

881217

12
24



UNIVERSIDAD ANAHUAC
VINCE IN BONO MALUM

UNIVERSIDAD ANAHUAC
ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

REGLAMENTO Y APLICACION PARA CONTROLAR
LA CONTAMINACION AMBIENTAL PROVOCADA
POR VEHICULOS DE GASOLINA
EN EL VALLE DE MEXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICO

PRESENTA:

MANUEL REYES ZUM BROOK

MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1989.



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 está 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.

INDICE

	página
I. Contaminación en el Valle de México.	1
A. Situación actual en el Valle de México.	1
B. Factores que contribuyen a la contaminación en el Valle de México.	2
C. La fuente móvil de contaminantes.	3
D. Reglamentación y esfuerzos realizados actualmente.	5
II. Análisis del motor de gasolina como fuente de contaminantes.	6
A. El ciclo Otto y el proceso de combustión.	6
B. Combustión.	8
C. Fuentes de contaminantes.	11
D. Tipos de contaminantes y sus efectos.	12
1. Hidrocarburos no quemados.	12
2. Monóxido de carbono.	13
3. Oxidos de nitrógeno.	14
4. Dióxido de azufre.	14
5. Partículas.	14
E. Formación de contaminantes.	15
1. Monóxido de carbono.	15
2. Oxidos de nitrógeno.	16
3. Hidrocarburos.	20
4. Partículas.	22
5. Olor.	23
III. Efectos de variables de diseño y operación sobre los gases de escape.	24
A. Efecto de las variables de diseño y operación sobre los hidrocarburos y el monóxido de carbono.	25
1. Relación aire-combustible.	25
2. Carga.	26
3. Velocidad de la máquina.	27

4. Avance o retraso de la chispa y características de la misma.	27
5. Contrapresión en el escape.	29
6. Traslape de válvulas.	29
7. Presión en el múltiple de admisión.	29
8. Depósitos en la cámara de combustión.	30
9. Temperatura en las paredes de la cámara.	30
10. Relación de la superficie de la cámara al volumen de la cámara.	31
11. Diseño de la cámara de combustión.	31
12. Relación de la carrera al diámetro.	31
13. Desplazamiento por cilindro.	32
14. Relación de compresión.	32
B. Efecto sobre los óxidos de nitrógeno.	
1. Relación aire-combustible.	32
2. Avance o retraso de la chispa.	33
3. Presión en el múltiple de admisión.	33
4. Velocidad de la máquina.	33
5. Traslape de válvulas.	33
6. Humedad.	34
7. Recirculación de gases de escape.	34
C. Efecto sobre los aldehidos.	34
D. Otros efectos sobre los gases de escape.	35
1. Efectos del calentamiento.	35
2. Efectos de la edad del vehículo.	35
IV. Sistemas anticontaminantes y métodos de medición.	38
A. Sistemas anticontaminantes.	38
1. Diseño del motor.	38
a. Emisiones del cárter.	38
b. Emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono.	39
c. Emisiones de óxidos de nitrógeno.	41
2. Diseño del sistema de suministro de combustible.	44

3.	Dispositivos de tratamiento de gases de escape.	45
a.	Procesos de absorción.	45
b.	Reactores térmicos e inyección de aire.	45
c.	Catalizadores.	46
4.	Dispositivos para el control evaporativo.	48
B.	Métodos de medición.	50
1.	Analizador infrarrojo.	50
2.	Detector de ionizador de flama.	52
3.	Cromatógrafo de gases.	54
4.	Analizador químico-luminoso de los óxidos de nitrógeno.	56
5.	Recorridos de prueba.	57
V.	Programa de instrumentación del reglamento.	61
A.	Programa para la aplicación del reglamento.	61
B.	Afinación anticontaminante.	63
C.	Instrumentación de las técnicas de medición para la aplicación del reglamento.	68
VI.	Recomendaciones y Conclusiones.	70
Apéndice:	Reglamento Federal para el control de la contaminación proveniente de automóviles de gasolina.	72
	Índice de tablas e ilustraciones.	82
	Bibliografía.	84

I. CONTAMINACION EN EL VALLE DE MEXICO

El objetivo de este estudio es el de demostrar la necesidad de reducir la emisión de contaminantes en la atmósfera del Valle de México y proponer un método para reducir la emisión de contaminantes provenientes de fuentes móviles que operan con gasolina.

