que aún siendo muy ilustrativo, este sencillo análisis encubre ciertas particularidades cualitativas como son la toxicidad relativa, grado de exposición de la población y efectos de la visibilidad de las diferentes emisiones; ello, por ejemplo, subestima el impacto de las emisiones de los vehículos a diesel.

3.3. CONSUMO DE GASOLINAS.

3.3.1. CONSUMO DE GASOLINAS PROMEDIO EN LA ZMCM PARA 1987.

15.900000 Lt/día

Fuente : PEMEX

De tan sólo apreciar los datos del consumo de gasolinas a nivel nacional en 1987 que fue de 55,062000 Lt/día y que para ese mismo año el consumo promedio para la ZMCM fue de 15,900000 Lt/día, se puede deducir la magnitud del problema de contaminación al quemar tal cantidad de combustible en un área reducida y que tal cantidad alcanza a la cuarta parte de la consumida a nivel nacional, lo cual también nos habla de un fuerte desequilibrio en el consumo de energéticos a nivel nacional.

3.3.2. CONSUMO NACIONAL DE GASOLINAS.

Con el propósito de mostrar la estructura del consumo por tipo de gasolinas se presenta el cuadro siguiente:

TABLA 8. CONSUMO NACIONAL DE GASOLINAS. (MILLONES DE LITROS).					
ANO	NOVA	EXTRA	GAS AVION	GASOL. INDUS.	TOTAL
1980	16554	1528	106	93	18281
1982	20226	520	101	96	20943
1984	17737	278	72	94	18181
1986	18701	451	65	92	19309
1987	19295	732	63	95	20185

3.3.3. COMPARACIÓN ENTRE EL CONSUMO DE GASOLINAS EN MÉXICO Y OTROS PAÍSES DURANTE 1985.

Para ilustrar el consumo de gasolinas de los automóviles mexicanos en relación a consumos observados en países de distintos contextos, a continuación se muestra el cuadro comparativo.

CONSUMO	MÉXICO	BRASIL	FRANCIA	INDIA
TOTAL(MILLONES DE LITROS)	18865.0	8136.0	24666.0	3127.0
POR AUTOMÓVIL(Lt)	3785.0	781.0	1180.0	1787.0
POR HABITANTE(Lt)	243.7	60.01	446.84	4.09

Se puede apreciar que México tienen un consumo de gasolina similar al observado en países desarrollados, pero resalta que el consumo por automóvil es de los más altos del mundo, casi cuatro veces el consumo de Francia y que refleja el desperdicio e ineficiencia de funcionamiento de vehículos y sistemas viales.

3.4. USO DE ADITIVOS OXIGENADOS. EL CASO DEL ETANOL.**3.4.1. CONSIDERACIONES PARA USAR ALCOHOL DE CAÑA, COMO ADITIVO OXIGENADO EN COMBUSTIBLES AUTOMOTRICES.**

Los problemas de contaminación atmosférica se encuentran estrechamente relacionados con los procesos de consumo de energéticos - su magnitud, tipo y calidad -, mismos que se asocian con la estructura y dinámica de actividades vitales como el desarrollo urbano, el transporte, la industria y los servicios.

El crecimiento desbordado de la Zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), tiene por consecuencia demandas concentradas de bienes y servicios, que dadas las peculiaridades geográficas de la región, ocasionan problemas especiales de contaminación de los cuerpos de agua, de los suelos, y de manera crítica, de la

atmósfera de la zona , afectando la salud de sus habitantes y la economía del país entero.

El problema de la contaminación en la ZMCM no obstante los niveles a los que se ha llegado, de los más altos del mundo, tienen solución con recursos propios, pero se requiere de una gran voluntad política y una amplia participación de la comunidad como un todo, primero para frenar sus tendencias y luego para reducirla al mínimo compatible con la protección del valor supremo la vida y su conservación en estado saludable.

La experiencia de diferentes naciones señala propiedades interesantes del etanol (alcohol etílico o alcohol de caña) como combustible o aditivo para motores de combustión interna sobre todo en lo que respecta a las emisiones de ciertos contaminantes. Debe destacarse también el carácter renovable del etanol así como una amplia secuela de efectos socioeconómicos favorables, sobre todo en áreas rurales.

El costo de eliminar la contaminación no está fuera de las posibilidades de la comunidad de la región, pero se enfrenta a la falta de interés y de voluntad política por parte de los responsables, para buscar soluciones modernas y viables según lo exigen los tiempos actuales, y a falta de conciencia e información de los ciudadanos, que no saben que hacer colectivamente ante esta situación de virtual emergencia, que cobra víctimas constantemente, pero como no se ha llegado a manifestar el daño en pérdida de vidas en la misma forma que los trágicos episodios ambientales de Londres en 1950, de Filadelfia en 1960, etc. se ha adormecido la conciencia colectiva, aparentemente en espera de un episodio trágico que la sacuda

El costo de la solución a la contaminación del medio ambiente del área metropolitana, si se administra con eficiencia y honestidad, es poco significativo en términos de sus efectos presupuestales y de economía familiar pero el precio que la población ya está pagando en término de vidas, horas hombre perdidas, reducción de productividad, y salud mermada, es absolutamente intolerable

Contrasta el deterioro ambiental al que se ha llegado, con el legado original con que la naturaleza dotó a la población de esta zona, ya que históricamente se puede

constatar que en la Cuenca de México se desarrolló en tiempos prehispánicos uno de los sistemas hidrológico-urbanos más sobresalientes que se hayan conocido. La situación de un ambiente de privilegio, se conservó en estado de excelencia hasta los años 40 de este siglo. A partir de esos años, México optó por el llamado "Desarrollo Estabilizador", que evolucionó como una industrialización centralizada geográficamente y orientada hacia la sustitución de importaciones. Esto dio como resultado una industrialización acelerada y desarticulada de toda planeación posible y en cercanía de sus mercados potenciales, creando serios conflictos de uso del suelo

Mientras en el campo, se impusieron nuevas tecnologías y modos de uso del suelo que exigieron a la tierra altos rendimientos en corto plazo. Ello agudizó las presiones sobre la estabilidad del medio ambiente y disolvió relaciones económicas y sociales de tipo comunitario y autosuficiente, creando desarraigo social y un desempleo crónico entre la población rural, lo que redobó en una corriente migratoria hacia la Ciudad de México.

La desestabilización ecológica generalizada del territorio nacional, la deforestación, la erosión de los suelos, desertificación, pérdida de ecosistemas y recursos naturales cumplen su función de arrojar campesinos a la ciudad utilizándolos como material de demolición en la construcción de una nueva sociedad urbana, aunado esto a la gran presión sobre el uso de suelo, agua y el deterioro de la calidad atmosférica de la Ciudad de México y de otras ciudades importantes de la República.

Este crecimiento desbordado de la ZMCM, ha llegado a niveles insostenibles en lo que respecta a la calidad del aire. Las múltiples emisiones de contaminantes por fuentes fijas y móviles ha creado una atmósfera cargada de elementos nocivos a la salud.

El alto grado de congestionamiento de las principales avenidas y calles de la ciudad obedece a la ausencia de orden y concierto en la operación del transporte urbano. Este desorden satura la costosa infraestructura, que en esta circunstancia resulta insuficiente, y además se transforma en un barril sin fondo para los recursos

presupuestales del erario público, y obliga a un consumo excesivo e innecesario de combustibles que contribuyen desproporcionadamente al aumento de la contaminación.

Los intentos de solución por la vía de incrementar la infraestructura vial de la ZMCM sin racionalizar la estructura de los medios de transporte, no solo pesa sobre la economía nacional sino resulta inútil para resolver el problema. Así por ejemplo, los ejes viales vienen a resultar la forma más rápida de llegar al embotellamiento.

3.4.2. CONSIDERACIONES REFERENTES AL EMPLEO DE MEZCLAS DE GASOLINA-ETANOL.

La contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México ha demandado la aplicación de medidas energéticas por parte del gobierno federal, dentro de las cuales destaca por su importancia y efecto la que se refiere al mejoramiento de la calidad de los combustibles para el parque vehicular que circula en la Zona Metropolitana, el cual según cifras oficiales, produce aproximadamente el 75% de las emisiones causantes de este problema.

Entre las alternativas que se han considerado para mejorar los combustibles están: el sustituirlos por otros menos contaminantes (gasolina por gas L.P.), eliminar su contenido de plomo, utilizar mezclas con compuestos oxigenados y la incorporación de diversos aditivos a los combustibles.

Dentro de los compuestos oxigenados que se han estudiado para emplearse en mezclas con gasolina están el Metanol, Etanol, Metil-terbutil-eter, Eter-amil-metil-eter y el etil-terbutil-eter, entre otros, sin embargo, en esta investigación nos referiremos al etanol.

El etanol es un compuesto químico que generalmente se obtiene en un proceso de fermentación, en el que se utilizan productos derivados de la elaboración del azúcar.

Debido al origen de la obtención del etanol, es utilizado a gran escala en países con alta producción de caña de azúcar, como es el caso de Brasil, en donde se emplea este compuesto, tanto en mezclas hasta el 22% en volumen, como combustible al 100% en Vehículos especialmente diseñados para tal efecto.

Indudablemente el empleo del etanol ofrece algunas alternativas en beneficio del medio ambiente, ya que al ser un compuesto que aumenta el índice de octano de la mezcla de gasolina, permite reducir o incluso eliminar el empleo de tetraetil de plomo como aditivo antidetonante. Esta situación permite eliminar las emisiones de compuestos de plomo en el escape. Así mismo, por su diferente composición, también se disminuyen las emisiones de hidrocarburos y de monóxido de carbono, producto de la combustión en el escape, sin embargo, debido a que el etanol aumenta la presión de vapor de la mezcla y con ello la volatilidad, se incrementan las emisiones evaporativas de hidrocarburos.

Respecto a otros productos de la combustión, existen algunos datos reportados, en los que las altitudes elevadas, el empleo de este compuesto en mezclas con gasolina incrementa la emisión de óxidos de nitrógeno, así como las de aldehídos y cetonas, los cuales son compuestos que por su reactividad fotoquímica participan activamente en la formación de ozono y del smog.

Esta situación, ha motivado la incorporación de las más modernas tecnologías para dotar a los vehículos de convertidores catalíticos, con el fin de evitar estas emisiones (NOx, aldehídos y cetonas)

Existen datos que demuestran que el comportamiento de las mezclas gasolina-alcohol etílico, es estable y que no se requiere del uso de conservantes o compuestos químicos estabilizadores, sin embargo, es necesario emplear etanol absoluto, es decir, sin agua ya que se puede ocasionar separación de fases gasolina-alcohol, que originaría problemas de fallas mecánicas de vehículos por gasificación en la bomba de gasolina.

Lo anterior significa un costo adicional en la manufactura del etanol, el cual industrialmente se obtiene al 96% en volumen.

Es importante mencionar también que el manejo de etanol anhidro, en caso de tener una disponibilidad suficiente del producto, requiere de una técnica especializada, dada su afinidad por el agua, ya que se hidrata a condiciones normales.

Adicionalmente su manejo y distribución no puede hacerse en sistemas o tuberías convencionales, ya que tiene naturaleza corrosiva y presenta tendencia a la

formación de desarrollo de crecimientos orgánicos (hongos), por lo que es indispensable el uso de inhibidores de corrosión y biocidas.

Finalmente es necesario resaltar que el poder calorífico del etanol es menor al de la gasolina, por lo que su uso en mezclas produce una pérdida de rendimiento en el motor.

Es por estos motivos, que generalmente pasan desapercibidos o bien son ignorados o no analizados con la suficiente claridad o profundidad, lo que hace que una alternativa esté en el campo de lo viable o lo antieconómico, ya que es muy importante proporcionar a las autoridades responsables de tomar este tipo de decisiones, todos los elementos de juicio necesarios que le permitan adoptar la medida más acertada

También debemos considerar que todos estamos sumamente preocupados por el problema de contaminación, sin embargo, la carencia de recursos y un posible uso indiscriminado de los mismos, construiría en estos momentos una decisión apresurada, tomando en cuenta la carencia en la infraestructura requerida para la implantación de esta acción, y no sólo eso, sino que México es un país donde la producción de azúcar está básicamente destinada al consumo como alimento y por lo tanto, no existen excedentes ni mucho menos, suficiente producción del etanol que sería necesario emplear, tan sólo para la Zona Metropolitana del Valle de México

El empleo de alcohol etílico actualmente en países altamente industrializados, como es el caso de Estados Unidos, ha obedecido a otras razones económicas muy propias de sus escenarios, ya que en ese país se obtienen importantes ingresos en la exención de impuestos aplicables a la producción de gasolina, los cuales son evitados al utilizar mezclas con compuestos oxigenados y adicionalmente a otro tipo de compensaciones por utilizar excedentes del campo, (como maíz) para fermentarlos y producir etanol

Debemos estar conscientes de que en la búsqueda de alternativas que resuelvan la demanda energética, en forma paralela y equilibrada con la problemática ambiental, podemos enfrentarnos a algunos tropiezos. Sin embargo, es nuestra obligación continuar investigando medidas alternativas que nos conduzcan a una solución real y funcional de dicha problemática.

Actualmente se están realizando investigaciones con diversos compuestos oxigenados a cargo del Instituto Mexicano del Petróleo; además se han incorporado procesos productivos que permitan satisfacer la demanda de combustibles de calidad ecológica, como lo es la gasolina sin plomo, combustóleo y diesel de bajo contenido de azufre, por otro lado se ha emitido reformas que permitan reducir en gran medida las emisiones atmosféricas por pérdidas evaporativas de combustibles.

3.4.3. EL ETANOL COMO ADITIVO OXIGENADO Y CARBURANTE.

° Características fisicoquímicas y energéticas.

TABLA 10. CARACTERÍSTICAS DEL ETANOL	
PROPIEDAD	ETANOL
FÓRMULA	CH ₃ CH ₂ OH
PESO MOLECULAR	52.2
COMPOSICIÓN (PESO PORCENTUAL)	
CARBÓN	52.2
HIDROCARBURO	13.1
OXIGENO	34.7
GRAVEDAD ESPECÍFICA	0.79
TEMPERATURA DE EBULLICIÓN (°C)	78.0
PUNTO DE FUSIÓN (°C)	117.0
TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN (°C)	423.0
LÍMITE DE FLAMABILIDAD (VOL.%)	
INFERIOR	4.3
SUPERIOR	19.0
OCTANAJE (RESEARCH)	118 - 132
NÚMERO DE CETANO	0.5
SOLUBILIDAD EN AGUA	INFINITA

TABLA 11. CARACTERÍSTICAS COMPARADAS ENTRE GASOLINA Y ALCOHOL

CARACTERÍSTICAS	GASOLINAS	ALCOHOL
PODER CALORÍFICO INF. (KJ/Lt.)	30798.00	20735.00
DENSIDAD A 15 °C (g/cm ³)	0.71	0.79
PUNTO DE EBULLICIÓN A 1 atm. (°C)	99.20	78.30
CALOR DE EVAPORACIÓN (KJ/KG)	272.00	840.00
INDICE OCTANO (RESEARCH)	68 A 92	125
MEZCLA ESTEQUIOMÉTRICA	15:10	9:00

El etanol anhidro es soluble en gasolina y en el diesel, siempre y cuando que no exista agua en el sistema. Si esta se presenta, el alcohol preferentemente absorbe el agua y se separa la mezcla en dos fases, lo que causa desperfectos serios en el motor.

El etanol anhidro (99.8% de pureza) es totalmente miscible en gasolina a temperatura normal.

3.4.4. LOS ADITIVOS OXIGENADOS Y LOS COMBUSTIBLES ALTERNOS

En relación al mejoramiento de la eficiencia operativa y energética de la mezcla de gasolina con aditivos antidetonantes y el aumento de octano que con esto se logra, se ha observado lo siguiente:

En la medida que a una gasolina base de índice de octano bajo se le adicione gradualmente un aditivo antidetonante, se logra aumentar el índice octano en proporción directa a la diferencia de índices de octano entre el aditivo y la gasolina base. Así, por ejemplo, si a una gasolina base con un RON de 78 se le adiciona 25% de alcohol, su índice de octano subirá a 95.

3.4.5. ACTUALES ADITIVOS ANTIDETONANTES PARA GASOLINA Y SU IMPACTO AMBIENTAL.

Inicialmente las gasolinas se obtuvieron con un bajo poder antidetonante dado que los procesos de refinación no habían alcanzado un alto nivel de desarrollo, pero las relaciones de compresión de los primeros automóviles eran bajas y por lo mismo el

efecto de las explosiones anticipadas resultaba poco importante. La necesidad de aumento de la eficiencia trajo como consecuencia el aumento paulatino de la relación de compresión y con ello la necesidad de aumentar el poder antidetonante de las gasolinas. Desde los años de la década de 1920 se descubrió el elevado poder antidetonante de algunos organometalicos, especialmente el tetraetilo de plomo mediante el cual con la adición de 1 ml/gal. se obtenían incrementos en el índice de octano hasta de diez unidades (RON). Aún en las fechas presentes el tetraetilo de plomo (TEP) continúa siendo uno de los métodos mas baratos de incrementar el índice de octano normalmente en gasolinas base de 70 RON, se puede elevar el índice de octano en 6 unidades por cada ml/gal de TEP. A mayores índices de octano de las gasolinas base, el aumento del índice de octano por cada ml/gal de TEP resulta menor que los anteriores.

El TEP resulta mas barato si no se contabiliza el costo para la sociedad, por daños a la salud y baja en la productividad.

Otros productos antidetonantes comúnmente utilizados como aditivos a las gasolinas son los compuestos aromaticos (Benceno, Tolueno, Xilenos) cuyos excedentes de producción para fines petroquímicos se orientan a su uso como aditivos antidetonantes. Su uso se acentúa cuando el precio de estos aromaticos disminuye.

El esfuerzo de mejoramiento del índice de octano de las gasolinas sin plomo ha traído como consecuencia un aumento de la proporción de ligeros especialmente butano, cuya elevada volatilidad propicia una mayor evaporación y de ahí una mayor contaminación por hidrocarburos en la atmosfera.

El efecto colateral indeseable del uso de estos antidetonantes radica en la absorción de sus productos de combustión completa o incompleta mediante el proceso de respiración de la población de la zona metropolitana. Se ha observado un nivel alto de concentración de plomo en la sangre, incluso de los bebés recién nacidos, que produce entre otras cosas, retrasos en su desarrollo psicomotor así como daños irreversibles. Por el lado de los aromaticos se ha constatado su efecto cancerígeno.

3.4.6. ACTUALES ADITIVOS OXIGENADOS.

Para gasolinas.

Existe la posibilidad de mejorar considerablemente el índice de octano sin tener que recurrir al tetraetilo de plomo o los aromáticos mediante la adición de alcoholes ya sea metílico o metanol y etílico o etanol y de los éteres metil terbutílico (MTBE) y etil terbutílico (ETBE)

La ventaja que tienen los primeros dos, es que pueden ser obtenidos a partir de fuentes renovables de biomasa y que inclusive pueden sustituir en su totalidad a la gasolina de alto octano como carburante y tienen además ventajas por la gran reducción del monóxido de carbono, ausencia de azufre y una baja en la generación de óxidos nítrógeno

La ventaja que tendrían los éteres MTBE y ETBE sería un elevado poder antidetonante y relativamente baja volatilidad con ventajas similares a los alcoholes metílico y etílico pero de mayor costo.

La introducción de mezclas de gasolina con etanol hasta un 10%, merece sin embargo una valoración especial, ya que sus implicaciones no pueden constreñirse sólo a reducciones mayores o poco significativas en la emisión de alguno o varios contaminantes primarios. En efecto el uso de etanol como mezcla hace prevenir adicionalmente algunos efectos positivos indirectos sobre el medio ambiente.

a) El etanol tiene un octanaje superior al de la gasolina, siendo un eficaz aditivo antidetonante que aumenta la calidad del combustible al usarlo como mezcla, lo que permitiría eliminar totalmente el plomo siendo su toxicidad incomparablemente menor.

b) El etanol puede ser un aditivo con menos contradicciones ambientales que los aromáticos y olefinicos usados en México para aumentar el octanaje de la gasolina y eliminar parcial o totalmente el plomo. Ello, en la medida en que las emisiones resultantes son catalogadas por algunos expertos como de menor reactividad fotoquímica. Además de la reducción cuantitativa en las emisiones de hidrocarburos,

esta propiedad del alcohol fortalece la posibilidad de que ayude a mitigar las elevadas concentraciones de ozono que caracterizan la atmósfera de la ZMCM. Estas razones permiten considerarlo como opción viable para garantizar una oferta adecuada de gasolina sin plomo para 1992, sin lo cual no es posible introducir convertidores catalíticos.

c) Es probable que el simple uso de etanol como mezcla permita que ciertos vehículos cumplan con las normas de emisión vigentes o previstas, lo cual haría más expeditos los programas de verificación.

d) El etanol es un energético renovable que puede ser producido de manera descentralizada; podría dar lugar a una agroindustria integral que revitalizaría el sector azucarero, generar una cantidad importante de empleos en el campo, y, recuperar amplias zonas del trópico mexicano ocupadas por la ganadería extensiva que hoy presenta un avanzado deterioro ecológico y productivo. Además, con ello podrían liberarse algunas cantidades de hidrocarburos para exportación, reserva o petroquímica.

e) El etanol visto desde otro punto de vista, es una excelente materia primaria de gran versatilidad que pueden ser fuente de un gran número de productos petroquímicos y suroquímicos de alto valor. Entre los derivados de etanol de mayor interés para nuestro caso, se encuentra el etil terbutil éter (ETBE), que tienen un mejor poder antidetonante y es excelente desde el punto de vista ecológico.

3.4.7. EL ETANOL DE CAÑA COMO ADITIVO ANTIDETONANTE EN MÉXICO.

Con el propósito de valorar el alcohol de caña, alcohol etílico o etanol, en su papel de componente antidetonante para combustibles automotrices, es necesario determinar no solo los factores que inciden sobre su costo social de producción, sino también, es necesario considerar los elementos concurrentes asociados a su función dentro de los carburantes y a su potencial productivo de corto y mediano plazos.

En cuanto a su potencial de producción, es necesario considerar, que en la situación presente existe un 50% de capacidad de destilación no utilizada en las plantas

EL ETANOL COMO COMBUSTIBLE ALTERNO 103

productoras de alcohol de caña dentro de la industria azucarera nacional y que, mediante una inversión del orden de los 206 millones de USD, se podría en un periodo de 5 años realizar las modificaciones a ingenios azucareros y las instalaciones necesarias para incrementar la superficie de siembra en 150,000 hectáreas y aportar un excedente de alcohol de caña de 1,130 millones de litros anuales.