A. Situación actual en el Valle de México.

El medio ambiente en el Valle de México se encuentra en una situación deplorable. Cada día se arrojan a la atmósfera miles de toneladas de contaminantes, los cuales permanecen en ésta. Un gran porcentaje de estos contaminantes tienen su origen en el automóvil, y con tres millones de éstos el problema es de una magnitud difícil de poner en perspectiva.

En 1986 la Ciudad de México alcanzó una población de 18 millones de personas, poniéndola en primer lugar mundial. Además, tiene más de tres millones de automóviles en circulación y fuentes oficiales estiman un crecimiento anual de 12%.

La contaminación no solo afecta a la atmósfera, sino también al suelo y al agua en la región. Diariamente se recogen en la ciudad miles de toneladas de basura, de las cuales parte se incinera con inevitables repercusiones sobre el medio ambiente. El problema se complica cuando recordamos que el Valle de México es el centro industrial más importante del país. Sin embargo el gran porcentaje de la contaminación ambiental proviene de los automóviles que cada día circulan en la ciudad.

Desgraciadamente una gran parte de estos vehículos no están en buenas condiciones de operación y por lo tanto contaminan más de lo que contaminarían si se tomaran una serie de medidas simples por parte del usuario.

B. Factores que contribuyen a la contaminación en el Valle de México.

La Ciudad de México tiene una altura promedio sobre el nivel del mar de 2240 metros. Esto significa que la presión atmosférica es baja y que la densidad del aire es menor que la que se observa al nivel del mar. Por esta razón la combustión de los motores de gasolina tiene menor eficiencia. Bajo estas condiciones, los motores tienden a producir niveles de monóxido de carbono e hidrocarburos más altos de lo normal. Otros contaminantes como los óxidos de nitrógeno deberían de reducirse, pero la altura beneficia al combustible volviéndolo más resistente a la detonación y permitiendo al usuario operar su vehículo con la chispa mucho más avanzada que a la altura del mar, con el inevitable aumento de éstos.

El aumento en la resistencia a la detonación también permite que PEMEX pueda distribuir y vender en el Valle de México combustible de mucho menor octanaje y calidad. Este combustible de menor calidad contiene residuos de moléculas que no se pueden quemar fácilmente en el motor, contribuyendo a la contaminación. Otros problemas del combustible son la falta de uniformidad y su alto contenido de SO_2 .

Otra característica del Valle de México es que está rodeado de

montañas que actúan como paredes de contención con los contaminantes. Esta característica topográfica ocasiona un fenómeno conocido como inversión térmica. La inversión sucede cuando las capas de aire que están por encima de los contaminantes se calientan y actúan como una tapa sobre el valle, evitando la salida de la masa de aire y contaminantes que se encuentra por debajo. Todo esto hace del Valle de México el peor lugar en el mundo para poner tres millones de vehículos y la planta industrial más grande del país.

C. La fuente móvil de contaminantes.

Como se mencionó anteriormente, gran parte de la contaminación ambiental en el Valle de México proviene de los vehículos de gasolina. A continuación se presenta una tabla producida por el Instituto Mexicano del Petróleo y ajustada para el número de vehículos en 1986.

En la tabla se ilustra el consumo diario de los principales tipos de combustibles utilizados en el Valle de México divididos por el tipo de usuario con su correspondiente emisión de CO, hidrocarburos, SO₂, y NO_x. Esta tabla describe el consumo de combustible en metros cúbicos diarios y la emisión de contaminantes en toneladas diarias.

En la tabla se puede observar que los automóviles son responsables del 99.9% de la emisión de CO, así como el 98.6% de los hidrocarburos y el 74.9% de los óxidos de nitrógeno. Es obvio que con estos niveles de contaminación, el automóvil es una de las principales fuentes que deben ser controladas para el mejoramiento del ambiente en el Valle de México.