La primera etapa de este proyecto virtualmente no requiere inversión alguna, y sólo requiere la decisión de reducir la capacidad ociosa de las destilerías alcoholeras asociadas a los ingenios azucareros para incluir las primeras aportaciones de etanol a la oferta de componentes antidetonantes.

Los costos sociales de la producción e incorporación de alcohol de caña a los combustibles automotrices se asocian primero a la utilización de mieles incristalizables en las instalaciones subutilizadas de la planta actual, al costo de incrementar la capacidad de producción de caña, su procesamiento y el aumento de las destilerías alcoholeras para alcanzar la meta de 5 años mencionada anteriormente.

3.4.8. EL ETANOL COMO ADITIVO PARA EL DIESEL.

Se ha observado que el etanol favorece la combustión del diesel, mejora su eficiencia y reduce sus emisiones contaminantes (entre otras de humos), pero su efecto antidetonante, que no es deseable en los motores diesel, limita la concentración de alcohol que conviene para estos motores.

Se han realizado estudios sobre la sustitución de cierto porcentaje de diesel por etanol cuyos objetivos han sido:

- * Establecer los tiempos óptimos de inyección de la mezcla.
- * Establecer el mayor nivel de ahorro de combustible sin necesidad de modificación en la ingeniería del motor a diesel.

Los resultados reportados son:

EL ETANOL COMO COMBUSTIBLE ALTERNO 104

° A 15% de sustitución con etanol: No requiere de modificaciones en su ingeniería pero si mejora la ignición.

° A 20% de sustitución con etanol: No requiere modificación en la ingeniería pero libera algún combustible o requiero ajuste en el tiempo. Requiere mejorar la ignición.

° A 25% de sustitución con etanol: No requiere modificaciones en la ingeniería en la mayoría de los casos, pero libera combustible y/o puede requerir ajustar el tiempo. Requiere mejorar la ignición.

° A 30% de sustitución con etanol: No requiere modificaciones en la ingeniería en la mayoría de los casos, sin embargo, necesita algún equipo de inyección del combustible modificado. En casos extremos el equipo de inyección del combustible puede requerir plomo con posibles cambios en la ingeniería.

Fuente: Industrial Development Organization, 1986.

La sustitución con etanol arriba del 30% no es recomendable con equipos modificados de inyección de combustible. La emulsión de etanol destilado en la mayoría de los casos requiere lubricante como aditivo para mejorar la ignición.

3.4.9. USO DEL ETANOL COMO CARBURANTE: EXPERIENCIAS.

Experiencia en la mezcla gasolina-etanol

VOLKSWAGEN

Los VW de Brasil usados con etanol hidratado redujeron su emisión de monóxido de carbono CO en 57% de hidrocarburos en 64% y de óxidos de nitrógeno en 13% y la totalidad del plomo. No se reportó la necesidad de realizar modificaciones en la ingeniería del motor.

FORD

En una prueba realizada con 2 autos del mismo tipo y características se usó la gasolina de Suecia sin plomo y usando convertidor catalítico y la de Brasil con etanol.

En comparación de las emisiones de los dos autos, el usado con mezcla gasolina/etanol del Brasil reportó 43% menos que las del auto con gasolina sueca, 24% menos de hidrocarburos, 21% menos de NOx y no emitió plomo.

Los hidrocarburos emitidos por el etanol no eran reactivos pero el etanol emitió mayores cantidades de aldehídos, entre ellos formaldehído, sustancias asociadas con la producción de cáncer. Pero las investigaciones en Brasil no fueron suficientes para determinar si los aldehídos afectaban directamente la salud, siendo posibles además, el eliminar en 100% los aldehídos por métodos de destilación. Estos estudios no reportan la necesidad de realizar modificaciones en la ingeniería del motor.

GENERAL MOTORS

Como ya se expresó anteriormente esta compañía aprueba el uso de combustibles oxigenados desde sus modelos de autos y de camiones 1990.

3.4.10. EL ALCOHOL CARBURANTE EN LOS PAÍSES DE LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE.

Desde mediados de la década de los 70's los programas de alcohol combustible han adquirido relevancia en América Latina, utilizando la caña de azúcar como materia prima para su fabricación.

Desde el punto de vista de las políticas energéticas nacionales, la utilización de combustibles renovables que permitieron la sustitución de importaciones de petróleo, en momentos de elevados precios de este combustible, aparecía como una alternativa no sólo rentable, sino conveniente para resolver el problema energético en el mediano y largo plazo.

Desde el enfoque de la propia industria azucarera caracterizada por lo largos períodos de precios internacionales inferiores a los costos de producción, la alternativa de utilizar cantidades crecientes de caña en producción de alcohol combustibles,

permitía no sólo un paliativo para las situaciones de crisis, sino un mayor control de la oferta de azúcar en el largo plazo.

Por otra parte, la caña aparecía como una materia prima conveniente para dichos programas dado que no sólo ofrecía el más alto rendimiento por hectárea, sino que la utilización del bagazo como combustible permitía un balance energético positivo en la producción de alcohol.

El daño que se está produciendo al ambiente y a las personas, hace impostergable revalorizar lo hecho hasta hoy, y tomar decisiones proporcionales al problema de fondo: déficit en el transporte, distancias irracionales que impone recorrer el sistema vial mal planeado de la Ciudad de México; sobrepoblación; el tipo de automotores que existen así como el combustible que usan; planta industrial mal localizada, etc.

En la actualidad es posible identificar tres tipos de programas de alcohol carburante:

- Aquellos en que la utilización del alcohol se debe a razones ecológicas, pues reemplazar el plomo en la gasolina a fin de incrementar el octanaje, como es el caso de Estados Unidos.

- Aquellos programas cuyo destino principal es producir para exportación, la posibilidad abierta para el mercado norteamericano a partir de 1985, modifica substancialmente las posibilidades de exportación

- Los programas de reproducción destinados al mercado interno, ya sea para sustituir importaciones de petróleo o para solucionar problemas del medio ambiente.

3.4.11. REQUERIMIENTOS DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ PARA UTILIZAR ADITIVOS OXIGENADOS Y CONVERTIDORES CATALITICOS.

La adición de etanol a la gasolina como aditivo oxigenado en una mayor proporción a 13% ha llegado a reportar efectos nocivos o contraproducentes en ciertas partes plásticas de los motores como empaques, juntas y en el sistema de conducción de combustible.

En lo que respecta a las compañías automotrices, hasta años anteriores, sólo la Mercedes-Benz, BMW y Peugeot mencionaban los alcoholes como combustibles recomendables. La Mercedes aceptaba un 15% de mezcla y las otras dos en un 10%. Actualmente una gran cantidad de industrias automotrices han optado por recomendar el uso de etanol, MTBE y metanol como aditivo antidetonante, según lo muestra la siguiente gráfica:

INDUSTRIA	ETANOL		MTBE	METANOL	
	SI/NO	(MEZCLA %)		SI/NO	(CON DISOLVENTES)
AGORA AMERICA	ACEPTA	NO	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	58
ALFA ROMEO	ACEPTA	NO	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	54
AMERICAN Honda	ACEPTA	NO	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	50
AMERICAN BUICK	ACEPTA	NO	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	51
ALDO GERD	ACEPTA	NO	NO	ACEPTA	51
AUSTIN ROVER CARS	NO ACEPTA	NO	NO	NO ACEPTA	51
BMW of N. A.	ACEPTA	NO	NO	ACEPTA	52
CHRYSLER/PREMIERE	NO ACEPTA	NO	NO	NO ACEPTA	51
DAIHATSU AMERICA	NO RECOMIENDA	NO	NO	NO RECOMIENDA	51
DAIICHI MOTOR CO.	ACEPTA	NO	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	53
GENERAL MOTORS	ACEPTA	NO	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	51
HYUNDAI MOTORS	ACEPTA	NO	NO	NO ACEPTA	51
JAGUAR CARS INC.	ACEPTA	ARRIBA DEL 10%	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	51
MERCEDES-BENZ	ACEPTA	ARRIBA DEL 15%	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	51
MITSUBISHI MOTOR	ACEPTA	NO	NO	NO ACEPTA	51
NISSAN MOTORS CORP.	ACEPTA	ARRIBA DEL 10%	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	51
PLYMOUTH MOTORS	ACEPTA	ARRIBA DEL 10%	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	51
POSCHE	ACEPTA	NO	NO	NO ACEPTA	51
ROLLS ROYCE	ACEPTA	ARRIBA DEL 10%	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	51
SAAB/SCANIA	ACEPTA	NO	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	51
SUBARU OF AMERICA	ACEPTA	ARRIBA DEL 10%	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	51
SUZUKI OF AMERICA	ACEPTA	NO	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	51
TOYOTA MOTOR (MEXICO)	ACEPTA	NO	NO	NO ACEPTA	51
TOYOTA MOTOR CO.	ACEPTA	NO	NO	ACEPTA ARRIBA DEL 5%	51
VOLKSWAGEN	ACEPTA	NO	NO	ACEPTA	51
VOLVO OF AMERICA	ACEPTA	NO	NO	NO ACEPTA	51
YUPO AMERICA	ACEPTA	NO	NO	NO ACEPTA	51

*1 Requiere de alto octanaje para vehículos turbocargados. *2 No lo recomienda.

3.5. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES.**3.5.1. Brasil.**

A principios de la década de los años setentas, debido a la primera crisis internacional del petróleo, Brasil se dio a la tarea de abrir y consolidar nuevas vías para garantizar su soberanía energética, reduciendo al mismo tiempo el desequilibrio que en la cuenta corriente de su balanza de pagos significaban las importaciones de hidrocarburos. En este contexto se lanzó el Programa Nacional de Alcohol (PROALCOHOL), cuyo objetivo era cumplir con esas aspiraciones.

En PROALCOHOL la producción de etanol tenía que dissociarse de la producción de azúcar para obtener resultados firmes y duraderos. Este programa incluía la fabricación de destilerías diseñadas exclusivamente para la producción de etanol a partir de jugo de caña. En el mismo tiempo el gobierno brasileño puso en marcha el desarrollo de un motor alimentado por etanol puro conjuntamente con la industria automotriz.

El Consejo Nacional del Petróleo del Brasil, comprobó experimentalmente que se puede usar una mezcla de hasta 25% de etanol sin necesidad de modificaciones en el motor y sin dañar este.

Los datos manejados en Brasil reportan un octanaje del etanol de 117.5 en contraparte con 85 u 89 de las gasolinas con plomo dependiendo del país. También se reporta que después del tetraetilo de plomo, el etanol es la opción económica más viable para su uso como aditivo. El barril-octano de etanol es más bajo que el costo de barril-octano de metanol.

Actualmente el parque vehicular brasileño rebasa los 13 millones de unidades, de los cuales alrededor del 40% opera exclusivamente con alcohol como energético, los demás utilizan una mezcla de gasolina/alcohol en la que este último lleva una proporción del 22%. Casi el 90% de los vehículos nuevos que ingresan al mercado utilizan alcohol hidratado puro como combustible.

La producción de alcohol alcanza los 12 mil millones de metros cúbicos que equivalen a poco más de 200 mil barriles diarios, los cuales se consumen virtualmente en su totalidad en el país, ya que se han cerrado las importaciones norteamericanas de etanol procedentes del Brasil, por un 60% de aranceles.

El costo al productor de un litro de alcohol es de unos 0.20 USD, incluyendo márgenes de ganancia, subsidios y costos sombra, esta cantidad es poco más de 0.40 USD por litro, siendo su precio al público de 0.33 USD por litro al tipo de cambio oficial.

En Brasil, la producción de alcohol ha generado más de 1 millón de empleos directos permanentes.

Por una caída casi continua en los precios internacionales del petróleo, al aumento de reservas brasileñas probadas y probables de hidrocarburos y a volúmenes crecientes de refinación que arrojan excedentes de gasolina, PETROBRAS ha ejercido presiones para reducir la oferta y demanda de alcohol combustibles, argumentando que su costo es alto relativamente a la gasolina. Sin embargo, tanto las entidades de gestión ambiental como de investigación (CETESB, SEMA, IPT) como las organizaciones de productores de alcohol han manifestado su desacuerdo, lo que se ha expresado en una fuerte controversia cuyos resultados aún no se definen.

En 1985 el etanol reemplazó 175,000 barriles de petróleo crudo por día, lo que equivalió al 19% de la demanda brasileña y 46% de la importación de crudo. Esto representó un ahorro de 508 millones de dólares diarios, o bien, 1.850 millones de dólares anuales por concepto de importaciones (13% del total de importaciones brasileñas de 1984).

Paralelamente se abatió en parte la dependencia a las reservas finitas de petróleo, resolviendo el problema de la contaminación por plomo así como también se logró disminuir considerablemente las emisiones vehiculares de otras sustancias contaminantes altamente peligrosas.

El tercer y muy importante beneficio que se logro fue el desarrollo de una alternativa a la producción tradicional al azúcar.

El modelo que desarrollo Brasil despues de un periodo de 10 años y que inicialmente fue fuertemente criticado, ahora está siendo adoptado por algunos países.

3.5.2. Estados Unidos de América.

En los Estados Unidos, ya se está utilizando ampliamente el etanol: por ejemplo, el combustible GASAHOL tiene un 10% de etanol y 90% de gasolina, con un contenido de 3.7 de oxígeno. La legislación americana en materia de combustibles tiene una definitiva orientación hacia el uso de combustibles oxigenados o alternativos, regulando el uso de éstos según los diferentes Estados así lo dictaminen. Se cuenta ya con una ley de combustibles alternativos en 1988 cuyo objetivo básico es estimular el desarrollo del etanol, metanol y gas natural comprimido.

Existen propuestas de ley que buscan implementar el uso de mezclas de etanol/gasolina en centros poblacionales cuyo valor de concentración de O_3 y CO rebasa límites críticos.

Existen también, según diferentes Estados, estímulos fiscales para la producción de combustibles alternativos.

En Colorado se cuenta con una propuesta de ley para que en las gasolineras se indiquen en las bombas que el aditivo antidetonante usado es Metil Terbutil Éter (MTBE).

En California hay una propuesta de ley que todos los camiones deben operar desde 1991 con metanol o etanol. En este Estado la demanda estimada de metanol como combustible fue en 1989 de 28.4 millones de litros por año y para 1993 de 113.4 millones de litros/año. Cantidad que va ampliamente dirigida al consumo por vehículos privados y camiones, con una menor proporción a las refinerías, industrias y administración pública. Ese Estado considera usar combustibles alternativos como gas natural y metanol en plantas generadoras de energía eléctrica.

EL ETANOL COMO COMBUSTIBLE ALTERNO

111

La General Motors recomienda el uso de combustibles oxigenados en los manuales de sus autos y camiones para reducir la contaminación a partir de los modelos 1990.

Se reporta que con una mezcla de 10% de etanol, disminuye la emisión de compuestos orgánicos volátiles, lo que contribuye a la disminución del ozono, siendo aún más eficiente en este sentido el uso del metanol.

No obstante las bondades del uso de combustibles alternativos, existen en EUA movimientos de compañías petroleras en contra del uso de estos. AMOCO y CHEVRON iniciadores de esta pugna, llegaron a afectar la venta de mezclas de etanol/gasolina, ante lo cual ya se ha levantado un proceso legal. Mientras tanto, EXXON busca introducir bombas en las gasolineras para suministrar una mezcla de combustibles con 85% de metanol.

A continuación se presentan tres tablas que pueden ayudar a dar una idea del comportamiento en el mercado de los combustibles alternativos:

CONCEPTO	PRECIO (USD/LT)	PRECIO (PESOS/LT)
ETANOL (EUA)	0.296	697.49
BENCENO (EUA)	0.462	1109.64
TOLUENO (EUA)	0.257	618.22
XILENO (EUA)	0.396	951.12
GASOLINA (SIN PLOMO EUA)	0.131	313.87
GASOLINA (SIN PLOMO MÉXICO)	0.239	575.00
GASOLINA (CON PLOMO EUA)	0.134	321.79
GASOLINA (CON PLOMO MÉXICO)	0.205	493.00
MEZCLA GASOLINA CON ALCOHOL 20% Y CON PLOMO (MEX)	0.259	623.80
MEZCLA GASOLINA CON ALCOHOL 20% Y SIN PLOMO (MEX)	0.286	689.00

AÑO	ETANOL AL 10%	METANOL AL 15%
1984	4	8
1988	7	22

TABLA I				TABLA II			
		LUGAR				LUGAR	
ESTADO	VENTAS (miles gal)	1987	1988	ESTADO	PENETRACION (%)	1987	1988
ILLINOIS	1484221	1	1	NEBRASKA	32.44	2	1
OHIO	975305	2	2	KENTUCKY	30.70	1	2
KENTUCKY	585021	3	3	ILLINOIS	29.88	3	3
INDIANA	662914	4	4	IOWA	28.78	4	4
TENNESSEE	545321	5	5	TENNESSEE	21.35	11	5
MICHIGAN	601322	5	6	INDIANA	21.09	4	6
TEXAS	469211	6	7	ALABAMA	20.20	6	7
CALIFORNIA	445921	11	8	OHIO	19.69	7	8
ALABAMA	410921	7	9	N. MEXICO	18.30	10	9
IOWA	403102	8	10	S. DAKOTA	14.58	9	10
TOTAL: 8288502							

Para finales de 1988 las ventas de mezclas con 90% gasolina y 10% etanol se incrementaron en 0.63% por sobre las del año anterior y en 1.68% durante la segunda mitad de 1988. Se estima que el total de las mezclas de gasolina / etanol de 1988 llevo a 31,372 millones de litros. El total de penetraciones en el mercado de dichas mezclas para 1988 fue de 7.27% incrementando en 0.10% en comparación a 1987. Los estados de la tabla anterior cuentan con 77% del total de las ventas de EUA.

En EUA la capacidad total de producción de etanol es de 3,861 millones de litros por año. En 1988 las plantas trabajaron a 80% de su capacidad. De 125 plantas productoras de etanol, 53 están produciendo y 72 no están en operación. Esto se debe, que a pesar del amplio programa del uso de combustibles alternativos, existe detenero

en el mercado de etanol, atribuible a la baja en el precio de la gasolina, publicidad negativa y alto incremento de costos y endeudamiento, lo que a su vez ha causado el cierre de varias plantas

3.5.3. Otros países.

En Trinidad y Tobago se está implementando una Planta de metanol que se prevé terminar a mediados de 1992 y que contará con una capacidad de 2200 toneladas métricas/día.

En África se proyecta una cooperación internacional para la producción de electricidad a base de etanol, así como ser este producto, un soporte ante las constantes alzas y bajas en el precio del azúcar

En Australia se cuenta con un programa de etanol que busca la diversificación de la Industria Azucarera y promover la seguridad energética, ya que a partir de 1992 es un neto importador de petróleo. Se debe tomar en cuenta que Australia tiene el segundo lugar de producción de azúcar y que exporta 76% de su producción. Se espera que el programa cree 5000 puestos de trabajo y genere 350.000 USD de ingresos para el estado, en el supuesto que 10% de los vehículos del departamento de Queensland usen la mezcla gasolina/etanol.

Se aprecia un importante aumento en el consumo mundial del etanol como combustible alterno que contribuye a estabilizar condiciones económicas internas y externas para promover la generación de trabajos y colateralmente para reducir los niveles de contaminación atmosférica.

Los siguientes países cuentan con programa al respecto

BRASIL	EUA
ARGENTINA	PARAGUAY
ZIMBAWE	MALAWI
KENIA	SUDÁFRICA
INDIA	SUECIA
CHECOSLOVAQUIA	

Además se tiene conocimiento de iniciativas con diferentes grados de avance en:

BOLIVIA	COLOMBIA
REPÚBLICA DOMINICANA	EL SALVADOR
HONDURAS	GUATEMALA
NICARAGUA	FIDJI
INDONESIA	FILIPINAS
TAILANDIA	ZAMBIA

Fuente: GEPLACEA, OLADE, IICA, MÉXICO, 1984.

3.6. DESVENTAJAS DEL USO DE ETANOL COMO COMBUSTIBLE ALTERNO.

3.6.1. COSTOS MEDIOS Y MARGINALES DE MEJORAR EL PODER ANTIDETONANTE DE LOS COMBUSTIBLES AUTOMOTRICES.

El costo de mejorar la calidad de las gasolinas via el aumento del índice de octano, que para este estudio se utiliza el índice RON (Research Octane Number) depende en primer lugar de las características y costo de producción de la gasolina base, la cual es la mezcla de productos de los diferentes procesos de refinación, sin aditivos ni componentes antidetonantes, también depende de los costos de procesamiento adicional; de los niveles de costo de las gasolinas como función del precio del petróleo crudo y de los costos del aditivo o componente antidetonante empleado.

Es necesario señalar, que los aditivos con base en derivados organometalicos del plomo, destacadamente el tetraetilo de plomo, resultan en costo casi independientes del precio del petróleo crudo, porque su efecto se logra con la adición de partes por millón, que no modifica ni el volumen ni la concentración de los componentes existentes en la gasolina base.

Para el caso de los componentes de alto índice de octano que se mezclan en las gasolinas en proporción diversa -entre los cuales se considera el etanol-, al añadirse alteran la concentración y volumen de la mezcla resultante y por lo mismo, el costo de su adición resulta afectado considerablemente por el costo de producción de la gasolina base. Se ha observado que el costo de aumentar el número de octano de las gasolinas

EL ETANOL COMO COMBUSTIBLE ALTERNO

115

mediante la mezcla de componentes de alto octano, es una función de la diferencia de precio entre la gasolina base y el componente antidetonante adicionado, del índice de octano de la gasolina base, de la concentración del componente incorporado y del poder antidetonante en mezcla que tiene el componente adicionado.

A efecto combinado de estos factores se muestra la siguiente tabla.