Tabla 1.1

CONTAMINANTES EMITIDOS A LA ATMOSFERA POR COMBUSTION DE PRODUCTOS DEL PETROLEO EN EL VALLE DE MEXICO*

	CONSUMO M ³ /DIA	CO TON/DIA	HC TON/DIA	SO ₂ TON/DIA	NO _x TON/DIA
COMBUSTOLEO					
Ref. Alzcapotzalco*	190	0.045	0.057	11.4	1.64
C.F.E. V. México	3500	0.840	1.050	210.0	30.24
C.F.E. Lechería	1200	0.288	0.360	72.0	10.36
Otros	2123	0.509	0.630	127.4	18.34
Subtotal	7013	1.682	2.097	420.8	60.58
%		0.03%	.53%	76.%	14.4%
AUTOMOTRICES					
Nova	21105	5276.3	509.8	64.1	242.7
Extra	259	64.7	6.2	0.8	2.9
Diesel	4381	65.7	6.6	28.0	69.6
Subtotal	25745	5406.7	522.6	92.9	315.2
%		99.9%	98.6%	16.8%	74.9%
DIESEL					
C.F.E. Nonoalco	1564	0.375	0.469	11.3	13.51
C.F.E. Lechería	1512	0.362	0.453	10.9	13.06
Otros	1044	0.250	0.313	6.6	9.02
Subtotal	4120	0.987	1.233	28.8	35.59
%		0.02%	0.38%	5.2%	8.46%
DIAFANO					
	1103	0.264	0.33	10.8	9.53
%		0.005%	0.1%	1.95%	.64%
TOTAL	--	5409.633	526.263	533.3	420.91

* cortesía del IMP.

D. Reglamentación y esfuerzos realizados actualmente.

El resultado de los esfuerzos realizados hasta la fecha no ha sido satisfactorio. El único esfuerzo que ha tenido impacto ha sido la reglamentación de los procedimientos de aprobación para automóviles nuevos, pero éstos nunca se vuelven a revisar durante su vida y representan un porcentaje pequeño de los vehículos en operación.

La policía metropolitana también ha intentado remediar el problema por medio de una flotilla de vehículos equipados con instrumentos de prueba. Desgraciadamente este intento ha sido de espectro reducido.

Actualmente existen las normas oficiales para poder llevar a cabo todo tipo de pruebas de contaminantes pero no se les ha utilizado a su máximo.

Es obvia la necesidad de hacer algo al respecto de la contaminación ambiental en el Valle de México, a continuación se presenta un programa de bajo costo, que si se implanta correctamente debe de lograr una reducción del 50% sobre las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos, además de reducir los óxidos de nitrógeno gradualmente.

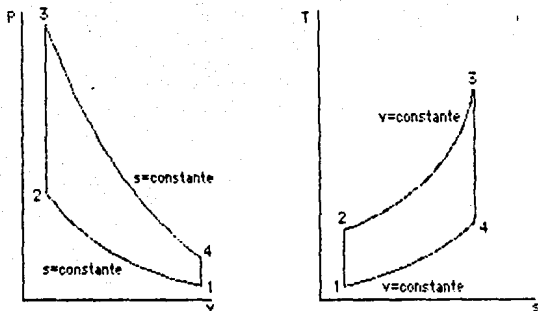
II. ANALISIS DEL MOTOR DE GASOLINA COMO FUENTE DE CONTAMINANTES

El motor de gasolina, como se indicó en el capítulo anterior, es una de las principales fuentes de productos contaminantes en la atmósfera. Este estudio se limitará al motor cuatro tiempos de gasolina automotriz, desde el punto de vista de su efecto contaminante. Los principios de operación de este tipo de motor son bien conocidos, de modo que solo se profundizará sobre los aspectos de combustión, formación de contaminantes, y las variables de diseño y operación que afectan a la producción de contaminantes.

A. El ciclo Otto y el proceso de combustión.

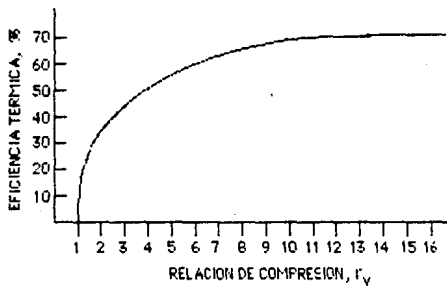
El ciclo Otto de aire estándar es un ciclo ideal que se aproxima al del motor de combustión interna de cuatro tiempos encendido por chispa. Este se ilustra aquí en los diagramas presión-volumen y temperatura-entropía.

Como se puede observar en el diagrama 1, el ciclo consiste de cuatro procesos independientes. El proceso 1-2 consiste en una compresión isoentrópica del aire mientras el pistón se desplaza hacia el punto muerto superior. El proceso 2-3 corresponde a una adición de calor a volumen constante la cual se aproxima a la combustión. El proceso 3-4 consiste en una expansión isoentrópica mientras el pistón se desplaza hacia el punto muerto inferior. Finalmente, el proceso 4-1 corresponde al escape, idealizado aquí como una transferencia de calor a volumen constante.



2.1 Ciclo Otto de aire estándar.

El rendimiento del ciclo es función de la Relación de Compresión de la siguiente manera:



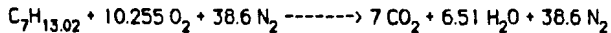
2.2 Rendimiento del ciclo en función de la Relación de Compresión.

Se puede observar que a mayor relación de compresión, se obtendrá un mejor rendimiento. Desafortunadamente, nos vemos limitados a relaciones de compresión cercanas a 8:1 debido a las características detonantes del combustible y su repercusión sobre las emisiones contaminantes.

Desde nuestro punto de vista, el proceso más importante del ciclo Otto es el de la combustión, ya que la mayoría de los productos contaminantes originados en el motor se deben a una combustión imperfecta.

B. Combustión.

La combustión es una reacción química por medio de la cual se oxida el combustible presente en la mezcla que se introduce al motor. La combustión de una mezcla de combustible hidrocarburo y aire se puede representar por la siguiente ecuación simplificada, la cual está escrita para el Indolene:



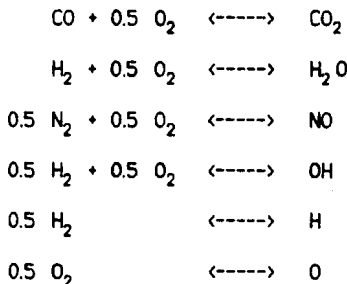
El Indolene es un combustible estandarizado, comunmente utilizado para pruebas contaminantes y cuya molécula promedio se puede representar por $7(CH_{1.86})$.

La relación aire-combustible estequiométrica por peso para este combustible es de 14.5/1. Hay que tomar en cuenta que para un combustible con distinta relación entre carbonos e hidrógenos la relación

aire-combustible será diferente.

Un examen mas detallado de la combustión de hidrocarburos y aire nos muestra que varias reacciones intermedias ocurren simultáneamente y que sus productos varían dependiendo de la presión y temperatura a las que se lleven a cabo. Para una cantidad dada de combustible y aire que reaccionan, los productos consisten en una cantidad fija de H, C, O y N. Si los productos de las reacciones permanecen suficiente tiempo a una presión y temperatura, alcanzarán una condición de equilibrio. Bajo estas condiciones, en el rango de temperaturas y presiones en el que operan los motores de gasolina se pueden detectar diez compuestos, éstos son:

O_2 , N_2 , CO_2 , H_2O , CO , H_2 , OH , NO , O y H . Estos compuestos se sabe que reaccionan como se describe en las siguientes seis ecuaciones.



Con estas ecuaciones y cuatro ecuaciones adicionales basadas en el combustible particular que se esté utilizando y las velocidades de reacción, se puede calcular teóricamente la concentración de cada uno de

los compuestos resultantes de la combustión. Una explicación detallada de estos cálculos está más allá del espectro de este estudio, de modo que se omitirá.

Desde un punto de vista termodinámico, la combustión se estudia como un proceso en el cual se introduce calor a un volumen de control. La cuantificación de este fenómeno se logra aplicando la primera Ley de la Termodinámica a éste, haciendo uso de la entalpía de formación para los compuestos que sufren una transformación durante el proceso.

La entalpía de formación se utiliza para cuantificar el calor que se libera o se utiliza durante la formación o disociación de un compuesto químico. Cada compuesto tiene una entalpía de formación, cuyo valor se ha obtenido por medio de la termodinámica estadística.

El combustible que se utiliza en los motores de gasolina está compuesto por un gran número de sustancias químicas, cada una con una entalpía de formación diferente, por lo tanto, es difícil encontrar la entalpía de formación de la mezcla.

Sin embargo, conociendo las concentraciones iniciales y finales de cada sustancia, se puede encontrar el calor generado durante la combustión, así como la temperatura y presión de la mezcla durante ésta. Lo anterior es una idealización teórica, que sólo se aproxima a lo que sucede en realidad dentro del motor, ya que las condiciones son variables en cada instante del proceso, los tiempos demasiado cortos para poder

permitir equilibrio y además hay transferencia de calor a las paredes de la cámara. Todo esto da como resultado combustiones incompletas y fenómenos de pirólisis sobre el combustible. Estas imperfecciones son las que dan lugar a la producción de contaminantes.

C. Fuentes de contaminantes.

Existen tres fuentes de contaminantes en los vehículos. Primeramente el 25% de los hidrocarburos no quemados provienen de los gases fugados por los anillos que se almacenan en el cárter. En la actualidad estos se recirculan al carburador para ser quemados de nuevo. En segundo lugar, los hidrocarburos evaporados en el carburador y en el tanque de gasolina representan el 20%. Para controlarlos se utilizan sistemas de tanque de gasolina sellados y recolectores de vapor en el carburador, así como filtros de carbón activado. Finalmente tenemos el escape como principal fuente de contaminantes, con el 100% del CO, 100% de los NO_x y el 55% de los hidrocarburos.