TABLA 16. COSTO MARGINAL DE LA ADICIÓN DE ANTIDETONANTES. (CENTS.USD/BARRIL).									
ADITIVO	CANTIDAD	RON		PRECIO DEL	PRECIO DEL CRUDO (DOLÁRES/BARRIL)				
	ADICIONADA			ADITIVO	15	18	22	25	28
	g/Lt	base	final	USD/Ton	COSTO MARGINAL				
Centavos de dolar por barrilctano									
TETRA	0 1	70	75 5	2650	1 38	1 38	1 38	1 38	1 38
ETILO	0 4	70	82 5	2650	3 69	3 69	3 69	3 69	3 69
DE	0 8	70	86 5	2650	12 90	12 90	12 90	12 90	12 90
PLOMO	0 8	80	94 0	2650	18 43	18 43	18 43	18 43	18 43
TEP	0 8	90	99 5	2650	27 64	27 64	27 64	27 64	27 64
TO- LUE- NO	5	70	71 83	0 973	49 11	40 15	28 20	19 24	10 29
	20	70	77 30	0 973	49 24	40 26	28 28	19 29	10 31
	20	80	85 30	0 973	67 82	55 44	38 95	26 58	14 21
	20	90	93 30	0 973	108 92	89 05	62 55	42 69	22 82
XI- LE- NOS	5	70	72 50	1 499	80 13	73 57	64 83	58 27	51 71
	20	70	80 00	1 499	80 13	73 57	64 83	58 27	51 71
	20	80	88 00	1 499	100 16	91 96	81 04	72 83	64 64
	20	90	96 00	1 499	133 55	122 62	108 05	97 12	86 19
	20	70	80 00	1 350	67 61	61 06	52 31	45 75	39 20

CONTINUA...

MTBE	5	70	71.95	1.00	48.99	40.58	29.38	20.97	12.56
	20	70	77.80	1.00	48.99	40.58	29.38	20.97	12.56
	20	80	85.80	1.00	65.88	54.58	39.50	28.20	16.89
	20	90	93.80	1.00	100.56	83.30	60.30	43.04	25.78
N	20	70	77.80	0.90	38.22	29.82	18.61	10.20	8.96
	5	70	71.55	0.50	-6.11	-16.68	-30.79	-41.36	-51.94
	15	70	74.85	0.50	-6.11	-16.68	-30.79	-41.36	-51.94
	15	80	83.15	0.50	-9.02	-24.63	-45.45	-61.06	-76.67
TA-NO	15	90	91.65	0.50	-17.21	-47.02	-86.76	-116.57	-146.37
	15	70	74.65	0.70	20.99	10.41	-3.69	-14.27	-24.84
	5	70	72.5	0.60	4.61	-1.94	-10.69	-17.24	-23.80
ME-TA-NOL	15	70	77.5	0.60	4.61	-1.94	-10.69	-17.24	-23.80
	15	80	86.00	0.60	5.77	-2.43	-13.36	-21.56	-29.75
	15	90	94.5	0.60	7.69	-3.24	-17.81	-28.74	-39.67
	15	70	77.50	0.70	13.01	6.45	-2.29	-8.84	-15.40

En la tabla 16 se puede apreciar que el costo del tetraetilo de plomo no es sensible a los cambios de costo de la gasolina asociados al precio del crudo, pero si es sensible a los incrementos marginales de aditivo y al índice de octano de la gasolina base. En dicha tabla se muestra que el costo marginal del tetraetilo de plomo por octano y por barril, oscila entre 1.38 y 27.64 centavos de USD.

Los demás componentes antidetonantes son sensibles al precio del crudo y el costo de la adición se reduce conforme la diferencia entre el costo de la gasolina y la del antidetonante disminuye y llega a hacerse crecientemente negativo en los casos del Butano y el Metanol.

El costo del etanol como componente aditivo antidetonante se muestra en la tabla 17, y oscila entre .31 y 67 centavos de USD por octano y por barril.

EL ETANOL COMO COMBUSTIBLE ALTERNO
117

Los máximos costos del incremento de octano se observan a bajos precios del crudo y a valores elevados del índice de octano de la gasolina base.

TABLA 17. COSTO MARGINAL DE LA ADICIÓN DE ALCOHOL ETILICO A LA GASOLINA. (CENTS USD/BARRIL)									
CANTIDAD ADICIONADA (%)	RON		PRECIO DEL ETANOL	PRECIO DEL CRUDO (DÓLARES/BARRIL)					
	base	final	USD/Gal	15	18	22	25	28	
				COSTO MARGINAL Centavos de dólar por barril octano					
5	70	72.75	0.966	32.14	26.18	18.23	12.27	6.31	
10	70	75.50	0.966	32.14	26.18	18.23	12.27	6.31	
20	70	81.00	0.966	32.14	26.18	18.23	12.27	6.31	
5	80	82.25	0.966	39.29	32.00	22.29	15.00	7.71	
10	80	84.50	0.966	39.29	32.00	22.29	15.00	7.71	
20	80	89.00	0.966	39.29	32.00	22.29	15.00	7.71	
5	90	91.75	0.966	50.51	41.14	28.65	19.28	9.92	
10	90	93.50	0.966	50.51	41.14	28.65	19.28	9.92	
20	90	97.00	0.966	50.51	41.14	28.65	19.28	9.92	
5	70	72.75	1.1	42.38	36.41	28.47	22.50	16.54	
10	70	75.50	1.1	42.38	36.41	28.47	22.50	16.54	
20	70	81.00	1.1	42.38	36.41	28.47	22.50	16.54	
5	80	82.25	1.1	51.79	44.51	34.79	27.51	20.22	
10	80	84.50	1.1	51.79	44.51	34.79	27.51	20.22	
20	80	89.00	1.1	51.79	44.51	34.79	27.51	20.22	
5	90	91.75	1.1	66.59	57.22	44.73	35.36	26.00	
10	90	93.50	1.1	66.59	57.22	44.73	35.36	26.00	
20	90	97.00	1.1	66.59	57.22	44.73	35.36	26.00	

Con el propósito de comparar los costos relativos de los antidetonantes cuando el precio del crudo es bajo, se toma como referencia el nivel de 15 dólares por barril como precio del crudo, el costo de adicionar un punto al índice de octano de una gasolina base de 70 RON resulta como se muestra en la tabla siguiente:

TABLA 18. COSTO MARGINAL COMPARATIVO DE LOS ANTIDETONANTES.				
	RON BASE	COSTO MARGINAL	COSTO RELATIVO	COSTO DEL CRUDO USD/BARRIL
ETANOL	70	32.14	100.0	15
METANOL	70	-4.61	14.3	15
MTBE	70	48.99	152.4	15
TOLUENO	70	49.11	152.8	15
XILENO	70	80.13	249.3	15
N BUTANO	70	-6.11	-19.0	15
TETRAETILO	70	1.38 A 12.9	4.3 A 40.1	15

Se observa que los compuestos de menor costo, que inclusive pueden reducir el costo de la gasolina, a la vez que aumenta el índice de octano son el metanol y el N butano. Sigue el tetraetilo de plomo, mientras que los aromáticos y MTBE oscilan entre 152.4 y 249.3% del costo del etanol.

El costo del etanol de 32.14 centavos de USD por octano barril es un poco mayor que el correspondiente a los procesos de refinación de severidad media, pero resulta de 26.18 centavos de USD, esto es, igual a estos procesos, si el precio del crudo es de 18 USD por barril.

Si el precio del barril de crudo supera los 20 USD, entonces el etanol resulta menos costoso que los procesos de refinación de baja severidad.

3.6.2. LIMITANTES.

Las limitaciones que se aprecian para cada antidetonante se relacionan, bien con su disponibilidad, con su efecto sobre el medio ambiente y la salud pública o bien con su efecto sobre la volatilidad del combustible.

El etanol tiene un ligero efecto sobre la volatilidad, de modo que la adición de un 20% de etanol a gasolina base de 9.5 psia de RVP (Reid Vapor Pressure, en libras por pulgada cuadrada absoluta), pero su limitante real es la disponibilidad nacional de mediano plazo de 1.500 millones de litros, que permitirían adicionar el total de las gasolinas del país del orden de un 20% de etanol. A un plazo inmediato, se podrían generar unos 100 millones de litros que permitirían satisfacer en un 10% los requerimientos de antidetonantes para la ZMCM.

3.7. PRODUCCIÓN DE ETANOL.**3.7.1 PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE CAÑA DE AZÚCAR:
RENDIMIENTOS.**

BASES DE CÁLCULO	
PRODUCCIÓN DE CAÑA	69 TONELADAS/HECTÁREA
PRODUCCIÓN DE ALCOHOL	65 LITROS/ HECTAREA.

Así se ve, que con la siembra de 252,285 Ha se obtiene una producción de 17.4 Millones de Toneladas/Ha para un total de 1.130 Mil Lt/año.

**3.7.2. SITUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL COMO COMBUSTIBLE
EN LATINOAMÉRICA.****3.7.2.1. SITUACIÓN EN BRASIL.**

En la actualidad el mayor productor de etanol a nivel mundial es Brasil, hecho que se manifiesta a partir de 1975 debido a su política de sustituir gasolina por alcohol carburante por razones estratégicas ante la incertidumbre e inestabilidad de los precios internacionales del petróleo.

TABLA 19. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ETANOL.

	PRODUCCIÓN 1985 (MILES DE METROS CÚBICOS)	PROYECCIÓN 1990 (MILES DE METROS CÚBICOS)
AMÉRICA DEL SUR (1)	8585.5	14604.4
ESTADOS UNIDOS.	3066.0	3800.6
SINTÉTICO	473.2	-----
FERMENTACIÓN	2593.0	3800.6
EUROPA OCCIDENTAL	1337.5	1149.5
JAPÓN	165.2	174.1
SUDESTE ASIÁTICO	417.7	533.9
CANADA	86.9	36.6
MÉXICO	82.0	82.0
MEDIO ORIENTE	151.4	466.9
ÁFRICA	363.1	398.7
INDIA	492.1	536.3
AUSTRALIA	85.8	92.1
NUEVA ZELANDA	3.9	3.8
OTROS	26.2	31.5
TOTAL	14832.5	21910.3

(1) EL 90% CORRESPONDE A BRASIL.

En Brasil aproximadamente un 60% de la caña de azúcar es destinada a la producción de azúcar y el 40% restante a la de etanol en destilerías autónomas; produce actualmente más de 13.000 millones de litros de alcohol.

El uso de etanol como combustible en Brasil se realiza de dos formas: mediante la adición de etanol anhidro (sin agua) en la gasolina y a través del desarrollo de motores de etanol puro.

Para 1984, toda la gasolina que se consumió en Brasil fue mezclada con 22% de etanol. Experimentos patrocinados por el Consejo Nacional de Petróleo de ese país, probaron que el etanol puede ser añadido a la gasolina en una proporción máxima de 25% sin daños, ni necesidad de recurrir a cambios del motor convencional de gasolina de ciclo Otto.

Por lo que respecta al desarrollo de motores para etanol puro, se reportó que para 1986, las ventas de éstos para automóviles de pasajeros representaron el 91% del total de esta categoría. La proporción de vehículos de etanol sobre las ventas totales de todos los vehículos, incluyendo camiones pesados y tractores de diesel y gasolina, fue del 84% en 1984 y del 79% un año antes.

Para 1986 el etanol en Brasil ya reemplazaba 175.000 barriles de petróleo crudo por día, equivalente al 15% de la demanda de este combustible y el 46% de las importaciones de petróleo del país.

3.7.3. SITUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL EN MÉXICO.

3.7.3.1. LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL DE CAÑA POR PARTE DEL SECTOR AZUCARERO EN MÉXICO.

En México, el alcohol etílico o etanol se produce en las destilerías anexas a los ingenios azucareros, utilizando como materia prima a las mieles incristalizables. En países como Estados Unidos utilizan también como materia prima el maíz y en Brasil, utilizan además de las mieles, el jugo de caña y meladura obtenidos directamente de la caña de azúcar.

En México, en 1990 se tenían 70 ingenios, de los cuales 26 correspondían al sector público, dos cooperativas y 42 al sector privado. La producción de alcohol etílico se realiza en fábricas de alcohol adyacentes a los ingenios azucareros. Operaban 35 destilerías, de las cuales 12 son del sector público, 2 cooperativas y 21 destilerías al sector privado.

La capacidad instalada de producción de alcohol es del orden de 536.600 litros diarios, el 100% del alcohol producido es del tipo hidrato (96 grados Gay Lussac), correspondiendo 64% para el alcohol de calidad y 36% para el alcohol común.

3.7.3.2. CAPACIDAD INSTALADA.

TABLA 20. CAPACIDAD INSTALADA DE PRODUCCIÓN DE ALCOHOL.

DESTILERIA	PRODUCCION (LITROS/DIA)
LA JOYA, CAMPECHE	14000
PUJILITIC, CHIAPAS	14000
GUADALUPE, JALISCO	4400
TALA, JALISCO	14500
TAMAZULA, JALISCO	25000
PEDERNALES, MICHOACÁN	3000
SAN SEBASTIAN, MICHOACÁN	7000
SANTA CLARA, MICHOACÁN	12000
CASASAND, MORELOS	6500
EMILIANO ZAPATA, MORELOS	22500
OACALCO, MORELOS	10000
EL MOLINO, NAYARIT	5300
PUGA, NAYARIT	9500
CALIPAM, PUEBLA	6700
ALIANZA POPULAR	25000
EL DORADO, SINALOA	14000
LOS MOCHIS, SINALOA	26400
ROSALES, SINALOA	26000
DOS PATRIAS, TABASCO	4600
NUEVA ZELANDIA, TABASCO	5500
SANTA ROSALIA, TABASCO	14700
EL MANTE, TAMAULIPAS	24000
XICOTENCATL, TAMAULIPAS	20500
CONSTANCIA, VERACRUZ	8500
CUAUTOTOLAPAM, VERACRUZ	24500
EL CARMEN, VERACRUZ	15000
EL POTRERO, VERACRUZ	17000
INDEPENDENCIA, VERACRUZ	13500
LA PROVIDENCIA, VERACRUZ	15000
MAHUXTLAN, VERACRUZ	3800
SAN CRISTOBAL, VERACRUZ	62000

TABLA 20. CAPACIDAD INSTALADA DE PRODUCCIÓN DE ALCOHOL
(CONTINUACIÓN)

SAN GABRIEL, VERACRUZ	7000
SAN JOSÉ DE ABAJO, VERACRUZ	15000
SAN MIGUELITO, VERACRUZ	8200
SAN PEDRO, VERACRUZ	25000
TOTAL	536600

3.7.3.3. MATERIA PRIMA.

Las mieles finales o incristalizables, tienen diversos usos. además de la producción de alcohol, sirven como alimento para ganado, fabricación de Licina, Levaduras y otros. Constituye una materia prima que puede servir para la fabricación de muchos otros productos

El rendimiento de miel final que se tiene en un ingenio, es del orden de 35-40 kgs. de miel por Ton. de caña.

La producción de mieles incristalizables en 1987, fue de 1,527,310 toneladas, con un rendimiento promedio de 38.9 kgs. de miel producida por tonelada de caña molida

TABLA 21. UTILIZACIÓN DE LAS MIELES. 1987

	TONELADAS	%
MIEL UTILIZADA PARA ELABORAR ALCOHOL	442780	36.8
USO AGROPECUARIO	554998	46.2
ELABORACIÓN DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS	93313	7.8
USO INDUSTRIAL	110759	9.2
SUMA	1201850	100.0

Revisando la producción y consumo de mieles incristalizables durante 1987, se observa que los mayores consumos son para uso agropecuario con 46% y para la elaboración de alcohol con 36%, consumos menores se tienen para la elaboración de bebidas alcohólicas y uso industrial (elaboración de Licina, Levaduras y otros), quedando un remanente para exportación.

Con la actual disponibilidad de mieles, se pueden alcanzar la producción de 160 millones de litros de alcohol, sin embargo, considerar producir volúmenes mayores a los 160 millones de litros, implica por una parte ampliación de las destilerías existentes o bien construcción de nuevas fabricas de alcohol, así también se presentaría una limitante en la disponibilidad de elaboración de alcohol a partir de guarapo.

La producción de alcohol etílico directamente a partir de jugo de caña, tomando en cuenta que el rendimiento máximo posible de etanol a partir de glucosa, es de 0.51 gramos de etanol por gramo de azúcar, permite estimar un rendimiento aproximado de 65 litros de etanol por tonelada de caña. Por lo anterior, las destilerías que produzcan etanol directamente a partir de jugo de caña, deberán considerar las siguientes capacidades de acuerdo a la molienda diaria de caña.

3.7.3.4. PRODUCCIÓN.

La fermentación de las mieles resulta de la acción de la levadura, que primero invierte la sacarosa por la acción de la invertasa secretada por la levadura.

La levadura convierte el azúcar invertido en alcohol etílico y CO₂:

El rendimiento teórico de 1 lb. de azúcar invertido (0.95 lb. de sacarosa) es de 0.511 lb. de alcohol absoluto y 0.489 lb. de CO₂.

El rendimiento promedio de alcohol que se obtiene en las industrias es del orden de 250 litros de alcohol por tonelada de miel final. Utilizando jugo o meladura, el rendimiento de alcohol puede variar de 65 a 70 litros por tonelada de caña.

TABLA 22. PRODUCCIÓN DE ALCOHOL.

AÑO	PRODUCCIÓN (MILES LI)	APROVECHAMIENTO DE LA CAP. INSTALADA (%)
1983	110918	69.3
1984	113680	71.0
1985	112854	70.5
1986	95576	59.7
1987	112427	70.2

CAPACIDAD INSTALADA = 160 MILLONES DE LVAÑO.

La producción de alcohol en México durante los años de 1983 a 1987, indica que en 1984 se tuvo la mayor producción con 113.7 millones de litros, equivalente a un 71% de la capacidad instalada tomando en cuenta que esta última es de 160 millones de litros operando 300 días por año.

Las cuotas de producción de alcohol se fijan de acuerdo a la demanda, observando que en los últimos años la producción y consumo se ha mantenido en niveles del orden de los 100 millones de litros. La producción de alcohol en los ingenios constituye una actividad redituables, sin embargo, la falta de mercado origina que se restrinja la producción y de que algunas de las destilerías operen únicamente en tiempo de zafra (enero a mayo), suspendiendo su operación el resto del año.

3.7.3.5. CONSUMO.

TABLA 23. CONSUMO DE ALCOHOL.

AÑO	MILES DE LITROS
1981	86455
1982	96014
1983	100817
1984	112951
1985	122240
1986	87523
1987	83186

TABLA 24. CONSUMO DE ALCOHOL ETILICO POR DESTINO 1987.

DESTINO	MILES DE LITROS
NACIONAL	83186
COMERCIO	26879
ALMACENISTAS FORANEOS	19349
ALMACENISTAS D.F.	5252
PARTICULARES	612
DEPENDENCIAS OFICIALES	1542
OTROS	124
INDUSTRIA	56307
ENVASADORES RECIP. MENORES	10111
FABRICANTES BEBIDAS ALCOHOLICAS	13223
FABRICANTES PINTURAS	3673
FABRICANTES PRODUCTOS QUIMICOS	17520
FABRICANTES PERFUMES	4639
LABORATORIOS	1978
FAB. PROD. INDUSTRIALES VARIOS	995
FABRICANTES CIGARROS	531
FAB. PROD. ALIMENTICIOS	250
FABRICANTES DE VINAGRE	2464
FABRICANTES DE ETÉR	913

3.7.3.6. PERSPECTIVAS PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN.

La producción de alcohol en los últimos años, ha sido del orden de 110 millones de litros por año, disponiéndose en los ingenios de una capacidad instalada para producir 160 millones de litros por año.

Producciones por arriba de los 160 millones de litros por año, involucra ampliación de las destilerías existentes y/o construcción de nuevas destilerías, así también de continuar la misma producción de mieles, se tendrá que importar mieles o bien producir alcohol directamente a partir de caña de azúcar.

3.8. LOS ÉXITOS EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN POR AUTOMÓVILES EN LOS E.U.A. POSIBILIDADES PARA MÉXICO.

El promedio de consumo de combustible de vehículos ligeros puede reducir varias veces con el uso de tecnologías existentes comunes. Esta conclusión se basa en un simple modelo computacional que se estableció para reproducir el ahorro de combustible de vehículos de pasajeros con un eficiente sistema de energía.

Si se observa, la asociación cíclica de la compra de un auto nuevo con el ahorro de costos es demasiado corta para presionar en la generación de suficiente mercado que realice más un pequeño ahorro de combustible

La importancia de la mejora en la eficiencia del consumo de combustibles automotrices radica en facilitar una graciosa transición a una era posterior al uso de combustibles fósiles. Esto pudiera considerarse como un breve ejemplo en lo que está sucediendo en Europa. (18)

FUENTE DE TABLAS DEL CAPITULO III.

TABLA 1: SEDUE, PEMEX 1987.

TABLA 2 y 3: PEMEX 1987.

TABLA 4 y 5: Instituto Autónomo de Investigaciones Ecológicas A.C.

TABLA 6: SEMIP.

TABLA 7: SEMIP y Estimaciones INAINE A.C.

TABLA 8: Anuario Estadístico de PEMEX.

TABLA 9: IMP.

TABLA 10: Banco Mundial, 1980.

TABLA 11: EPN, 1937.

TABLA 12: Alcohol outlook, Mayo 1989.

TABLA 13: INAINE.

TABLA 14: Alcohol Update.

TABLA 15: Alcohol Update. Special Report 1988.

TABLA 16, 17 y 18: Ing. Rafael Pedrero, CEE 1989 (Estimaciones propias).

TABLA 19 - 24: Guerra, Luis Manuel, 1989.

*IV.- PRUEBAS REALIZADAS AL MOTOR DE CUATRO
TIEMPOS*

4.1. INTRODUCCIÓN:

En este capítulo se muestran los resultados de las pruebas que se desarrollaron en el Laboratorio de Termoenergía de la Facultad de Ingeniería, en la Universidad Nacional Autónoma de México (Ciudad Universitaria), con el fin de comparar las eficiencias y emisiones de dos distintos combustibles, uno de ellos es el combustible ordinario que se puede encontrar en el mercado (magna sin) y por otra parte se tiene un combustible alterno, el cual resulta ser una mezcla del combustible ordinario y alcohol etílico (etanol) en distintas proporciones.

En estas pruebas se toma como referencia comparativa entre ambos combustibles tres tipos de eficiencias del motor (E. térmica, E. mecánica y E. interna) y las emisiones de cuatro gases contaminantes como lo son el monóxido de carbono (CO), el bióxido de carbono (CO₂), oxígeno (O₂) y partes por millón de hidrocarburos (HC)

Finalmente, tomando los datos obtenidos de cada una de las pruebas, se concentrarán para poder establecer un comportamiento del motor en lo referente a eficiencias, emisiones y gasto-potencia, al variar el porcentaje de alcohol etílico en la mezcla.