Otro contaminante es el SO₂, origen de la lluvia ácida, el cual no es causado por combustión imperfecta sino por azufre en el combustible. La gasolina utilizada en vehículos proviene del petróleo, y éste a su vez contiene grandes cantidades de azufre, el cual se trata de eliminar durante la producción del combustible. Sin embargo, siempre quedan rastros de azufre, el cual al someterse a la combustión produce SO₂. Aun así, la contribución de SO₂ proveniente de vehículos de gasolina en el Valle de México asciende a 92.9 toneladas diarias, que representan el 17%. Esta

cifra a pesar de ser muy alta no tiene un impacto significativo. La producción de SO_2 no está afectada por el diseño u operación del vehículo, sino por la composición del combustible, de manera que no se pondrá mayor énfasis en su control, pues no depende del vehículo.

Si la combustión fuera perfecta, aparte del SO_2 , solamente se obtendría CO_2 y H_2O . El agua nunca se ha considerado un contaminante, y aunque el CO_2 tampoco se le había considerado como tal, se ha observado que la mitad del CO_2 que se arroja a la atmósfera proveniente de la combustión permanece en ésta. Como el CO_2 tiene efectos potenciales sobre el clima, a muy largo plazo se le puede considerar contaminante. En la actualidad se considera que el CO_2 ocasionará una elevación de la temperatura promedio del planeta, con graves repercusiones.

Así que podemos concluir que excepto por el SO_2 y el CO_2 , todos los demás contaminantes son resultado de una combustión imperfecta o incompleta.

D. Tipos de contaminates y sus efectos.

1. Hidrocarburos no quemados.

En el escape se encuentran rastros de hidrocarburos no quemados o parcialmente quemados. También se escapan a la atmósfera por evaporación, inclusive cuando se utilizan los controles adecuados. Desde el punto de vista energético éstos son despreciables, sin embargo, son

nocivos pues producen olor, "smog" fotoquímico, irritación, malestar y posiblemente cáncer. La mecánica de la formación del "smog" fotoquímico no es bien conocida, sin embargo se sabe que los hidrocarburos no quemados, en forma gaseosa, junto con los óxidos de nitrógeno y la luz del sol reaccionan para formarlo. El "smog" fotoquímico que se presenta con un color naranja, irrita los ojos y afecta al sistema respiratorio. A la tendencia de un hidrocarburo a formar "smog" se le denomina índice de reactividad y ésta depende de la localización de los enlaces dobles y triples en su molécula. Entre mayor reactividad tenga un compuesto será menos deseable.

Los hidrocarburos no oxidados en su totalidad también aparecen como partículas. En un motor de gasolina con tetraetilo de plomo, éste último también formará parte de las partículas arrojadas por el escape.

2. Monóxido de carbono.

Este se presenta cuando hay una deficiencia de aire en la mezcla, y en concentraciones altas representa una cantidad de energía química considerable.

La toxicidad del monóxido de carbono es bien conocida y ésta ocurre debido a que la hemoglobina en la sangre tiene mayor afinidad al monóxido de carbono que al oxígeno, formándose lo que se conoce como carboxihemoglobina. Su toxicidad depende del tiempo de exposición y de la concentración. En altas concentraciones causa la muerte.

3. Oxidos de Nitrógeno.

Los óxidos de nitrógeno (NO , NO_2 , N_2O , etc.) se forman en los procesos de combustión a alta temperatura. A pesar de no ser termodinámicamente estables a temperatura ambiente, se destruyen muy lentamente durante el proceso de escape y en la atmósfera.

Al igual que el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno tienden a disolverse en la sangre, sin embargo, su efecto más nocivo consiste en que se combine con la humedad de los pulmones y forme ácido nítrico, aunque la solución de éste por lo general es muy débil.

4. Dióxido de azufre.

El SO_2 proveniente de los automóviles es despreciable en comparación al emitido por la combustión de carbón y combustóleo. En presencia de humedad el SO_2 forma ácido sulfúrico, especialmente a altas temperaturas, provocando la lluvia ácida, afectando así al hombre directamente.