4.2. OBJETIVO:

Establecer el porcentaje de alcohol etílico en el combustible alterno, que genere un comportamiento óptimo en el motor de combustión interna, es decir, buen rendimiento en cuanto a eficiencias, disminución en cuanto a emisiones contaminantes y aceptable relación entre gasto y potencia del motor

4.3. METODOLOGÍA:

Realizando una serie de pruebas, este trabajo pretende mostrar una tendencia general sobre el comportamiento de ambos combustibles en un motor sometido a las mismas condiciones de trabajo. Por esta razón, en cada una de las

PRUEBAS REALIZADAS AL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS

131

pruebas se modificará el porcentaje de alcohol etílico y de esta forma se comparan las eficiencias y emisiones entre el combustible ordinario y el alterno.

El desarrollo de esta investigación se realizará en un motor de combustión interna, el cual está situado en el laboratorio de termoenergía de la Facultad de Ingeniería, dicho motor cuenta con las siguientes características.

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	
Número de cilindros	8
Posición de los cilindros	en V
Cilindrada	351 pulgadas cúbicas
Marca	Ford
Modelo	1975

Para la medición de emisiones se utilizó un analizador de cuatro gases, con las siguientes características

CARACTERÍSTICAS DEL ANALIZADOR	
Gases detectados:	
Monóxido de Carbono	CO
Dióxido de Carbono	CO ₂
Oxígeno	O ₂
Partes por millón de Hidrocarburos	ppm HC
Marca	KAL
Elemento de medición	Sonda
Voltaje	12 volts

En cada una de las pruebas se tendrán dos recipientes con ambos combustibles, alimentando alternadamente al motor, de esta forma se trabajará el motor bajo las mismas condiciones de operación.

4.4. ECUACIONES BÁSICAS.

A partir de la información obtenida de las variables antes mencionados, se desprenden una serie de cálculos y de operaciones que conducen a la determinación de las eficiencias, a continuación se presentan dichas ecuaciones:

ø Potencia al freno.

Es la cantidad de trabajo por unidad de tiempo que el motor entrega en la flecha y se obtiene de la siguiente relación.

$$W_b = T_w \quad [Kw] \quad (4.1)$$

$$T = Fd \quad [KNm] \quad (4.2)$$

$$w = \frac{2\pi N}{60} \quad [1/seg.] \quad (4.3)$$

donde:

- W_b = potencia al freno (Kw)
- T = par torsional (KJ)
- ω = velocidad angular (1/seg.)
- F = fuerza al freno (KN)
- d = brazo de palanca (m)
- N = revoluciones por minuto (r.p.m.)

Sustituyendo 4.2 y 4.3 en 4.1, tenemos:

$$W_b = \frac{F d 2 \pi N}{60} \quad (KW) \quad (4.4)$$

En el motor que se tiene en el laboratorio, la longitud del brazo de palanca mide:

$$d = 0.65 \text{ m}$$

Para simplificar 4.4, es conveniente introducir la constante del freno "K", por lo tanto

$$K = \frac{1}{(d^2 \cdot \pi N / 60)} = 14\ 8952 \quad (4.5)$$

Sustituyendo 4.5 en 4.4, obtenemos que la potencia al freno W_b es igual a:

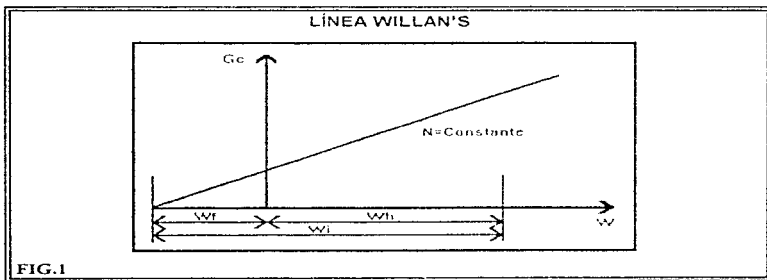
$$W_b = \frac{F \cdot N}{K} \quad (\text{KW}) \quad (4.6)$$

• Potencia perdida por fricción:

Es la potencia necesaria para vencer la fricción en los cojinetes, émbolos y otras partes mecánicas del motor y se determina mediante la construcción de la línea Willan's, que a continuación se muestra:

& LÍNEA WILLAN'S.

La línea Willan's se obtiene a partir de una gráfica que nos relaciona el gasto de combustible bajo diferentes condiciones de carga en un motor, manteniendo constante la velocidad; al deducir dicha línea podremos obtener la potencia perdida por fricción y la potencia interna del motor



• Potencia Indicada del motor.

La potencia indicada del motor (W_i) es la producción de trabajo por unidad de tiempo desarrollado sobre los pistones del motor en la cámara de combustión. Dicha potencia se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$W_i = W_b + [W_f] \quad (\text{watts}) \quad (4.7)$$

& Gasto de combustible.

Es el consumo por unidad de tiempo de combustible que requiere el motor en operación y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$G_c = \frac{V \cdot \rho}{t} \quad (\text{Kg./seg.}) \quad (4.8)$$

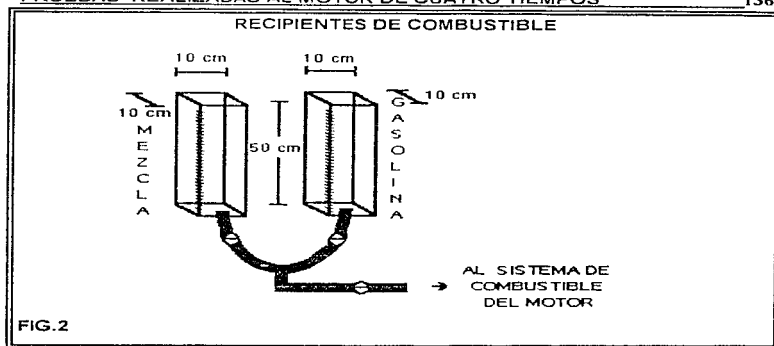
Para ello debemos conocer los siguientes parámetros:

V : Volumen consumido (dm³)
ρ : Densidad del combustible (Kg./dm³)
t : Tiempo (seg.)

pgasolina = 850.0 [Kg./m³]
petanol = 810.0* [Kg./m³]
pmezcla = 850.0 (%gas) + 810.0 (%alc) [Kg./m³]

Para obtener el volumen, debemos considerar las dimensiones del recipiente, en el laboratorio el recipiente es de la siguiente forma:

* Bibl. 18



donde la distancia $L = 0.1 \text{ m}$
 por otro lado la altura h , es variable dependiendo de la cantidad de combustible a la que se le quiera medir el tiempo de consumo.

& Consumo específico de combustible

Es un parámetro que muestra con cuanta eficiencia un motor convierte el combustible en trabajo, dicho consumo se determina por la siguiente ecuación:

$$CEC = \frac{G_c}{W_b} \quad (\text{J/Kg}) \quad (4.9)$$

o Energía suministrada.

Es la energía entregada al motor a través del consumo del combustible por unidad de tiempo, ésta se determina con los siguientes términos.

Es = Gc PCA	(KJ/seg.) (KW)	(4.10)
Gc: gasto de combustible		(Kg./seg.)
PCA: poder calorífico alto de combustible		(KJ/Kg.)
PCA gasolina = 56000		(KJ/Kg.)
PCA etanol = 30613.93*		(KJ/Kg.)
PCA mezcla = 56000 (%gas) + 30613.93 (%eta)		(KJ/Kg.)

* Bibl. 18

✳ Eficiencia Mecánica del Motor.

Es la relación entre la potencia al freno y la potencia interna del motor:

$$\eta_{mec} = \frac{W_b}{W_i} \quad (\%) \quad (4.11)$$

✳ Eficiencia Interna del Motor.

Es la relación entre la potencia interna y la energía suministrada al motor.

$$\eta_{int} = \frac{W_i}{E_s} \quad (\%) \quad (4.12)$$

✳ Eficiencia Térmica o Total del Motor.

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

$$\eta_{ter} = \frac{W_b}{E_s} = \eta_{mec} \cdot \eta_{int} \quad (\%) \quad (4.13)$$

✳ Eficiencia del Ciclo Otto.

$$\eta_c = 1 - \frac{1}{r_c^{k-1}} \quad (\%) \quad (4.14)$$

donde: $k = 1.4$
 $r_c = 8.2$

PRUEBAS REALIZADAS AL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS

138

4.5. CONJUNTO DE PRUEBAS.

Se realizaron once pruebas en las que varía el porcentaje de alcohol entre 1 y 35% en el combustible alterno debido a que el motor presenta dificultad a la combustión, a partir de este porcentaje. A continuación se presenta una relación en la que se indica el número de pruebas que se realizaron y las características de cada una de ellas:

PRUEBAS REALIZADAS			
PRUEBA	COMB. ORDINARIO	COMB. ALTERNO	(%) ALCOHOL
1	NOVA	NOVA-ETANOL	1
2	MAGNA SIN	MAGNA SIN-ETANOL	1
3	MAGNA SIN	MAGNA SIN-ETANOL	5
4	MAGNA SIN	MAGNA SIN-ETANOL	10
5	MAGNA SIN	MAGNA SIN-ETANOL	9
6	MAGNA SIN	MAGNA SIN-ETANOL	10
7	MAGNA SIN	MAGNA SIN-ETANOL	20
8	MAGNA SIN	MAGNA SIN-ETANOL	30
9	MAGNA SIN	MAGNA SIN-ETANOL	31.5
10	MAGNA SIN	MAGNA SIN-ETANOL	35
11	MAGNA SIN	MAGNA SIN-METANOL	25

4.5.1. PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES.

COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS			
PROPIEDADES		MAGNA SIN	ALCOHOL ETILICO
DENSIDAD	Kg./m ³	850	810
PODER CALORIFICO ALTO	KJ/Kg.	56000	30614

4.5.2. MANEJO DE LAS PRUEBAS.

Para obtener una tendencia general sobre el comportamiento de ambos combustibles, se utilizarán solamente 6 pruebas, debido a que algunas de éstas se realizaron con un distinto tipo de combustible alternativo y otras son repetidas. Por lo tanto se utilizarán las pruebas en las que se haya utilizado como combustible alternativo magna sin-etanol y por otra parte no se deben utilizar dos pruebas con el mismo porcentaje de alcohol. Es decir, se utilizarán las pruebas siguientes:

1ª prueba	2ª prueba	3ª prueba	4ª prueba	5ª prueba	6ª prueba
No.2	No.3	No.6	No.7	No.8	No.10

4.5.3. COMENTARIOS DE LAS PRUEBAS.

En cada una de las pruebas se anexará un breve comentario sobre las anomalías y observaciones pertinentes ocurridas en el desarrollo de la prueba; además se hará hincapié en la evolución de la investigación, de tal forma que se pueda encontrar el intervalo de operación óptima del combustible alternativo (en cuanto a las eficiencias, emisiones y relación gasto-potencia) al incrementar el porcentaje de alcohol etílico en la mezcla, de igual forma al presentar el resultado de cada una de las pruebas se indicará la diferencia en costos entre los dos combustibles.

4.6. PRESENTACIÓN DE LAS PRUEBAS.

En esta sección se presenta el desarrollo y los resultados obtenidos en cada una de las seis pruebas antes seleccionadas. Además se muestra una síntesis de las pruebas, mostrando el comportamiento de cada uno de los aspectos analizados conforme se incrementa el porcentaje de alcohol en el combustible alternativo, para finalmente observar el intervalo óptimo de funcionamiento por parte de este combustible.

PRUEBAS REALIZADAS AL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS

140

4.6.1. PRIMERA PRUEBA SELECCIONADA.

En esta prueba se comparan las eficiencias, las emisiones contaminantes y la relación consumo-potencia entre el combustible ordinario y el combustible alterno (magna sin-etanol al 1%) Cálculos en el Apéndice B.

INFORMACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES .

PROPIEDADES		COMB. ORDINARIO	COMB. ALTERNO
% ALCOHOL ETÍLICO	%	0.00	1.0
DENSIDAD	Kg./m3	850	849.6
PODER CALORÍFICO ALTO	KJ/Kg.	56000	55746.14

ESPECIFICAR CONDICIONES DE TRABAJO.

Velocidad Angular	2400	Revoluciones por Minuto
Carga Aplicada al Freno	3.9,6.1,8.1,10 y 12	Kilogramos

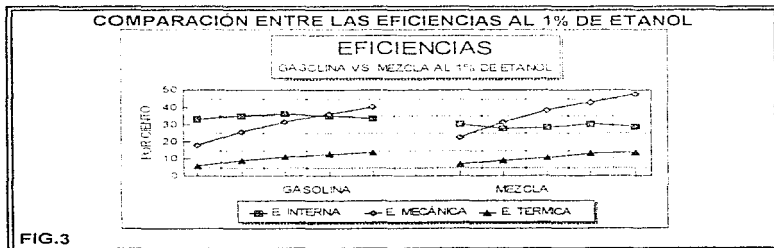
TABLAS DE RESULTADOS.

EFICIENCIAS Y RELACIÓN GASTO VS. POTENCIA (MAGNA SIN-ETANOL 1%)							
COMBUS.	CARGA	VEL.ANG.	GASTO (Kg/S)	POTENCIA (WATTS)	EFIC. INT. (%)	EFIC.MEC. (%)	EFIC.TER. (%)
MAGNA SIN	3.9	2400	.001868	6250.1	33.1	18.0	6.0
	6.1	2400	.001932	9775.8	35.3	25.6	9.0
	8.1	2400	.002048	12981.0	36.1	31.3	11.3
	10	2400	.002267	16025.9	35.0	35.0	12.6
	12	2400	.002537	19231.1	33.5	40.3	13.5
MAGNA SIN ETANOL AL 1%	3.9	2400	.001618	6250.1	30.4	22.7	6.9
	6.1	2400	.001999	9775.8	27.8	31.5	8.8
	8.1	2400	.002151	12981.0	28.5	37.9	10.8
	10	2400	.002207	16025.9	30.3	43.0	13.0
	12	2400	.002499	19231.1	29.0	47.5	13.8

EMISIONES CONTAMINANTES. (MAGNA SIN-ETANOL, AL 1%)						
COMBUS.	CARGA (Kg.)	VEL.ANG (R.P.M.)	%CO	%CO ₂	%O ₂	ppm HC
MAGNA	3.9	2400	0.22	14.5	6.6	2.2
	6.1	2400	0.23	14.0	2.4	-17
	8.1	2400	0.20	13.5	2.5	-14
SIN	10	2400	0.21	13.6	2.4	90
	12	2400	0.21	13.8	2.2	82
	3.9	2400	0.22	14.2	9.6	-13
MAGNA	6.1	2400	0.24	14.0	2.6	-3
SIN	8.1	2400	0.24	13.8	2.3	-21
ETANOL	10	2400	0.20	13.6	2.5	92
AL 1%	12	2400	0.21	13.7	2.2	77

GRÁFICAS.

A continuación se muestran los mismos resultados antes registrados, graficándolos para poder observar su comportamiento comparativo entre ambos combustibles. Las eficiencias se muestran en una sola gráfica, al igual que la relación consumo-potencia pero las gráficas de emisiones contaminantes se muestran por separado.



RELACION COMPARATIVA DE GASTO VS. POTENCIA

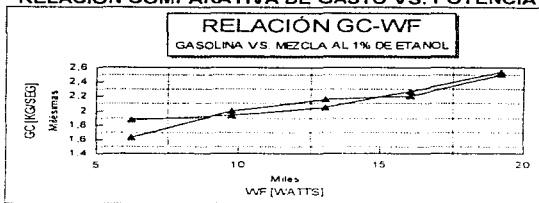


FIG.4

EMISIONES
% DE MONOXIDO DE CARBONO

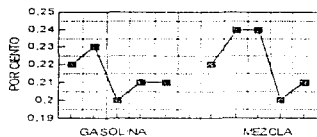


FIG.5

EMISIONES
% DE BIXIDO DE CARBONO

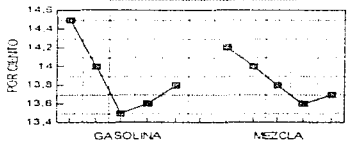


FIG.6

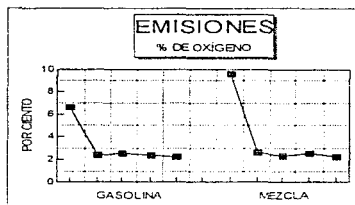


FIG.7

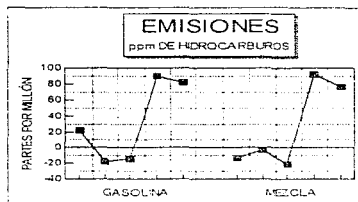


FIG.8

REVISIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Aspecto	Porciento%	combustible	Aspecto	Porciento%	combustible
GASTO	1.7	ordinario	% CO	3	alterno
η Int	18	ordinario	% CO ₂	0.1	ordinario
η Mec	20	alterno	% O ₂	19	alterno
η Ter	1.7	alterno	ppm HC	23	ordinario

La columna de combustible, indica que combustible tiene una medición mayor con respecto al otro.

En esta prueba se han registrado pequeñas, pero visibles variaciones en todos los aspectos analizados, cabe señalar que las emisiones de partes por

PRUEBAS REALIZADAS AL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS

144

millón de hidrocarburos son las que presentan una mayor variación por parte del combustible ordinario con respecto al alterno, algunos aspectos importantes que resultan favorables al combustible alterno son la eficiencia mecánica y las emisiones de oxígeno, mientras que el aspecto que resulta favorable para el combustible ordinario es la eficiencia interna; con respecto al resto de los aspectos analizados resultan muy parecidos, ya que tienen pequeñas variaciones entre sí. Durante el desarrollo de esta prueba el combustible alterno tuvo un costo de 3.4% mayor que el combustible ordinario.

4.6.2. SEGUNDA PRUEBA SELECCIONADA.

En esta prueba se comparan las eficiencias, las emisiones contaminantes y la relación consumo-potencia entre el combustible ordinario y el combustible alterno (magna sin-etanol al 5%). Cálculos en el apéndice B.

INFORMACIÓN DE LA MEZCLA.

PROPIEDADES		COMB. ORDINARIO	COMB. ALTERNO
% ALCOHOL ETILICO	%	0.00	5.0
DENSIDAD	Kg./m ³	850	848.012
PODER CALORIFICO ALTO	J/gr.	56000	53461.4

ESPECIFICAR CONDICIONES DE TRABAJO.

Velocidad Angular	2450	Revoluciones por Minuto
Carga Aplicada al Freno	5,7,9,11.5 y 13.5	Kilogramos

PRUEBAS REALIZADAS AL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS
TABLAS DE RESULTADOS.

145

EFICIENCIAS Y RELACIÓN GASTO VS. POTENCIA (MAGNA SIN-ETANOL 5%)							
COMBUS.	CARGA	VEL.ANG.	GASTO (Kg./S)	POTENCIA (WATTS)	EFIC. INT. (%)	EFIC.MEC. (%)	EFIC.TÉR. (%)
MAGNA SIN	5.0	2450	001848	8179.9	26.1	30.2	7.9
	7.0	2450	002048	11451.8	26.4	37.7	10.0
	9.0	2450	002237	14723.8	26.8	43.8	11.7
	11.5	2450	002537	18813.7	26.5	49.9	13.2
	13.5	2450	002833	22085.7	25.8	53.9	13.9
MAGNA SIN ETANOL AL 5%	5.0	2450	001824	8179.9	24.1	34	8.2
	7.0	2450	001949	11451.8	25.6	41.9	10.7
	9.0	2450	002232	14723.8	25.0	48.1	12.0
	11.5	2450	002423	18813.7	26.2	54.2	14.2
	13.5	2450	002827	22085.7	24.5	58.2	14.3

EMISIONES CONTAMINANTES. (MAGNA SIN-ETANOL, AL 5%)						
COMBUS.	CARGA (Kg.)	VEL.ANG (R.P.M.)	%CO	%CO ₂	%O ₂	ppm HC
MAGNA SIN	5.0	2450	0.21	15.6	2.0	70
	7.0	2450	0.24	15.2	2.0	65
	9.0	2450	0.26	15.1	2.0	63
	11.5	2450	0.25	14.9	3.8	34
	13.5	2450	0.29	15.1	1.8	34
MAGNA SIN ETANOL AL 5%	5.0	2450	0.22	15.6	2.0	77
	7.0	2450	0.22	15.1	2.4	64
	9.0	2450	0.25	14.9	2.1	57
	11.5	2450	0.24	14.6	2.4	33
	13.5	2450	0.28	14.9	2.1	14

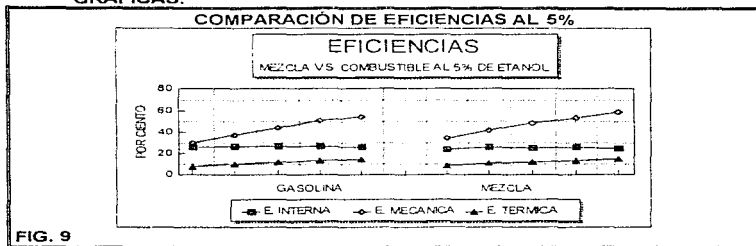


FIG. 9

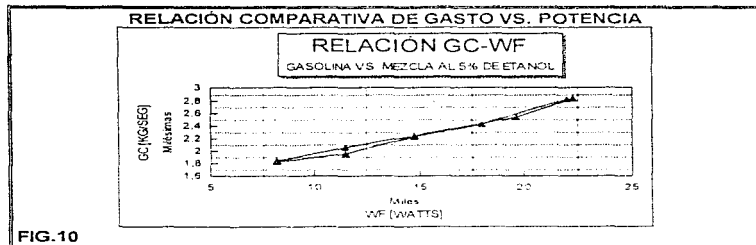


FIG.10

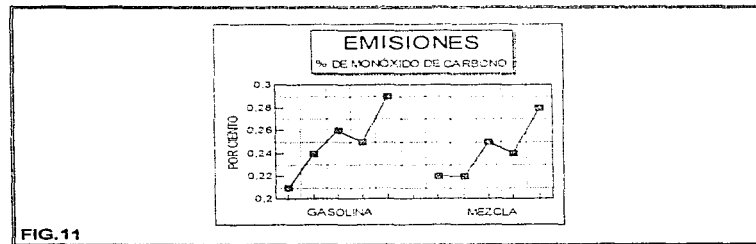


FIG.11

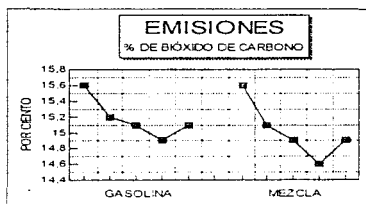


FIG.12

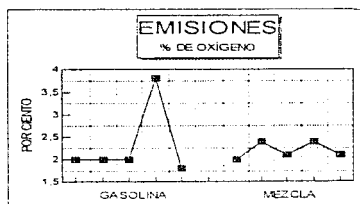


FIG.13

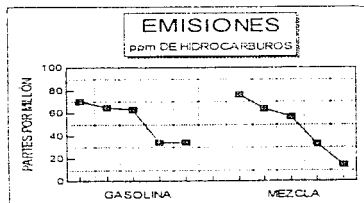


FIG.14

REVISIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Aspecto	Porcentaje	combustible	Aspecto	Porcentaje	combustible
GASTO	2.2	ordinario	% CO	3.3	ordinario
η Int	4.9	ordinario	% CO ₂	1	ordinario
η Mec	9.6	alterno	% O ₂	5.4	ordinario
η Ter	4.7	alterno	ppm HC	8.5	ordinario

La columna de combustible, indica que combustible tiene una medición mayor con respecto al otro.

Al aumentar el porcentaje de alcohol etílico a 5% en el combustible alterno, se comienzan a percibir algunas variaciones interesantes en el comparativo de las gráficas antes mostradas. nuevamente los aspectos más relevantes para el combustible alterno son las emisiones de hidrocarburos y en la de eficiencia interna, en el primer caso, en las mediciones del combustible ordinario comienzan a elevarse las emisiones, mientras que en el segundo caso la eficiencia mecánica sigue siendo mayor en el combustible alterno aunque comienza a disminuir con respecto a la prueba anterior. Uno de los aspectos que resultan interesantes en favor del combustible ordinario es el porcentaje de oxígeno ya que es en la única de las pruebas donde el combustible ordinario supera al alterno, sin embargo al observar la gráfica de emisiones de hidrocarburos se observa que solamente en uno de los eventos se obtuvo una gran variación lo cual modifica completamente el resultado de la prueba. Con respecto al costo del combustible alterno se ha incrementado un 17% sobre el combustible ordinario.

4.6.3. TERCERA PRUEBA SELECCIONADA.

En esta prueba se comparan las eficiencias las emisiones contaminantes y la relación consumo-potencia entre el combustible ordinario y el combustible alterno (magna sin-etanol al 10%). Cálculos en el apéndice B.

INFORMACIÓN DE LA MEZCLA.

PROPIEDADES		COMB. ORDINARIO	COMB. ALTERNO
% ALCOHOL ETÍLICO	%	0.00	10.0
DENSIDAD	Kg./m ³	850	846
PODER CALORÍFICO ALTO	J/gr.	56000	53461.4

PRUEBAS REALIZADAS AL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS

149

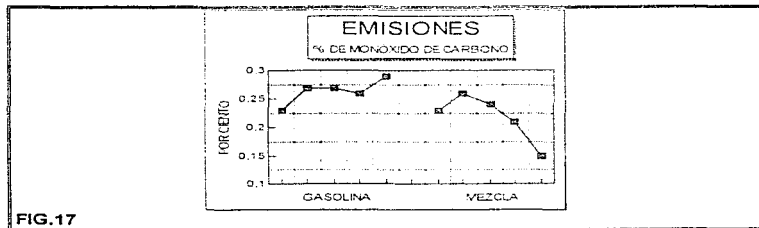
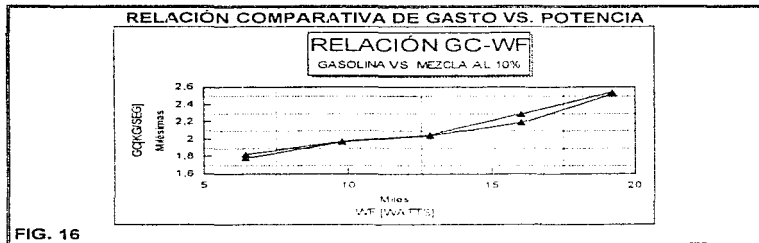
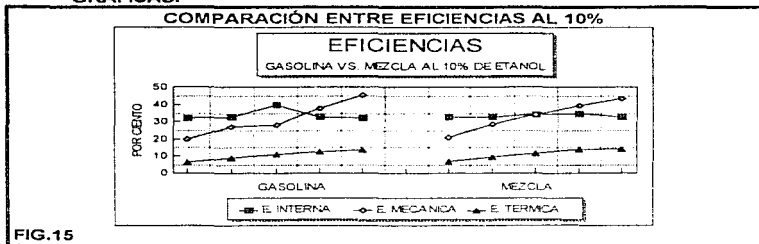
ESPECIFICAR CONDICIONES DE TRABAJO.

Velocidad Angular	2400	Revoluciones por Minuto
Carga Aplicada al Freno	4,6,1,8,10 y 12	Kilogramos

TABLAS DE RESULTADOS.

EFICIENCIAS Y RELACION GASTO VS POTENCIA (MAGNA SIN-ETANOL 10%)							
COMBUS.	CARGA (Kg.)	VEL. ANG. (R.P.M.)	GASTO (Kg./S)	POTENCIA (WATTS)	EFIC. INT. (%)	EFIC. MEC. (%)	EFIC. TER. (%)
MAGNA SIN	4.0	2400	001828	6410.3	32.0	19.6	6.3
	6.1	2400	001977	9775.8	32.6	27.0	8.8
	8.0	2400	002048	12820.7	39.7	28.1	11.2
	10.0	2400	002297	16025.9	32.9	37.8	12.4
	12.0	2400	002537	19231.1	32.1	45.4	13.5
MAGNA SIN ETANOL AL 10%	4.0	2400	001781	6410.3	32.7	20.6	6.7
	6.1	2400	001967	9775.8	32.8	28.3	9.3
	8.0	2400	002039	12820.7	34.5	34.1	11.8
	10.0	2400	002197	16025.9	34.7	39.3	13.6
	12.0	2400	002525	19231.1	32.6	43.7	14.2

EMISIONES CONTAMINANTES. (MAGNA SIN-ETANOL, AL 10%)							
COMBUS.	CARGA (Kg.)	VEL. ANG. (R.P.M.)	%CO	%CO ₂	%O ₂	ppm HC	
MAGNA SIN	4.0	2400	0.23	14.5	1.8	61	
	6.1	2400	0.27	14.0	2.1	25	
	8.0	2400	0.27	14.0	2.0	40	
	10.0	2400	0.26	13.8	1.8	118	
	12.0	2400	0.29	13.9	1.6	115	
MAGNA SIN ETANOL AL 10%	4.0	2400	0.23	14.4	1.9	50	
	6.1	2400	0.26	13.5	2.7	20	
	8.0	2400	0.24	14.0	2.0	133	
	10.0	2400	0.21	13.5	2.5	112	
	12.0	2400	0.15	13.5	2.1	105	



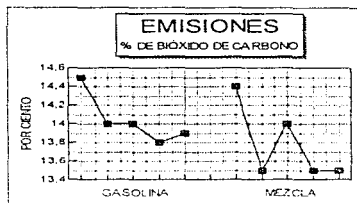


FIG.18

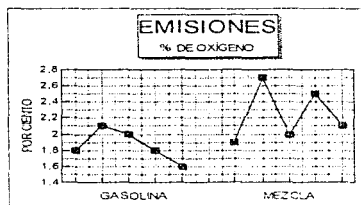


FIG.19

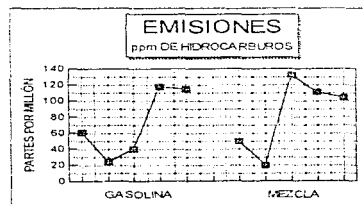


FIG.20

REVISIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Aspecto	Porcentaje	combustible	Aspecto	Porcentaje	combustible
GASTO	1.7	ordinario	% CO	21.1	ordinario
η Int	1.2	ordinario	% CO ₂	1.9	ordinario
η Mec	5.1	alterno	% O ₂	20.4	alterno
η Ter	6.5	alterno	ppm HC	17	alterno

La columna de combustible, indica que combustible tiene una medición mayor con respecto al otro.

En esta prueba, al incrementar el porcentaje de etanol a un 10% en el combustible alterno, se aprecia cierta semejanza en la medición de eficiencias (interna, mecánica y térmica), mientras que en la medición de emisiones al ambiente comienzan a apreciarse algunas diferencias, por ejemplo en las emisiones de oxígeno y monóxido de carbono corresponde una mejoría al combustible alterno (aproximadamente del 20%) en ambos casos. Sin embargo, con respecto a la emisión de hidrocarburos el combustible alterno tiene una emisión mayor que la del combustible ordinario. En el resto de los aspectos no hay variación que pudiera considerarse importante entre ambos combustibles. Finalmente el costo del combustible alterno tuvo un incremento del 34% con respecto al ordinario.

4.6.4. CUARTA PRUEBA SELECCIONADA.

En esta prueba se comparan las eficiencias, las emisiones contaminantes y la relación consumo-potencia entre el combustible ordinario y el combustible alterno (magna sin-etanol al 20%). Cálculos en el apéndice B

INFORMACIÓN DE LA MEZCLA.

PROPIEDADES		COMB. ORDINARIO	COMB. ALTERNO
% ALCOHOL ETÍLICO	%	0.00	20.0
DENSIDAD	Kg./m ³	850	842
PODER CALORÍFICO ALTO	J/gr.	56000	50922.8

**PRUEBAS REALIZADAS AL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS
ESPECIFICAR CONDICIONES DE TRABAJO.**

153

Velocidad Angular	2400	Revoluciones por Minuto
Carga Aplicada al Freno	4.5,7,8.9,10.8	Kilogramos

TABLAS DE RESULTADOS.

EFICIENCIAS Y RELACION GASTO VS POTENCIA (MAGNA SIN-ETANOL 20%)							
COMBUS.	CARGA (Kg.)	VEL. ANG. (R.P.M.)	GASTO (Kg./S)	POTENCIA (WATTS)	EFIC. INT. (%)	EFIC. MEC. (%)	EFIC. TER. (%)
MAGNA	4.5	2400	001889	7211.6	30.4	22.4	6.8
	7.0	2400	002000	11218.1	32.3	31.0	10.0
	8.9	2400	002152	14262.0	32.5	36.4	11.8
SIN	10.8	2400	002429	17308.0	31.1	40.6	12.7
MAGNA	4.5	2400	001914	7211.6	65.6	11.3	7.4
SIN	7.0	2400	002406	11218.1	55.4	16.5	9.1
ETANOL	8.9	2400	002159	14262.0	64.5	20.1	13.0
AL 5%	10.8	2400	002339	17308.0	62.1	23.4	14.5

EMISIONES CONTAMINANTES. (MAGNA SIN-ETANOL AL 20%)						
COMBUS.	CARGA (Kg.)	VEL. ANG (R.P.M.)	%CO	%CO ₂	%O ₂	ppm HC
MAGNA	4.5	2400	0.19	14.8	1.8	59
	7.0	2400	0.24	14.2	2.2	53
	8.9	2400	0.25	14.0	2.4	55
SIN	10.8	2400	0.27	13.6	2.6	45
MAGNA	4.5	2400	0.20	13.2	3.6	59
SIN	7.0	2400	0.23	12.9	4.0	50
ETANOL	8.9	2400	0.26	13.7	2.8	47
AL 20%	10.8	2400	0.26	12.5	4.1	28

GRÁFICAS.

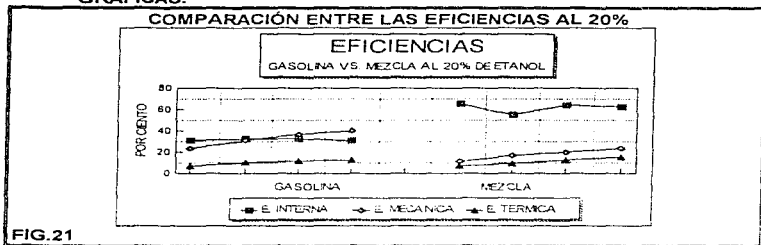


FIG.21

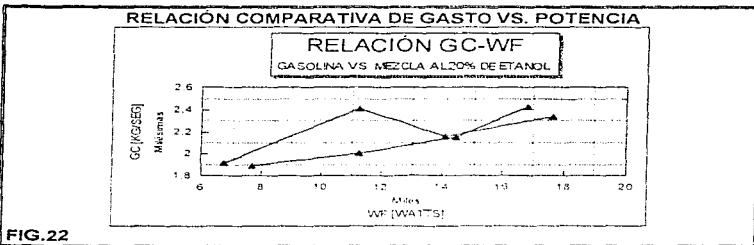


FIG.22

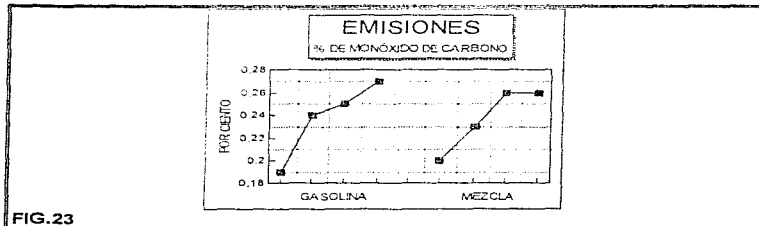


FIG.23

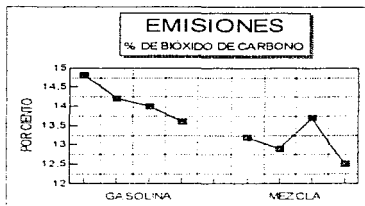


FIG.24

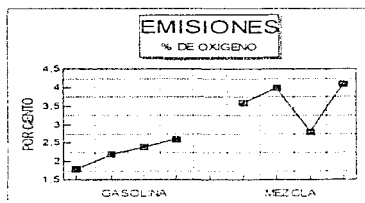


FIG.25

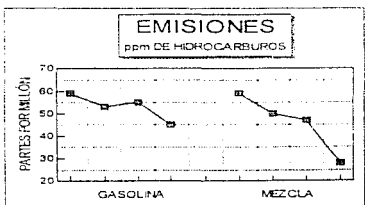


FIG.26

REVISIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Aspecto	Porcentaje	combustible	Aspecto	Porcentaje	combustible
GASTO	4.1	alterno	% CO	---	---
η Int	96	alterno	% CO ₂	8.2	ordinario
η Mec	83.3	ordinario	% O ₂	61.1	alterno
η Ter	6.5	alterno	ppm HC	15.2	ordinario

La columna de combustible, indica que combustible tiene una medición mayor con respecto al otro.

Al incrementar el porcentaje de etanol a un 20% en el combustible alterno, la relación de gasto contra potencia en el combustible alterno empieza a incrementarse en forma considerable con respecto a las pruebas anteriores, ya que hasta antes se había mantenido alrededor del 2%. En el resto de los aspectos se aprecian grandes diferencias a excepción de las emisiones de monóxido de carbono; resaltan los datos de eficiencia interna y mecánica, ya que en el primer caso la diferencia es de casi 100% a favor del combustible alterno, mientras que en el segundo caso hay un incremento aproximado de 80% a favor del combustible ordinario. En cuanto a las emisiones al ambiente, sólo hay un aspecto que tiene una gran diferencia, ya que se tiene una variación aproximada de 60% de emisiones de oxígeno a favor del combustible alterno.

4.6.5. QUINTA PRUEBA SELECCIONADA.

En esta prueba se comparan las eficiencias, las emisiones contaminantes y la relación consumo-potencia entre el combustible ordinario y el combustible alterno (magna sin-etanol al 30%). Cálculos en el apéndice B.

INFORMACIÓN DE LA MEZCLA.

PROPIEDADES		COMB. ORDINARIO	COMB. ALTERNO
% ALCOHOL ETILICO	%	0.00	30.0
DENSIDAD	Kg./m ³	850	838
PODER CALORIFICO ALTO	J/gr.	56000	48384.2

PRUEBAS REALIZADAS AL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS

157

ESPECIFICAR CONDICIONES DE TRABAJO.

Velocidad Angular	2400	Revoluciones por Minuto
Carga Aplicada al Freno	4,6,7,8,8,10,8 Y 13	Kilogramos

TABLAS DE RESULTADOS.

EFICIENCIAS Y RELACION GASTO VS POTENCIA (MAGNA SIN-ETANOL 30%)							
COMBUS.	CARGA (Kg.)	VEL.ANG. (R.P.M.)	GASTO (Kg./S)	POTENCIA (WATTS)	EFIC. INT. (%)	EFIC.MEC. (%)	EFIC.TER. (%)
MAGNA SIN	4.6	2400	.001809	7371.9	32.5	22.4	7.3
	7.0	2400	.002152	11218.1	30.5	30.5	9.3
	8.8	2400	.002297	14102.8	30.8	35.5	11.0
	10.8	2400	.002394	17308.0	32.0	40.3	12.9
	13.0	2400	.002615	20833.7	31.7	44.9	14.2
MAGNA SIN ETANOL AL 30%	4.6	2400	.001822	7371.9	21.0	39.7	8.4
	7.0	2400	.002465	11218.1	16.5	50.0	9.4
	8.8	2400	.002501	14102.8	20.9	55.7	11.6
	10.8	2400	.002890	17308.0	20.4	60.7	12.4
	13.0	2400	.003286	20833.7	20.1	65.0	13.1

EMISIONES CONTAMINANTES. (MAGNA SIN-ETANOL, AL 30%)						
COMBUS.	CARGA (Kg.)	VEL.ANG (R.P.M.)	%CO	%CO ₂	%O ₂	ppm HC
MAGNA SIN	4.6	2400	0.17	14.5	2.1	47
	7.0	2400	0.20	14.0	2.5	40
	8.8	2400	0.21	13.8	2.8	52
	10.8	2400	0.23	13.6	3.0	49
	13.0	2400	0.23	13.5	3.1	51
MAGNA SIN ETANOL AL 30%	4.6	2400	0.18	12.2	4.9	40
	7.0	2400	0.20	11.8	5.3	35
	8.8	2400	0.22	11.8	5.2	35
	10.8	2400	0.22	11.6	5.3	49
	13.0	2400	0.22	12.0	5.0	25

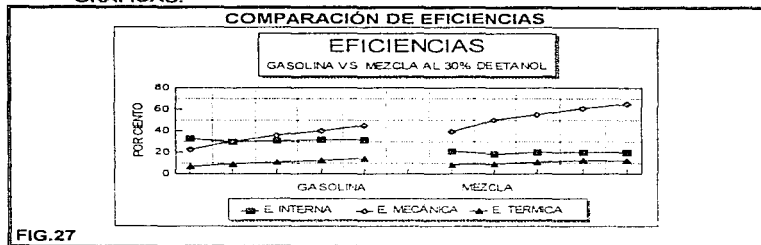


FIG. 27

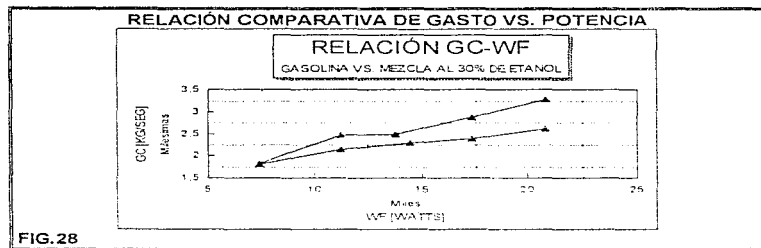


FIG. 28

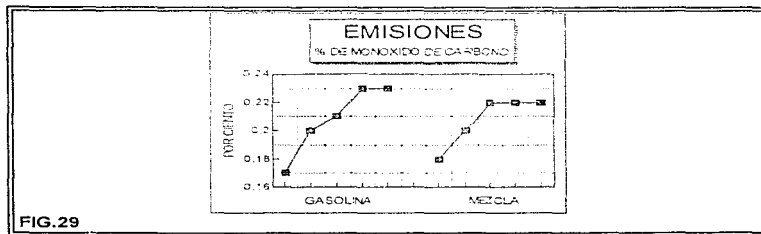


FIG. 29

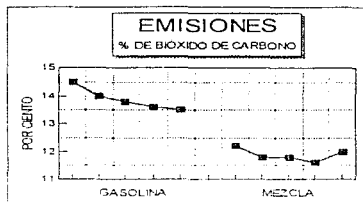


FIG.30

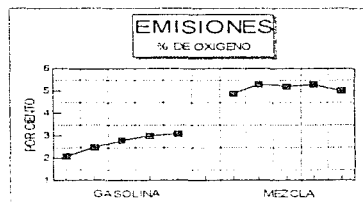


FIG.31

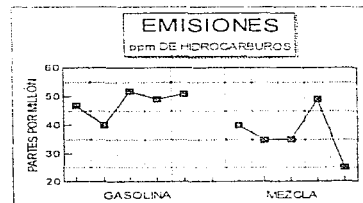


FIG.32

REVISIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Aspecto	Porcentaje	combustible	Aspecto	Porcentaje	combustible
GASTO	15.1	alterno	% CO	---	---
η Int	55.6	ordinario	% CO ₂	16.9	ordinario
η Mec	56.2	alterno	% O ₂	90.4	alterno
η Ter	0.4	alterno	ppm HC	29.9	ordinario

La columna de combustible, indica que combustible tiene una medición mayor con respecto al otro.

Al incrementar el porcentaje de etanol a un 30%, se aprecia una gran variación en la mayoría de los aspectos. a excepción de la eficiencia térmica y las emisiones de monóxido de carbono, en la medición de gasto contra potencia el combustible alterno ha incrementado considerablemente con respecto al ordinario, un aspecto que resulta relevante es la eficiencia mecánica no sólo por tener un incremento del 50% en favor del c. alterno sino porque en la prueba anterior este aspecto era considerablemente mayor para el c. ordinario. En cuanto a las emisiones al ambiente, el combustible alterno presenta grandes beneficios, por una parte la emisión de oxígeno es casi del 100% a su favor, mientras que en las emisiones de hidrocarburos y bióxido de carbono resulta inferior que en el combustible ordinario. Aún con los beneficios mostrados por el combustible alterno, se tiene un incremento de 119% en el costo de éste.

4.6.6. SEXTA PRUEBA SELECCIONADA.

En esta prueba se comparan las eficiencias, las emisiones contaminantes y la relación consumo-potencia entre el combustible ordinario y el combustible alterno (magna sin-etanol al 35%) Cálculos en el apéndice B.

INFORMACIÓN DE LA MEZCLA.

PROPIEDADES		COMB. ORDINARIO	COMB. ALTERNO
% ALCOHOL ETÍLICO	%	0.00	35.0
DENSIDAD	Kg./m ³	850	836
PODER CALORIFICO ALTO	J/gr.	56000	47114.9

ESPECIFICAR CONDICIONES DE TRABAJO.

Velocidad Angular	2400	Revoluciones por Minuto
Carga Aplicada al Freno	4.5, 6.8 y 9.5	Kilogramos

TABLAS DE RESULTADOS.

EFICIENCIAS Y RELACION GASTO VS POTENCIA (MAGNA SIN-ETANOL 35%)

COMBUS.	CARGA (Kg.)	VEL.ANG. (R.P.M.)	GASTO (Kg./S)	POTENCIA (WATTS)	EFIC. INT. (%)	EFIC.MEC. (%)	EFIC.TER. (%)
MAGNA	4.5	2400	001868	7211.6	24.5	28.2	6.9
	6.8	2400	002073	10897.6	25.2	37.2	9.4
SIN	9.5	2400	002429	15224.6	24.7	45.3	11.2
MAGNASIN	4.5	2400	002533	7211.6	25.7	23.5	6.0
ETANOL	6.8	2400	002883	10897.6	25.3	31.7	8.0
AL 35%	9.5	2400	003215	15224.6	25.5	39.3	10.0

EMISIONES CONTAMINANTES. (MAGNA SIN-ETANOL, AL 35%)

COMBUS.	CARGA (Kg.)	VEL.ANG (R.P.M.)	%CO	%CO ₂	%O ₂	ppm HC
MAGNA	4.5	2400	0.23	16.4	1.7	10
	6.8	2400	0.26	15.9	1.9	9
SIN	9.5	2400	0.27	15.9	2.0	1
MAGNASIN	4.5	2400	0.26	12.5	5.9	33
ETANOL	6.8	2400	0.24	12.5	5.7	14
AL 35%	9.5	2400	0.22	12.7	5.5	-20

GRÁFICAS.

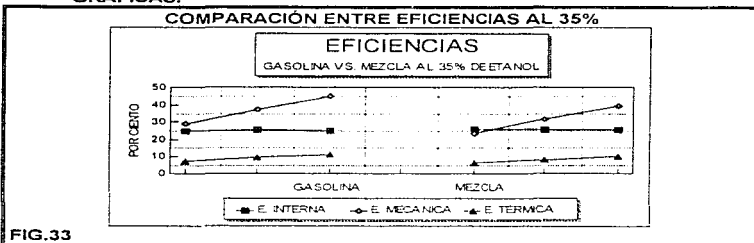


FIG.33

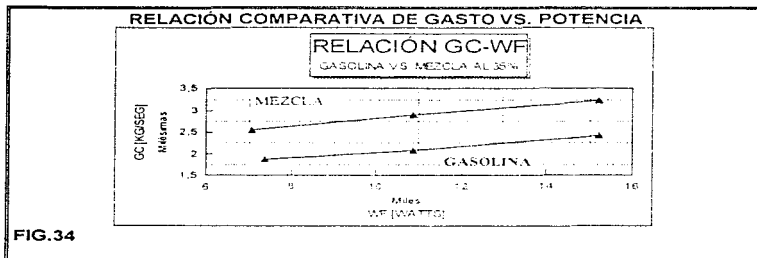


FIG.34

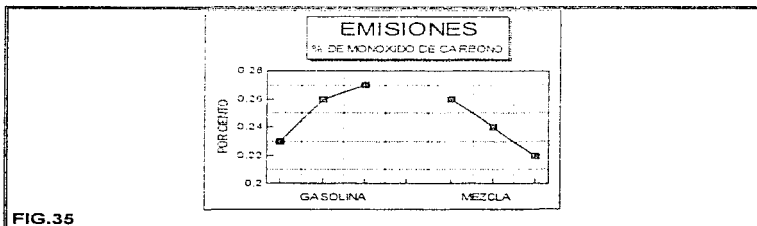


FIG.35

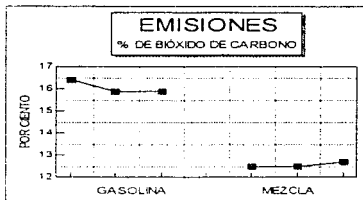


FIG.36

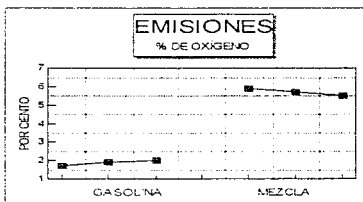


FIG.37

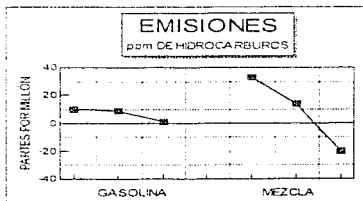


FIG.38

REVISIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Aspecto	Porcentaje	combustible	Aspecto	Porcentaje	combustible
GASTO	35.5	alterno	% CO	5.5	ordinario
η Int	2.8	alterno	% CO ₂	27.9	ordinario
η Mec	17.1	ordinario	% O ₂	205.4	alterno
η Ter	14.6	ordinario	ppm HC	35	alterno

La columna de combustible, indica que combustible tiene una medición mayor con respecto al otro.

Al incrementar el porcentaje de etanol a 35% en el combustible alterno y comparar su comportamiento con el combustible ordinario, se pueden observar variaciones importantes en algunos de los aspectos analizados, por ejemplo, en la relación gasto-potencia se aprecia claramente un incremento considerable del combustible alterno, en cuanto a las eficiencias la interna resulta muy similar, pero en la eficiencia mecánica y térmica se aprecia un incremento importante por parte del combustible ordinario. Con respecto a las emisiones al ambiente, el combustible alterno muestra una reducción en la emisión de bióxido, monóxido de carbono e hidrocarburos, mientras que en la emisión de oxígeno hay una gran diferencia con respecto al ordinario. Es importante hacer notar que únicamente se pudieron realizar tres eventos con cada uno de los combustibles analizados, debido a que el funcionamiento con el combustible alterno exigía un incremento en la velocidad angular del motor cuando se aumentaba la carga aplicada a éste. Otro aspecto interesante en el desarrollo de esta prueba es el tiempo de reposo durante el cambio de combustible, ya que cuando se hace el cambio de combustible el motor muestra muchas alteraciones en cuanto a la velocidad angular, es decir, al realizar el cambio del combustible alterno al ordinario aumenta la velocidad angular y en el cambio de ordinario al alterno se percibe una reducción de ésta.

4.7. AGRUPACIÓN DE PRUEBAS.

Después de mostrar el resultado obtenido en algunas de las pruebas realizadas, resulta fundamental poder representar en una sola gráfica o en una serie de ellas la tendencia en el comportamiento comparativo de ambos combustibles en cada uno de los aspectos analizados, de esta forma se puede apreciar como se van modificando las eficiencias, emisiones y relación consumo-potencia conforme se incrementa el porcentaje de alcohol etílico en la mezcla, por esta razón se muestran las siguientes gráficas para apreciar dicho comportamiento

4.7.1. METODOLOGÍA

Para poder realizar una agrupación de los datos y poder representarlos en gráficas, se tiene que mantener constante una de las variables (como lo es la carga), de esta forma se obtienen los datos de eficiencias y emisiones a una misma carga y a una misma velocidad angular, y al variar el porcentaje de alcohol en el combustible alterno, se puede obtener el comportamiento del motor en los distintos aspectos.

4.7.2. ALCANCES.

Para establecer un análisis y conclusión entre ambos combustibles, debemos visualizar detenidamente la evolución de éstos en cada uno de las gráficas mostradas, para el combustible alterno es muy importante encontrar un intervalo de operación, en el que se tengan emisiones inferiores con respecto al combustible ordinario; así como un incremento en las eficiencias bajo las mismas condiciones de operación, además de una relación aceptable entre el gasto de combustible y la potencia producida por el motor

4.7.3. TABLAS Y GRÁFICAS.

A continuación se muestran las tablas y gráficas en las que se puede distinguir una tendencia generalizada del comportamiento del motor en los

distintos aspectos analizados, al incrementar el porcentaje de alcohol en el combustible alterno.

COMPARATIVO DE EFICIENCIA INTERNA			
% ETANOL	CARGA	EFICIENCIA INTERNA	
		GASOLINA	MEZCLA
1	10	35,02	30,27
5	9	26,83	25,06
10	10	32,94	34,7
20	10,5	30,73	62,39
30	10,9	31,99	20,38
35	9,5	24,72	25,55

EFICIENCIA INTERNA VS. PORCENTAJE DE ALCOHOL

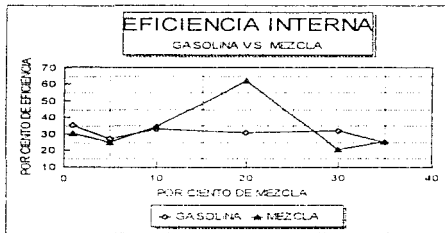


FIG.39

COMPARATIVO DE EFICIENCIA MECÁNICA			
%ETANOL	CARGA	EFICIENCIA MECÁNICA	
		GASOLINA	MEZCLA
1	10	36,06	43,03
5	9	43,8	48,1
10	10	37,81	39,31
20	10,5	40,27	23,72
30	10,8	40,36	60,73
35	9,5	45,29	39,34

EFICIENCIA MECÁNICA VS. PORCENTAJE DE ALCOHOL

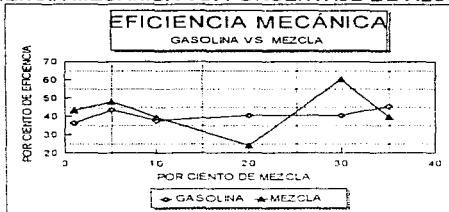


FIG.40

COMPARATIVO DE EFICIENCIA TÉRMICA		EFICIENCIA TÉRMICA	
%ETANOL	CARGA	GASOLINA	MEZCLA
1	10	12,63	13,03
5	9	11,75	12,05
10	10	12,46	13,64
20	10,5	12,37	14,8
30	10,8	12,91	12,38
35	9,5	11,19	10,05

EFICIENCIA TÉRMICA VS. PORCENTAJE DE ALCOHOL

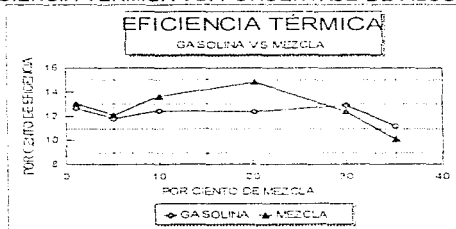
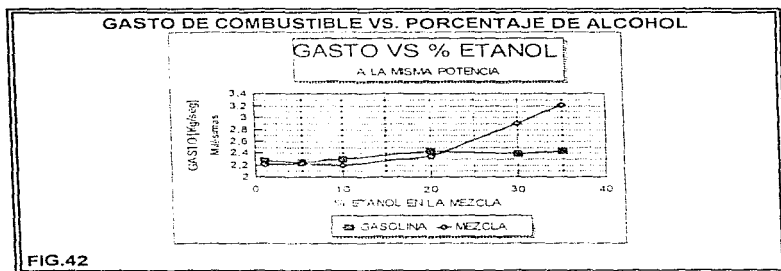


FIG.41

COMPARATIVO DE GASTO VS % ETANOL a la misma potencia			
% ETANOL	CARGA	GASTO (Kg/seg)	
		GASOLINA	MEZCLA
1	10	0.002267	0.002207
5	9	0.002237	0.002197
10	10	0.002297	0.002197
20	10,5	0.002429	0.002339
30	10.8	0.002394	0.002890
35	9.5	0.002429	0.003215



COMPARATIVO DE EMISIONES DE CO			
% ETANOL	CARGA	% DE MONÓXIDO DE C	
		GASOLINA	MEZCLA
1	10	0.21	0.2
5	9	0.26	0.25
10	10	0.26	0.21
20	10,5	0.27	0.26
30	10.8	0.23	0.22
35	9.5	0.27	0.22

EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO VS. PORCENTAJE DE ALCOHOL

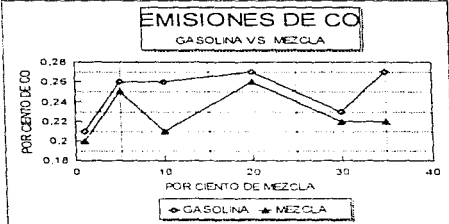


FIG.43

% ETANOL	CARGA	% DE BIÓXIDO DE C.	
		GASOLINA	MEZCLA
1	10	13.6	13.6
5	9	15.1	14.9
10	10	13.8	13.5
20	10.5	13.6	12.5
30	10.8	13.6	11.6
35	9.5	15.9	12.7

EMISIONES DE BIÓXIDO DE CARBONO VS. PORCENTAJE DE ALCOHOL

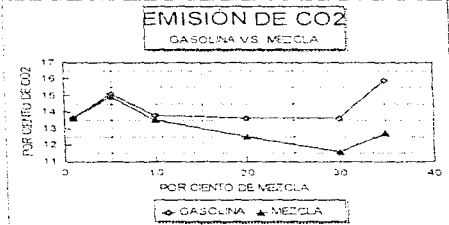


FIG.44

COMPARATIVO DE EMISIONES DE O ₂			
% ETANOL	CARGA	% DE OXIGENO	
		GASOLINA	MEZCLA
1	10	2,4	2,5
5	9	2	2,1
10	10	1,8	2,5
20	10,5	2,6	4,1
30	10,8	3	5,3
35	9,5	2	5,5

EMISIONES DE OXIGENO VS. PORCENTAJE DE ALCOHOL

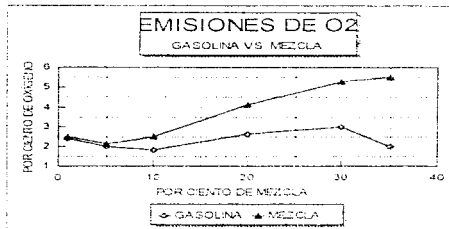


FIG. 45

COMPARATIVO DE EMISIONES DE HC			
% ETANOL	CARGA	ppm DE HIDROCARB	
		GASOLINA	MEZCLA
1	10	90	92
5	9	63	57
10	10	118	112
20	10,5	45	28
30	10,8	49	49
35	9,5	1	-20

EMISIONES DE HIDROCARBUROS VS. PORCENTAJE DE ALCOHOL

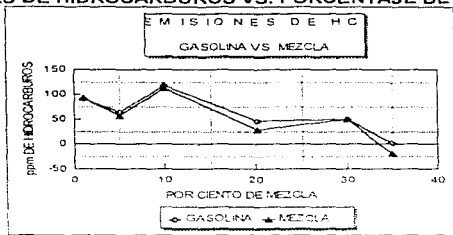


FIG.46

4.7.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Aspecto	Porcentaje	combustible	Aspecto	Porcentaje	combustible
GASTO	7.3	alterno	% CO	10.3	ordinario
η Int	8.9	alterno	% CO ₂	8.6	ordinario
η Mec	4.4	alterno	% O ₂	59.4	alterno
η Ter	3.6	alterno	ppm HC	15.1	ordinario

La columna de combustible, indica que combustible tiene una medición mayor con respecto al otro.

Como se puede observar en la comparación de eficiencia interna, el comportamiento del combustible alterno es menor que el que corresponde al combustible ordinario salvo en el caso del etanol al 20% donde se aprecia una diferencia muy grande.

Con respecto a la comparación de la eficiencia mecánica, se observa una mejor comportamiento del combustible alterno en la mayoría de las pruebas, curiosamente se aprecia una variación significativa en el comportamiento del combustible al 20% donde baja significativamente su rendimiento.

PRUEBAS REALIZADAS AL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS _____ 172

En la eficiencia térmica se observa un mayor rendimiento por parte del combustible alterno en las primeras pruebas realizadas, ya que conforme se incrementó el porcentaje de etanol en el combustible alterno, particularmente cuando sobre pasó el 30%, disminuyó esta eficiencia.

Aparte del interés por obtener un beneficio en cuanto eficiencias, es muy importante tener una menor emisión de gases contaminantes producto de la combustión.

En el caso de las emisiones de monóxido de carbono, se puede observar una clara mejoría en cuanto a la emisión de este tipo de contaminante por parte del combustible alterno en todas y cada una de las pruebas realizadas.

Con respecto a la emisión de dióxido de carbono se aprecia una mejoría significativa, ya que conforme aumenta el contenido de etanol en el combustible alterno también se observa la disminución en cuanto a este contaminante, se puede decir que existe una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de etanol y la emisión de dióxido de carbono

En la emisión de oxígeno es claramente superior el combustible alterno con respecto al combustible ordinario, se presenta la misma situación que con el dióxido de carbono, mientras más aumenta el porcentaje de etanol, la emisión de oxígeno también se incrementa.

Finalmente con respecto a la emisión de hidrocarburos, se presenta una gran similitud en ambos combustibles, en algunas pruebas se observa que el combustible alterno tiene una ligera mejoría en este aspecto.

4.8. CONCLUSIONES.

Al realizar las distintas pruebas y analizar los resultados obtenidos en esta investigación, se ha podido conocer el comportamiento general del combustible alternativo, compuesto por gasolina Magna Sin y cierto porcentaje de alcohol etílico (de 1 a 35%), de forma comparativa ante el combustible comercial (la gasolina Magna Sin) Dicho comportamiento se sintetiza en la siguiente tabla, donde se presenta la variación porcentual del combustible alternativo, con respecto al combustible ordinario, por lo que el signo (-) indica una inferioridad del combustible alternativo, mientras que los datos que no tienen signo representan una superioridad de éste, en las siguientes 3 gráficas se muestra dicha variación porcentual positiva o negativa con respecto al combustible ordinario, cuyo comportamiento se representa con la línea de 0%. En la gráfica (A) se presenta la comparación de gasto y eficiencias (interna, mecánica y térmica), en la gráfica (B) se presentan las comparaciones de emisiones (% CO, % CO₂, %O₂ y ppm HC) y en la gráfica (C) se presenta la comparación de costo

Aspecto	Porcentaje de alcohol					
	1	5	10	20	30	35
Gasto	-1,7	-2,2	-1,7	4,1	15,1	35,5
Efi Int	-18	-4,9	-1,2	96	-55,6	2,8
Efi Mec	20	9,6	5,1	-83,3	56,2	-17,1
Efi Ter	1,7	4,7	6,5	6,5	0,4	-14,6
%CO	3	-3,3	-21,1	0	0	-5,5
%CO ₂	-0,1	-1	-1,9	-8,2	-16,9	-27,9
%O ₂	19	-5,4	20,4	61,1	90,4	205,4
ppm HC	-23	-8,5	17	-15,2	-29,9	35
Costo	3,4	17	34	68	102	119

COMPORTAMIENTO DEL COMBUSTIBLE ALTERNO VS. EL ORDINARIO

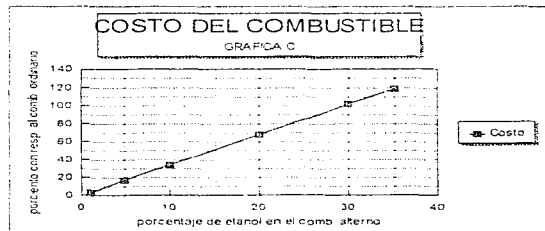
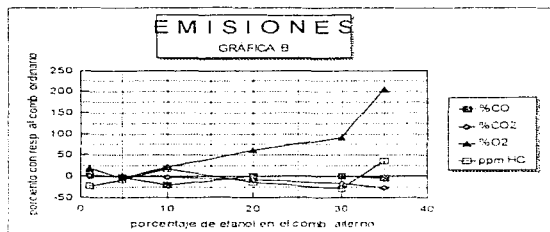
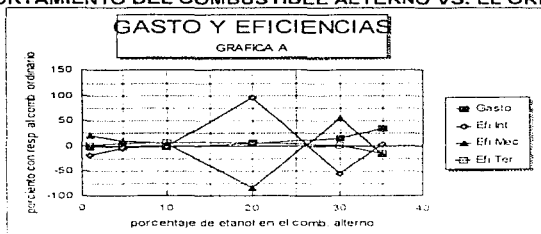


FIG.47

En las gráficas anteriores se puede observar que al ir incrementando el porcentaje de etanol en el combustible alterno, hay diferencias importantes que nos indican cierta mejoría por parte de este combustible, resulta complicado establecer un intervalo de porcentaje de alcohol en el cual absolutamente todos los aspectos analizados sean mejores que en el combustible ordinario; sin embargo, basado en la investigación realizada, se determina un intervalo de funcionamiento óptimo para un motor de combustión interna funcionando bajo las condiciones de la Ciudad de México, el cual es recomendable entre 25 y 30% de etanol en el combustible alterno. Al trabajar en este intervalo de etanol se tiene en desventaja el costo del combustible, ya que el combustible alterno sufre un incremento aproximado del 100% a comparación del combustible ordinario.

V.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a las pruebas que se realizaron en esta investigación se puede observar que el funcionamiento del motor es posible con este tipo de combustible alterno, de hecho se ha podido establecer un intervalo de comportamiento óptimo en el que el motor emite menor cantidad de gases producto de la combustión, es decir, disminuye las emisiones de gases contaminantes, además, que presenta mejorías en las eficiencias del motor con respecto al combustible ordinario con el que se trabaja en nuestro país.

Es importante aclarar que las pruebas se realizaron aumentando el porcentaje de alcohol en el combustible alterno, de tal forma que se fue incrementando hasta llegar al punto en el cual el motor no funcionaba bajo las mismas condiciones de operación del combustible ordinario, este límite se encontró aproximadamente al 40% de alcohol etílico en la mezcla, es decir, a esta cantidad de etanol el motor no soportaba las condiciones de carga y de velocidad angular resistidas por el combustible ordinario.

De acuerdo a las gráficas finales donde se muestra el comportamiento general de los combustibles al incrementar el porcentaje de alcohol, se puede fijar un intervalo de comportamiento óptimo entre el 25 y el 30% de etanol en la mezcla, ya que se mejoran las eficiencias del motor y se reducen las emisiones, además de que el consumo del combustible no presenta una variación significativa con respecto al combustible ordinario.

El aspecto más importante que se promueve con la utilización de este tipo combustibles es el de mejorar las condiciones ambientales que en la actualidad aquejan a las grandes ciudades de nuestro país, ya que las emisiones contaminantes generadas por los vehículos automotores disminuyen considerablemente, de tal forma que nuestra sociedad se puede ver beneficiada en la salud de sus habitantes, en el desarrollo óptimo de la Industria y en particular de la Industria Automotriz.

De la información bibliográfica analizada es importante resaltar las siguientes fallas o deterioros que el motor de combustión interna puede sufrir si no se toman algunas consideraciones al usar alcohol:

- a) Alteraciones ligeras en los materiales utilizados en juntas y empaques.
- b) Alteraciones mínimas en las mangueras del sistema de combustible.
- c) Todos los metales ferrosos que entran en contacto con el combustible sufren corrosión.
- d) Endurecimiento de piezas de hule en el carburador (agujas y diafragmas), se tornan quebradizos
- e) Sedimentos generados por la corrosión en los recipientes que contienen al combustible.

A pesar de que los principales productores de combustibles a nivel mundial, afirman que aún existe cantidad suficiente de hidrocarburos para el suministro requerido por los variados medios de transportes, es importante prevenir el momento en el que se acaben éstos, para evitar un cambio brusco en las fuentes energéticas que permiten el movimiento de todas las actividades económico-sociales de nuestro planeta; además de que se requieren hacer cambios significativos en la política ambiental para evitar los graves problemas de contaminación generados en forma local y global dentro de nuestro medio ambiente; en la actualidad los hidrocarburos se presentan como una fuente energética importante por el precio, las fuentes existentes y su eficacia durante su funcionamiento, pero difícilmente se visualizan los daños irreversibles provocados en la salud de los individuos y desequilibrios generados en el medio ambiente de nuestro planeta; debido a esta gran problemática resulta muy importante el contribuir, investigar y proponer distintas soluciones que nos permitan salvar a nuestro planeta y sobre todo a nosotros mismos.

En México se ha planteado como una solución a los problemas de contaminación ambiental la reformulación de las distintas gasolinas existentes en

nuestro país, además de una serie de iniciativas que pretenden afrontar el problema desde distintos frentes, involucrando Instituciones gubernamentales, educativos, privadas, etc. Desgraciadamente estos cambios en los combustibles mantienen la misma base de hidrocarburos, por lo que es indispensable generar un nuevo combustible que se adapte realmente a la problemática generada por los distintos factores precursores de la contaminación del aire. Para hacer frente a este problema se necesita un cambio radical e importante en la generación de nuevos combustibles y tecnologías aplicados a nuestro país.

La desventaja más importante para la implementación del etanol como combustible alternativo, se encuentra en el costo, ya que el etanol es más caro que los combustibles utilizados en nuestro país, tan sólo en las pruebas realizadas se tuvo una diferencia significativa ya que el precio de éste es cinco veces mayor que el de la gasolina. Este inconveniente hace difícil la aceptación del etanol como combustible alternativo debido a las condiciones económicas imperantes en nuestro país.

Un cambio radical en materia de combustibles es muy difícil si consideramos que la industria automotriz es de las más importantes a nivel mundial, en la cual los constructores difícilmente aceptarían cambios en sus sistemas que impliquen grandes inversiones. A pesar de representar ventajas en su comportamiento, este combustible resulta más caro que el que se tiene actualmente.

Es difícil cuantificar el daño a la salud ocasionado por la falta de generación o reformulación de nuevos combustibles o tecnologías adecuadas a las características propias de nuestra ciudad, lo que es cierto es que en cada invierno se viven condiciones extremas que no sólo afectan a la industria y en general a la dinámica de nuestra sociedad, sino que las afecciones a las personas que habitamos esta ciudad son muy graves y provocan una serie de gastos extras de tiempo, dinero y esfuerzo en todas nuestras actividades. Por esta razón es conveniente realizar un amplio estudio económico, político y social a nivel nacional en el que se tomen en cuenta estos aspectos.

Actualmente hemos llegado a una situación en la que los costos que no se pagan por crear nuevos y mejores combustibles de calidad se están gastando en

daños a la salud, en paros de producción y en falta de desarrollo industrial, nuestra ciudad pierde bastante durante las aplicaciones de contingencias ambientales (durante la aplicación de la contingencia ambiental del 16 y 17 de noviembre de 1996 se perdieron 2,400,000 pesos) sin considerar los daños que se sufren en familias, individuos, niños y las mismas empresas.

A pesar de las soluciones planteadas y generadas para mejorar la calidad del aire en nuestra Ciudad durante la última década, la contaminación del aire ha llegado a extremos impredecibles en los que la actividad cotidiana de la sociedad en general se ve afectada. Para solucionar esta problemática se han tomado una serie de decisiones por parte de las autoridades gubernamentales que no han mostrado los resultados esperados, en cambio muchos de ellos han generado nuevos y variados problemas, es decir, hemos caído en una situación difícil en la que nos vemos envueltos en un problema que crece cada vez más y no se percibe una salida viable para erradicar este problema definitivamente. Es importante entender que este problema necesita de una solución radical, en la cual puedan eliminarse una serie de paradigmas que dificultan la generación de políticas óptimas y factibles; por esta razón todos los sectores como Organismos de gobierno, Universidades, Institutos, etc. deben responder a esta situación.

El aspecto económico juega un rol muy importante, ya que la reformulación de nuevos combustibles y la creación de nuevas tecnologías generan una serie de adelantos en materia de protección ambiental que permitirían erradicar este problema en un menor lapso de tiempo. Pero aún con los problemas económicos, políticos y sociales, México tiene que salir adelante, todos los habitantes de este país debemos ser conscientes de este problema y aportar soluciones además nosotros mismos somos los responsables de desarrollar combustibles de alta calidad y tecnología adecuada para la Industria Automotriz Mexicana.

APÉNDICE

APÉNDICE 1

NOM-CCAT-003-ECOL/1993

De la emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, bióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y oxígeno provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.

Los niveles máximos permisibles de emisión de gases por el escape de los automóviles y vehículos comerciales en circulación, en función del año-modelo, son los establecidos en la siguiente tabla.

AÑO-MODELO	Hidrocarburos (HC) ppm.	Monóxido de carbono(CO)%	Oxígeno (O ₂)%	Dilución (CO + CO ₂) % Vol.	
				Vol. Max	Vol. Max
				Min.	Max.
1979 Y anteriores	700	6.0	6.0	7.0	18.0
1980-1986	500	4.0	6.0	7.0	18.0
1987-1993	400	3.0	6.0	7.0	18.0
1994 y posteriores	200	2.0	6.0	7.0	18.0

FIG.1

Los niveles máximos permisibles de emisión de gases por el escape de los vehículos de usos múltiples o utilitarios, camiones ligeros, camiones medianos y camiones pesados en circulación, en función del año-modelo, son los establecidos en la siguiente tabla.

NIVELES PERMISIBLES DE EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO, HIDROCARBUROS, OXÍGENO Y DE DILUCIÓN.

AÑO-MODELO	Hidrocarburos (HC) ppm.	Monóxido de carbono (CO) %	Oxígeno (O ₂) %	Dilución (CO + CO ₂) % Vol.	
	Max.	Vol. Max.	Vol. Max.	Min.	Max.
1979 y anteriores	750	6.0	6.0	7.0	18.0
1980-1985	600	5.0	6.0	7.0	18.0
1986-1991	500	4.0	6.0	7.0	18.0
1992-1993	400	3.0	6.0	7.0	18.0
1994 y posteriores	200	2.0	6.0	7.0	18.0

FIG.2

Los niveles máximos permisibles de emisión de óxidos de nitrógeno por el escape de los automóviles, vehículos comerciales, vehículos de usos múltiples o utilitarios y camiónes ligeros en circulación, en función del año-modelo, son los establecidos en la siguiente tabla:

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO.

AÑO-MODELO DEL VEHÍCULO	OXIDOS DE NITRÓGENO (NOx) ppm crucero
1993 y anteriores	No se aplica
1994-1998	1500
1999	1000

FIG.3

Estos niveles se aplican únicamente en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, conforme a lo establecido en la norma oficial mexicana que establece el procedimiento de prueba correspondiente.

Para los efectos de cuantificación de las emisiones deberán utilizarse los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas correspondientes.

Las dependencias de los gobiernos federal, estatal y municipal que tengan instrumentado en la fecha de publicación de esta norma, un programa de verificación vehicular con analizadores de dos gases (siendo estos HC y CO), están exentos del requerimiento de evaluar la dilución y nivel de oxígeno en los vehículos automotores hasta el día 1º de enero de 1996.

Los niveles máximos permisibles de emisión de gases provenientes del escape de los automóviles y vehículos comerciales con cero kilómetros, en función del año-modelo, son los establecidos en la siguiente tabla.

NIVELES PERMISIBLES DE EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO, HIDROCARBUROS, OXÍGENO Y DE DILUCIÓN.					
AÑO-MODELO	Hidrocarburos (HC) ppm.	Monóxido de carbono(CO)%	Oxígeno (O ₂)%	Dilución (CO + CO ₂) % Vol.	
	Max.	Vol. Max	Vol. Max	Min.	Max.
1994 y posteriores	100	0.25	6.0	7.0	18.0

FIG.4

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes, los gobiernos del Distrito Federal, de los estados y, en su caso de los municipios, son las autoridades competentes para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana. Los niveles establecidos en las dos primeras tablas de esta norma correspondientes a vehículos año-modelo 1994, niveles mínimo y máximo de dilución y nivel de oxígeno, entraron en vigor el día 3 de enero de 1994, y los niveles establecidos en la tercera tabla entrarán en vigor el día 2 de enero de 1999.

NOM-CCAT-004-ECOL/1993

De la emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos en planta, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos, con peso bruto vehicular de 400 a 3857 kilogramos. Los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos en planta, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos, con peso bruto vehicular de 400 a 3857 kilogramos, tomando en consideración el año-modelo en que se fabrica y su peso bruto vehicular, son los establecidos en las siguientes tablas:

AUTOMÓVILES QUE USAN GASOLINA, GAS LICUADO, GAS NATURAL Y OTROS COMBUSTIBLES ALTERNOS.

Niveles Máximos	g/Km (1)			g/prueba (2)
Año-Modelo	HC	CO	NOx	Hcev
1994	0.25	2.11	0.62	
1995 en adelante	0.25	2.11	0.62	2.0 (3)

Donde:
 1 g/Km = Gramos de contaminante por kilometro recorrido
 2 g/prueba = Gramos de contaminante por prueba
 3 Certificado por los métodos, procedimientos y combustible establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de America, en tanto no se tenga el laboratorio en nuestro país

FIG.5

CAMIONES COMERCIALES, LIGEROS Y DE USOS MÚLTIPLES O UTILITARIOS, HASTA DE 3857 KG DE PESO BRUTO VEHICULAR, QUE USAN GASOLINA, GAS LICUADO DE PETRÓLEO, GAS NATURAL Y OTROS COMBUSTIBLES ALTERNOS.

Niveles Máximos	g/Km (1)			g/prueba (2)
Año-Modelo	HC	CO	NOx	Hcev
1994	0.53	8.75	1.44	
1995 en adelante	0.63	8.75	1.44	2.0 (3)

Donde:
 1 g/Km = Gramos de contaminante por kilometro recorrido
 2 g/prueba = Gramos de contaminante por prueba
 3 Certificado por los métodos, procedimientos y combustible establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de America, en tanto no se tenga el laboratorio en nuestro país

FIG.6

La evaluación de los hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape de los vehículos automotores referidos en esta norma oficial mexicana, deberá realizarse con los procedimientos y el equipo previsto en las normas oficiales mexicanas respectivas.

La verificación de los niveles máximos permisibles de hidrocarburos evaporativos deberá realizarse con el método, procedimiento y condiciones de altitud sobre el nivel del mar y con el combustible que especifica para esta prueba la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América y que se usó para fijar dicho nivel máximo permisible de emisión, hasta en tanto se cuente

con la infraestructura necesaria y el combustible disponible para definir los valores de emisiones a una altitud sobre el nivel del mar de 2240 metros.

Mientras se dan las condiciones descritas en el párrafo anterior se permitirá su cumplimiento mediante la presentación de certificados del país de origen o avalados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, que amparen los valores de los vehículos representativos de los que se comercialicen en el país.

La Secretaría de Desarrollo Social por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, es la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

NOM-CCAT-007-ECOL/1993.

De la emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales y opacidad de humo, provenientes del escape de motores nuevos, que usan diesel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores, con peso bruto vehicular mayor de 3857 kilogramos.

Los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales y opacidad de humo provenientes del escape de los motores nuevos a que se refiere esta norma, tomando en consideración el año-modelo en que se comercializan, son los establecidos en las siguientes tablas:

Año-Modelo del motor	HC g/bhp-h	CO g/bhp-h	NOx g/bhp-h	PST g/bhp-h
1993 ^{a,b}	1.3	15.5	5.0	0.25
1994-1997 ^a				
Autobús urbano extra-pesado	1.3	15.5	5.0	0.07
Autobús urbano mediano-pesado ligero pesado y otros	1.3	15.5	5.0	0.10
1998 en adelante				
Autobús urbano extra-pesado	1.3	15.5	4.0 c	0.05
Autobús urbano mediano-pesado ligero pesado y otros	1.3	15.5	4.0	0.10

Donde:

g/bhp-h = Gramos de contaminante por caballo de fuerza de potencia al freno por hora.

a Certificado por los métodos, procedimientos y combustible establecidos por la Agencia de Protección

Ambiental de los Estados Unidos de América, en tanto que no se tenga el laboratorio en nuestro país

b Para los motores 1993 se considerará la clasificación año-calendario a partir del día primero de enero de 1993 y años posteriores

c Esta cifra estará sujeta a revisión de acuerdo a la normatividad de los Estados Unidos de América que se publique a su debido tiempo y nunca excederá de 5.0

FIG. 7

TABLA 2

Niveles máximos permisibles de opacidad del humo de motores con peso bruto vehicular mayor de 3857 kg. que usan diesel como combustible.

Año-Modelo del motor	ACELERACION "a	Lug "a	PICO "a
1993 d.c.	20	15	50
1994-1997 d			
Autobús urbano extra-pesado	20	15	50
Autobús urbano mediano-pesado ligero pesado y otros	20	15	50
1998 en adelante			
Autobús urbano extra-pesado	20	15	50
Autobús urbano mediano-pesado ligero pesado y otros	20	15	50

Donde:

d Certificado por los métodos, procedimientos y combustible establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, en tanto que no se tenga el laboratorio en nuestro país

e Para los motores 1993 se considerará la clasificación año-calendario a partir del día primero de enero de 1993 y años posteriores.

c Esta cifra estará sujeta a revisión de acuerdo a la normatividad de los Estados Unidos de América que se publique a su debido tiempo y nunca excederá de 5.0

FIG. 8

Los valores establecidos en las tablas anteriores entrarán en vigor cuando Petróleos Mexicanos este en condiciones de suministrar en todo el territorio nacional el combustible diesel con las especificaciones establecidas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, es decir, con un contenido de azufre de 0.05%, mientras tanto los fabricantes de vehículos y motores a diesel incorporarán su tecnología bajo normas certificadas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, paralelamente al compromiso de Petróleos Mexicanos de suministrar este tipo de diesel en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México a partir de octubre de

1993 y en todo el territorio nacional se hará cuando Petróleos Mexicanos incremente su capacidad de combustible.

La Secretaría de Desarrollo Social, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente es la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

NOM-CCAT-008-ECOL/1993.

De la opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible

Los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible, expresada como coeficiente de absorción por metro (m-1), tomando como base el flujo nominal del gas, expresado en litros por segundo, son los establecidos en la siguiente tabla:

TABLA NO. 1			
Flujo normal de gas (l/s)	Coefficiente de absorción (m-1)	Flujo normal de gas (l/s)	Coefficiente de absorción (m-1)
30	2.43	140	1.48
35	2.43	145	1.43
40	2.43	150	1.38
45	2.43	155	1.33
50	2.43	160	1.28
55	2.43	165	1.23
60	2.43	170	1.18
65	2.43	175	1.14
70	2.35	180	1.09
75	2.28	185	1.05
80	2.20	190	1.01
85	2.13	195	0.97
90	2.07	200	0.92
95	2.00	205	0.92
100	1.94	210	0.92
105	1.87	215	0.92
110	1.81	220	0.92

115	1.75	225	0.92
120	1.70	230	0.92
125	1.64	235	0.92
130	1.58	240	0.92
135	1.53	245	0.92

FIG.9

Para el cálculo del flujo nominal (G) se aplican las ecuaciones siguientes:

- Para motores de dos tiempos:

$$G = \frac{VR}{60}$$

- Para motores de cuatro tiempos:

$$G = \frac{VR}{120}$$

Donde:

G= Flujo nominal del gas, expresado en litros por segundo (l/s), para motores de aspiración natural y turbocargados.

V= Desplazamiento del motor, expresado en litros.

R= 45% de la velocidad angular del motor correspondiente a la de su potencia máxima efectiva, expresada en revoluciones por minuto, o 1000 r.p.m., tomándose la que sea mayor.

Cuando el flujo nominal del gas, resultante de aplicar la ecuación correspondiente según sea el caso no se encuentre previsto en la tabla mostrada, el nivel máximo permisible de emisión de opacidad del humo expresada como coeficiente de absorción por metro (m⁻¹), será el que se obtenga por interpolación por partes proporcionales.

Para la conversión del coeficiente de absorción de la luz a las unidades de opacidad en por ciento, se aplica la Tabla 2.

El método de prueba para determinar la opacidad de humo referido en las tablas anteriores será el señalado en la norma correspondiente.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes, los Gobiernos del Distrito Federal, de los estados y de los municipios, en sus respectivas jurisdicciones, son las autoridades competentes para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

TABLA 2
TABLA DE CONVERSIÓN DE UNIDADES

FIG. 10

NOM-CCAT.010-ECOL/1993.

Del equipo y el procedimiento de medición, para la verificación de los niveles de emisión de contaminantes provenientes de los vehículos automotores en circulación equipados con motores que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.

Los métodos para medir las emisiones provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos, son los que a continuación se especifican:

-Emisiones por el Escape.

El método debe ser el de prueba estática, a excepción de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en donde el método debe aplicar a los automóviles, vehículos comerciales y vehículos ligeros que se clasifiquen de uso intensivo, es el de prueba dinámica.

-Emisiones Evaporativas.

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, el método que se debe aplicar a los vehículos automotores que usan gasolina u otros combustibles alternos líquidos y que cuentan con tapón roscado del tanque de combustible, es la prueba del tapón del tanque de combustible.

Se debe realizar una prueba de sellado del tapón del tanque del combustible con un dispositivo, donde se medirá la caída de presión en pulgadas de agua según los límites de la norma correspondiente.

- Fechas de aplicación.

Las fechas de aplicación de las pruebas anteriormente especificadas para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, son las que se establecen en la siguiente tabla.

TABLA NO.1 FECHAS DE APLICACIÓN SEGÚN EL USO DEL VEHÍCULO			
Tipo de prueba	Para medir	Vehículo de uso intensivo	Vehículo de uso no intensivo
Prueba estática	HC, CO, O ₂ y Dilución	No aplica	Inmediato
Prueba dinámica en Dinamómetro a carga constante	HC, CO, O ₂ y Dilución	Inmediato	1997
Sellado del tapón de combustible	Fugas	1995	1995
Prueba dinámica en Dinamómetro a carga variable	HC, CO, O ₂ y Dilución	1999	No aplica

FIG.11

PREPARACIÓN DEL EQUIPO PARA LA PRUEBA.

Se debe llevar a cabo una preparación del equipo antes de iniciar el procedimiento de medición.

Por lo que toca al equipo, el técnico deberá:

- Operarlo de acuerdo con las indicaciones del manual del fabricante.
- Calibrarlo de acuerdo con las indicaciones del manual del fabricante y las especificaciones contenidas en esta norma.
- Eliminar de los filtros y de la sonda cualquier partícula extraña y/o agua o humedad que se acumule.

REVISIÓN VISUAL DEL VEHÍCULO ANTES DE LA PRUEBA.

Las condiciones que debe reunir el vehículo para someterlo al procedimiento de medición previsto en esta norma son:

- El técnico debe revisar que los componentes de emisiones y elementos de diseño que han sido incorporados o instalados en el vehículo por el fabricante del mismo con el propósito de cumplir con las normas de control de emisiones aplicables a la unidad no han sido:
 - * Retirados del sistema de control de emisiones del vehículo.
 - * Alterados para que el sistema de control de emisiones no funcione correctamente.
 - * Reemplazados con un componente que no fue vendido por su fabricante para este uso.
 - * Reemplazados con un componente que no tiene la capacidad de conectarse a otros componentes de control de emisiones
 - * Desconectados aunque el componente esté presente y montado correctamente al vehículo.
- El técnico debe asegurar que el escape del vehículo se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y que no tenga ninguna salida adicional a las de diseño que provoque una difusión de los gases de escape o una fuga de los mismos.
 - Los siguientes dispositivos del vehículo deben encontrarse en buen estado y operando adecuadamente.
 - * Filtro de aire, tapón de depósito de aceite y del tanque de gasolina, nivel de aceite del cárter sistema de ventilación del mismo, filtro de carbón activado y mangueras de conexión al motor y al tanque.

PREPARACIÓN DEL VEHÍCULO PARA LA PRUEBA.

Se debe llevar a cabo una preparación del vehículo antes de iniciar la prueba de medición. Por lo que toca al vehículo, el técnico deberá:

- Revisar que el control manual del ahogador no se encuentre en operación.

- Revisar que los accesorios del vehículo estén apagados. Esto incluye las luces y el aire acondicionado.

- Asegurarse que el motor del vehículo funcione a su temperatura normal de operación

- Asegurarse que en el caso de transmisiones automáticas, el selector se encuentre en posición de estacionamiento o neutral, y en el caso de transmisiones manuales o semiautomáticas, que dicho selector este en neutral y sin presionar el pedal de embrague

PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN**MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁTICA.**

El método de prueba estática es un procedimiento de medición de las emisiones de los gases de hidrocarburos, monóxido de carbono, bióxido de carbono y oxígeno a la salida del escape de los vehículos automotores en circulación equipados con motores que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos. El método de prueba estática consiste en tres etapas: una revisión visual del humo, una prueba de marcha cruceo y una prueba de marcha lenta en vacío

-Prueba de revisión visual del humo

Se debe conectar el tacómetro del equipo de medición al sistema de ignición del motor del vehículo y efectuar una aceleración a 2500 +/- 250 revoluciones por minuto, manteniendo esta durante un mínimo de 30 segundos. Si se observa emisión de humo negro o azul y éste se presenta de manera constante por mas de 10 segundos, no se debe continuar con el procedimiento de medición y deberán tener por rebasados los límites máximos permisibles establecidos en la norma oficial mexicana correspondiente. Esta prueba no debe durar por más de un minuto

La emisión de humo azul es indicativa de la presencia de aceite en el sistema de combustión y la emisión de humo negro es indicativa de exceso de

combustible no quemado, y por lo tanto cualquiera de las dos indican altos niveles de emisión de hidrocarburos entre otros contaminantes

-Prueba de marcha en cruceo

Se debe introducir la sonda de medición al tubo de escape de acuerdo con las especificaciones del fabricante del propio equipo, asegurándose de que ésta se encuentre perfectamente fija. Se procede a acelerar el motor del vehículo hasta alcanzar una velocidad de 2500 +- 250 revoluciones por minuto, manteniendo ésta durante un mínimo de 30 segundos. Después de 25 segundos consecutivos bajo estas condiciones de operación, el técnico debe determinar las lecturas promedio que aparezcan en el analizador durante los siguientes 5 segundos y registrar estos valores. Esta prueba no debe durar más de un minuto.

-Prueba de marcha lenta en vacío

Se procede a desacelerar el motor del vehículo a la velocidad de marcha en vacío especificada por su fabricante que no será mayor a 1100 revoluciones por minuto, manteniendo ésta durante un mínimo de 30 segundos. Después de 25 segundos consecutivos bajo estas condiciones de operación, el técnico debe determinar las lecturas promedio que aparezcan en el analizador durante los siguientes 5 segundos y registrar estos valores. Esta operación no debe durar más de un minuto.

-Análisis de resultados

Se considera que un vehículo pasa la prueba cuando ninguno de los valores registrados en las lecturas de las pruebas en marcha lenta en vacío y en marcha en cruceo rebasan los niveles máximos permisibles previstos en la norma oficial mexicana respectiva

En el caso de que un vehículo cuente con doble sistema de escape, la medición debe efectuarse en cada uno de ellos, considerando como valor de emisión de cada uno de los contaminantes, el promedio de lecturas registradas en cada sistema de escape.

MÉTODO DE PRUEBA DINÁMICA CON CARGA CONSTANTE.

El método de prueba dinámica con carga constante es otro procedimiento de medición de las emisiones de los gases de hidrocarburos, monóxido de carbono, dióxido de carbono y oxígeno a la salida del escape de los vehículos automotores en circulación equipados con motores de gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.

El método de prueba dinámica con carga constante consiste en tres etapas: una revisión visual del humo, una prueba dinámica con carga y una prueba de marcha lenta en vacío.

-Prueba de revisión visual del humo

Se debe efectuar una aceleración al motor del vehículo a 2500 ± 250 revoluciones por minuto, manteniendo ésta durante un mínimo de 30 segundos. Si se observa emisión de humo negro o azul y éste se presenta de manera constante por más de 10 segundos, no se debe continuar con el procedimiento de medición y se tendrán por rebasados los límites máximos permisibles establecidos en la norma oficial mexicana correspondiente. Esta prueba no debe durar más de un minuto.

La emisión del humo azul es indicativa de la presencia de aceite en el sistema de combustión y la emisión de humo negro es indicativa de exceso de combustible no quemado y por lo tanto, cualquiera de las dos indican altos niveles de emisión de hidrocarburos entre otros contaminantes.

-Preparación para la prueba dinámica

Se debe posicionar las llantas motrices del vehículo en los rodillos del dinamómetro de chasis y asegurar el vehículo de tal forma que impida su movimiento de acuerdo con las instrucciones del fabricante del dinamómetro.

Se debe introducir la sonda de muestreo al tubo de escape, de acuerdo con las especificaciones del fabricante del propio equipo, asegurándose de que ésta se encuentre perfectamente fija.

El técnico debe determinar la carga y la velocidad a aplicar al vehículo de acuerdo con la siguiente tabla.

TABLA NO.2		
NÚMERO DE CILINDROS	VELOCIDAD DEL RODILLO (km/h)	CARGA APLICADA (bhp)
4 ó menos	40	2.8 - 4.1
5 - 6	40	6.8 - 8.4
7 ó más	40	8.4 - 10.8

FIG.12

-Prueba dinámica

Con el vehículo en marcha, se procede a acelerarlo en segundo o tercer engrane (escogiendo aquél que permita una operación del motor en condiciones estables y sin forzarse), hasta que el vehículo alcance la velocidad de rodillo especificada. Si el vehículo está equipado con transmisión automática se probará en segundo engrane.

Se ajusta la carga al dinamómetro de acuerdo con los valores estipulados en la Tabla 2 y se opera el vehículo en condiciones estables de funcionamiento durante un mínimo de 30 segundos. Después de 25 segundos consecutivos bajo estas condiciones de operación, el técnico debe determinar las lecturas promedio que aparezcan en el analizador durante los siguientes 5 segundos y registrar estos valores. Esta operación no debe durar más de un minuto.

En el caso de que un vehículo no pueda alcanzar la velocidad o mantener la carga especificada en la Tabla 2 o por su diseño no pueda instalarse en el dinamómetro, se deberá aplicar el método de prueba estática.

-Prueba de marcha lenta en vacío

Se procede a desacelerar el motor del vehículo a la velocidad de marcha en vacío especificada por su fabricante que no sea mayor a 1100 revoluciones por minuto, colocando la transmisión en neutral. Se debe mantener esta velocidad durante un mínimo de 30 segundos y registrar estos valores. Esta operación no debe durar más de un minuto.

-Análisis de resultados

Se considera que un vehículo pasa la prueba cuando ninguno de los valores registrados en las lecturas de la pruebas en marcha lenta en vacío y en la

dinámica rebasan los niveles máximos permisibles previstos en la norma oficial mexicana respectiva.

En el caso de que un vehículo cuente con doble sistema de escape, la medición debe efectuarse en cada uno de ellos, considerando como valor de emisión de cada uno de los contaminantes, el promedio de las lecturas registradas en cada sistema de escape.

PRUEBA DEL TAPÓN DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE.

El procedimiento de medición consiste en una prueba de sellado del tapón montado en un dispositivo de prueba, utilizando el cuello apropiado para el tapón de que se trate. Se presuriza el dispositivo a la presión especificada en la tabla 3 y ya alcanzada la presión especificada, se mide la caída de presión en pulgadas de agua durante el periodo especificado en la misma tabla.

- Análisis de resultados

Se considera que el vehículo pasa la prueba cuando no existe una fuga que dé como resultado una caída de presión mayor que el límite establecido.

Los límites permisibles de caída máxima de presión para vehículos automotores en circulación que usan gasolina u otros combustibles alternos líquidos, son los establecidos en la Tabla 3.

TABLA NO.3				
Año-Modelo del vehículo	Tipo de prueba	Presión inicial (pulg. H ₂ O)	Caída máxima de presión (pulg. H ₂ O)	Caída máxima de presión en segundos
Todos	Sellado del tapón del tanque de combustible	14 +/- 0,5	2.0	20

FIG.13

REGISTRO DE DATOS.

El centro de verificación debe registrar los resultados de las pruebas de verificación en medio magnético para su envío a las autoridades cuando éstas así lo requieran. Los datos mínimos requeridos son los siguientes:

Datos del Centro, Datos del Propietario, Datos del vehículo, Datos de la prueba, Resultados de la verificación y Clave del formato

ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

Los aparatos para la medición de las emisiones vehiculares deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- Gases a analizar:

El analizador que se utiliza en la prueba dinámica debe determinar la concentración de hidrocarburos, monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y oxígeno en los gases de escape del vehículo.

El analizador que se utiliza para la prueba estática debe determinar la concentración de hidrocarburos, monóxido de carbono, dióxido de carbono y oxígeno en los gases del escape del vehículo

-Escala de medición

La escala total de medición debe ser de 0 a 10% en volumen, para el caso del monóxido de carbono; 0 a 2000 ppm, tratándose de hidrocarburos; 0 a 4000 ppm para óxidos de nitrógeno, 0 a 15% en volumen, para el caso del dióxido de carbono; y 0 a 22% en volumen, para el caso del oxígeno

La resolución de la escala debe ser de 1 ppm en los casos de HC y NO; 0,01% en el caso de CO y 0.1% en el caso de O₂ y CO₂

- Precisión, Ruido y Repetibilidad

El analizador debe cumplir con los requerimientos siguientes de exactitud en sus lecturas:

GAS	RANGO	PRECISION +/-	RUIDO	REPETIBILIDAD
HC (ppm)	0 - 400	12	6	8
	401 - 1000	30	10	15
	1001 - 2000	80	20	30
CO (%)	0 - 2,00	0,06	0,02	0,03
	2,01 - 5,00	0,15	0,06	0,08
	5,01 - 9,99	0,40	0,10	0,15
CO ₂ (%)	0 - 4,0	0,60	0,20	0,30
	4,1 - 14,0	0,50	0,20	0,30
	14,1 - 16,0	0,60	0,20	0,30
NO (ppm)	0 - 1000	32	16	20
	1001 - 2000	60	25	30
	2001 - 4000	120	50	60
O ₂ (%)	0 - 10,0	0,5	0,3	0,4
	10,1 - 22,0	1,3	0,6	1,0

FIG.14

Donde:

El ruido se define como la diferencia promedio de las lecturas obtenidas de pico a pico a una sola fuente durante 20 segundos

La repetibilidad se determina durante 5 mediciones sucesivas en una misma fuente.

El tiempo de respuesta debe ser de no mayor a 3 segundos para alcanzar 90% de la lectura final estabilizada y no mayor a 12 segundos para alcanzar 95% de la lectura final estabilizada

Durante todo el tiempo de trabajo la estabilidad debe ser menor de 3%.

El tiempo de estabilidad debe ser menor de 10 minutos después del encendido

El tacómetro debe tener la capacidad de medir revoluciones por minuto del motor del vehículo con un precisión de 3%.

-Construcción

El analizador debe ser diseñado para soportar un servicio continuo de trabajo pesado mínimo de 8 horas por día.

Contar con una placa de identificación adherida a la parte exterior del mismo, en la que se precise: modelo, número de serie, nombre y dirección del fabricante, requerimientos de energía eléctrica y límites de voltaje de operación.

Ser hermético en todas sus conexiones.

Sus controles deben ser accesibles a los operadores

Las lecturas del analizador, no deben verse afectadas por variaciones del voltaje nominal de 10%.

Los aditamentos internos que estén en contacto con el gas de muestra deben ser resistentes a la corrosión y contar con dispositivos o trampas para la eliminación o disminución de partículas y agua, a fin de evitar modificaciones que afecten el análisis de gases. El recipiente para eliminar el agua debe ser material transparente, con posibilidad de drenado y que pueda desmontarse fácilmente para su limpieza.

Los aditamentos externos consisten en una sonda, cuya longitud debe ser mayor de 3 metros y menor de 9 metros, suficientemente flexible para facilitar su manejo.

Las autoridades locales podrán establecer especificaciones adicionales para el analizador, con el objeto de mejorar la confiabilidad de los resultados y la seguridad en el manejo de los certificados y las calcomanías en su caso.

-Calibración de rutina

La calibración de los analizadores deberá hacerse con gas patrón cada tercer día o de acuerdo con las especificaciones del fabricante. El gas patrón debe tener una exactitud garantizada por su fabricante en las mezclas de $\pm 2\%$ de la concentración indicada.

-Verificación de la calibración

La calibración de los analizadores deberá realizarse en un laboratorio de calibración acreditado por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial en los términos de la Ley Federal sobre Meteorología y Normalización, cada tres meses en condiciones normales de operación, independientemente de que se realice cada vez que sustituya alguna de sus partes o cuando haya sido sometido a mantenimiento o reparación.

Para comprobar si el analizador se encuentra perfectamente calibrado se deben realizar mediciones con tres gases patrón de concentración conocida (con una precisión del 1%). Éstos deben introducirse al aparato vía sonda normal de verificación vehicular.

Se deben realizar tres mediciones con cada gas patrón. De las tres lecturas obtenidas para cada uno de los contaminantes, se sacan los valores promedio

que se deben anotar en la hoja de registro, con los valores promedio, se trazan las curvas de calibración del aparato de medición, la cual en relación con la línea de representación que aparece en la misma, debe tener una desviación menor al 10%, ver hoja de registro

HOJA DE REGISTRO

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN QUE SE USAN EN LOS TRABAJOS DE CALIBRACIÓN Y MEDICIONES
METROLOGÍA

CENTRO DE MEDICACIONES: _____

DIRECCIÓN: _____

DIRECCIÓN GENERAL: _____

UBICACIÓN DEL EQUIPO: _____

TIPO DE EQUIPO: _____

MODELO DE MEDICACIONES: _____

MEDICIÓN	ALTA			BAJA		
	VAL	ERR	EST	VAL	ERR	EST
INSTRUMENTAL						
REGULACIÓN						
PRECISIÓN						
VALOR PROMEDIO						
CONSERVACIÓN DEL EQUIPO						

INDICADOR DE RPM			

MEDICIÓN EN CARBONO (COOL-VAL)			

FECHA DE MEDICIONES: _____

FECHA PROMEDIO REPRESENTACIÓN: _____

NOMBRE Y FIRMA DEL OPERARIO: _____

FIG. 15

-Especificaciones del dinamómetro.

En lo referente al dinamómetro, éste tendrá los rodillos necesarios para soportar las ruedas motrices de los vehículos que serán examinados y permitir su rotación continua. La potencia generada por el motor del vehículo que pasa a los rodillos a través de las llantas, deberá ser transmitida a un aparato de absorción de

energía. La carga puede ser establecida por las características físicas de diseño de la unidad de absorción de energía o por control automático. El marco y los conjuntos de rodillos deberán estar colocados al nivel del piso, de forma que permitan que los vehículos de cualquier marca sean colocados fácilmente sobre los rodillos, para ser aprobados en una posición nivelada. Una plataforma entre los rodillos y los frenos de los rodillos permitirá una entrada y salida rápida de los vehículos al dinamómetro. El diseño del dinamómetro deberá permitir la prueba segura de vehículos con tracción delantera.

-Capacidades del dinamómetro

La repetibilidad de las pruebas deberá estar dentro de un 2% de tolerancia para un vehículo y velocidad dada.

Los períodos cortos de estabilidad a una velocidad constante no deben tener una variación de potencia mayor a 0.5 H.P. durante la prueba.

La capacidad de carga de los rodillos debe soportar un peso mínimo de 3500 kilogramos.

Cada rodillo debe tener un diámetro mínimo de 20.32 cm (8") Los rodillos deben estar separados de tal manera que el radio de la llanta que es de 33.02 cm (13") debe tener un contacto con los rodillos medido desde el centro del eje de la llanta hasta el centro del eje de los rodillos de por lo menos 50 y no mayor a 53. Los rodillos no deben proporcionar una superficie de contacto menor a 243.84 cm (96") de ancho.

Los indicadores de velocidad deben estar en kilómetros o su equivalente funcional utilizando una sola escala con una longitud de escala no menor de 19 cm (7.5") y deben indicar de 0 a 95 km /h.

El dinamómetro deberá contar con su propia unidad de calibración.

La presente norma oficial mexicana deberá colocarse en un lugar visible en los centros de verificación públicos y privados autorizados.

Los gobiernos del Distrito Federal, de los estados y, en su caso, de los municipios, son las autoridades competentes para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

NOM-CCAT-014-ECOL/1993.

De la emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, bióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y oxígeno provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos como combustible.

-Vehículos en circulación.

Los niveles máximos permisibles de emisión de gases por el escape de los automóviles y vehículos comerciales en circulación, en función del año-modelo, son los establecido en la Tabla 1.

TABLA NO.1 NIVELES PERMISIBLES DE EMISIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO, HIDROCARBUROS, OXÍGENO Y DE DILUCIÓN.					
Año-Modelo	Hidrocarburos (HC) ppm	Monóxido de carbono (CO) %	Oxígeno (O ₂) %	Dilución (CO + CO ₂) % Vol	
	Max	Vol. Max	Máx	Min	Máx
1979 y anteriores	700	6.0	6.0	7.0	18.0
1980 - 1986	500	4.0	6.0	7.0	18.0
1987 - 1993	400	3.0	6.0	7.0	18.0
1994 y posteriores	200	2.0	6.0	7.0	18.0

FIG.16

La observancia de estos niveles corresponde a las autoridades federales, estatales y municipales que tengan a su cargo el establecimiento y operación de centros de verificación vehicular o, en su caso, particulares que cuenten con la autorización correspondiente, así como los usuarios de los vehículos automotores en circulación equipados con motores que utilicen gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.

Los niveles máximos permisibles de emisión de gases por el escape de los vehículos de usos múltiples o utilitarios, camiones ligeros, camiones medianos y camiones pesados en circulación, en función del año-modelo, son los establecidos en la Tabla 2.

TABLA NO.2					
NIVELES PERMISIBLES DE EMISIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO, HIDROCARBUROS, OXÍGENO Y DE DILUCIÓN.					
Año-Modelo	Hidrocarburos (HC) ppm	Monóxido de carbono (CO) %	Oxígeno (O ₂) % Vol	Dilución (CO + CO ₂) % Vol	
				Max	Min
1979 y anteriores	700	6.0	6.0	7.0	18.0
1980 - 1985	600	5.0	6.0	7.0	18.0
1986 - 1991	500	4.0	6.0	7.0	18.0
1992 - 1993	400	3.0	6.0	7.0	18.0
1994 y posteriores	200	2.0	6.0	7.0	18.0

FIG.17

La observancia de estos niveles corresponde a las autoridades federales, estatales y municipales que tengan a su cargo el establecimiento y operación de centros de verificación vehicular o, en su caso, particulares que cuenten con la autorización correspondiente, así como los usuarios de los vehículos automotores en circulación equipados con motores que utilicen gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos como combustible.

Los niveles máximos permisibles de emisión de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos, oxígeno y niveles mínimos y máximos de dilución por el escape de los vehículos automotores en circulación en el Distrito Federal y los municipios de su zona conurbada, son los establecidos en la Tabla 3 y 4.

TABLA NO.3					
NIVELES PERMISIBLES DE EMISIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO, HIDROCARBUROS, OXÍGENO Y DE DILUCIÓN PARA LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL Y LOS MUNICIPIOS DE SU ZONA CONURBADA.					
Año-Modelo	Hidrocarburos (HC) ppm	Monóxido de carbono (CO) %	Oxígeno (O ₂) % Vol	Dilución (CO + CO ₂) % Vol	
				Max	Min
Todos	200	2.0	6.0	7.0	18.0

FIG.18

TABLA NO.4	
NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO	
AÑO-MODELO DEL VEHÍCULO	ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO x) ppm crucero
Todos	1000

FIG.19

Los niveles estipulados en las tablas 3 y 4 de esta norma oficial mexicana aplican sólo en la ZMCM, debiéndose utilizar el procedimiento de prueba establecido en la norma oficial mexicana correspondiente. La observancia de los referidos niveles corresponde a las autoridades federales, estatales y municipales que tengan a su cargo el establecimiento y operación de centros de verificación vehicular o, en su caso, particulares que cuenten con la autorización correspondiente, así como a los usuarios de los vehículos automotores en circulación equipados con motores que usen gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos como combustible.

Para los efectos de cuantificación de las emisiones deberán utilizarse los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas correspondientes.

Las dependencias de los gobiernos federal, estatales y municipales que tengan implementado en la fecha de publicación de esta norma oficial mexicana, un programa de verificación vehicular con analizadores de dos gases (siendo éstos HC y CO) están exentos del requerimiento de evaluar la dilución y nivel de oxígeno en los vehículos automotores hasta el día 1° de enero de 1996.

-Vehículos con cero kilómetros.

Los niveles máximos permisibles de emisión de gases por el escape de los vehículos automotores en circulación con cero kilómetros, en función del año-modelo, son los establecidos en la Tabla 5

TABLA NO.5					
Año-Modelo	Hidrocarburos (HC) ppm	Monóxido de carbono (CO) %	Oxígeno (O ₂) % Vol	Dilución (CO + CO ₂) % Vol	
	Más	Vol Más	Más	Mín	Más
1994 y posteriores	100	0.25	6.0	7.0	18.0

FIG.20

La observancia de estos niveles corresponde a las personas físicas o morales que fabrican y/o comercializan estos vehículos.

Los gobiernos del Distrito Federal, estatales y municipales en sus respectivas jurisdicciones son las autoridades competentes para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana. (14)

BIBLIOGRAFÍA

1.- Comisión Nacional para el Ahorro de energía. Guía para ahorrar gasolina en el automóvil. Dirección de Ahorro de Energía en el Transporte. 1995. México, D.F.

2.- Marmolejo, M. Afinación de Motores a Gasolina 1. The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space. 1996. México, D.F.

3.- Giacosa, D. Motores Endotérmicos. Editorial Dossat. 1980. Madrid, España. Pp. 758.

4.- Marmolejo, M. Afinación de Motores a Gasolina 2. The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space. 1996. México, D.F.

5.- Celestinos, J. Evolución de la Calidad de las Gasolinas en México, Tecnologías Aplicadas y Acciones para su Logro. Programa de Conferencias de Pemex-Refinación Convenio de Colaboración UNAM-Pemex, Facultad de Ciencias Químicas. 1995. México, D.F.

6.- Facultad de Ingeniería. Diciembre 1995.
Sistemas de Mejoramiento Ambiental, Curso 1995-1.

7.- Instituto Nacional de Ecología.
Situación General en Materia de Contaminación Ambiental, 1993-1994.

8.- Departamento del Distrito Federal. Octubre 1990.
Programa Integral contra la Contaminación.

9.- Departamento del Distrito Federal. Marzo 1996.
Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000.

10.- Instituto Nacional de Ecología. Diciembre 1992.
Boletín Informativo de la Calidad del Aire.

11.- Facultad de Ingeniería, UNAM. Marzo 1993.
Revista Ingeniería Civil.

- 12.- Instituto Nacional de Ecología.
Boletín Informativo de la Calidad del Aire, Compendio 1986-1992.
- 13.- Comisión Metropolitana para la Prevención y el Control de la Contaminación en el Valle de México. Diciembre 1995.
Acciones Metropolitanas ante Contingencias Ambientales 1995-1996.
- 14.- Instituto Nacional de Ecología. 1994.
Normas Oficiales en Materia de Protección Ambiental.
- 15.- Comisión Metropolitana para la Prevención y el Control de la Contaminación en el Valle de México. Diciembre 1995.
Informe Ejecutivo de la Calidad del Aire.
- 16.- GUERRA, Luis Manuel. Impactos Económicos y Ecológicos del Cambio de Combustibles en México. México, D.F. 1989. Fundación Friederich Ebert.
- 17.- Facultad de Ingeniería, UNAM.
Prácticas del laboratorio de máquinas térmicas.
- 18.- Perry Chilton Kirkpatrick.
Perry's Chemical Engineers Handbook.
McGraw-Hill 4th Edition.