5. Partículas.

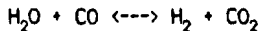
Como se mencionó anteriormente, las partículas en los gases de escape provienen de los hidrocarburos mal quemados, del tetraetilo de plomo (TEL) y del SO_2 . Si se utiliza TEL para controlar la combustión, el 70% de éste es arrojado con los gases de escape y sólo el 30% se precipita rápidamente, quedando el 40% de éste en suspensión en la atmósfera.

Al plomo se le conoce como un compuesto altamente tóxico, sin embargo, el hombre ingiere grandes cantidades de éste con la comida en comparación al absorbido del aire, sin embargo suspendido en la atmósfera si llega a afectar cosechas.

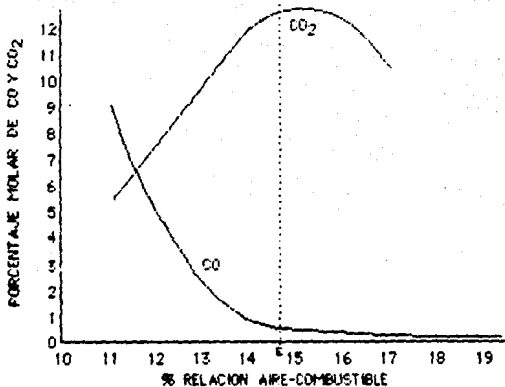
E. Formación de contaminantes.

1. Monóxido de carbono.

La aparición del CO en el proceso de la combustión se debe a la insuficiencia de aire en la mezcla. En principio, la concentración de CO en el escape corresponde al equilibrio químico representado por la siguiente ecuación:



De esta manera, mezclas pobres y estequiométricas darán como resultado una concentración baja de monóxido de carbono. Para mezclas ricas por simple falta de oxígeno se obtendrá una concentración alta del mismo, inclusive a bajas temperaturas. Se puede concluir que para el motor de gasolina, las emisiones de CO varían notablemente con la relación aire-combustible. A continuación se ilustra la variación del CO y del CO₂ con respecto a la relación aire-combustible. Como se puede observar las tendencias son opuestas para los dos compuestos, con un punto de inflexión cerca de la relación estequiométrica de 14.7 a 1 indicada con una E en los diagramas.



2.3 Contenido de CO y CO₂ con respecto a la relación aire-combustible.

2. Oxidos de nitrógeno.

El principal óxido de nitrógeno formado durante la combustión es el NO, que es de alta entalpía de formación en relación al N₂ y O₂.

El NO se produce durante la combustión y su formación es favorecida por la presencia de altas temperaturas dentro de la cámara, ya que éstas permitirán la fácil disociación del N₂ y del O₂. Las altas temperaturas también proporcionan la energía térmica requerida para la formación de este compuesto.

Los cálculos de equilibrio químico predicen que las concentraciones de NO en los productos de la combustión deberían alcanzar valores en el

rango de algunas partes por millón hasta uno o dos en porcentaje durante la etapa de más alta temperatura durante el proceso. Estos cálculos suponen que habrá suficiente tiempo para lograr equilibrio químico, sin embargo, experimentos recientes han indicado que el tiempo requerido para lograr este equilibrio es mucho mayor que el que dura la combustión. Debido a la falta de tiempo se logran niveles más bajos de los que se podrían presentar

La formación de NO solo sucede durante las etapas de alta temperatura, ya que a bajas temperaturas tiende a disociarse. Este fenómeno se ve complicado por las velocidades de reacción de la formación y la disociación, las cuales son muy sensibles a la temperatura.

Se mencionó, que afortunadamente el intervalo de tiempo en el que la temperatura es lo suficientemente alta para permitir la formación del NO es muy corto para permitir que se logren los niveles de equilibrio, los cuales pueden ser muy altos. Es importante mencionar que el NO se forma a mucho mayor velocidad que a la que se disocia. De esta manera, a pesar de que los cálculos de equilibrio indican que todo el NO se debería disociar eventualmente a baja temperatura, el proceso es tan lento que para fines prácticos se puede decir que una vez formado, éste será arrojado a la atmósfera.

Se puede decir que la concentración de NO dependerá de la velocidad de la reacción, la cual será afectada por la temperatura, el tiempo disponible, y la concentración de oxígeno. Se ha observado que los niveles

de NO tienden a ser bajos para mezclas ricas y logran su máximo en mezclas con 10% de exceso de aire. En mezclas con mas de 10% de exceso de aire la temperatura disminuye durante la combustión formándose menos NO, mientras que en mezclas con menos de 10% de exceso de aire, la falta de oxígeno libre inhibe la formación de éste.

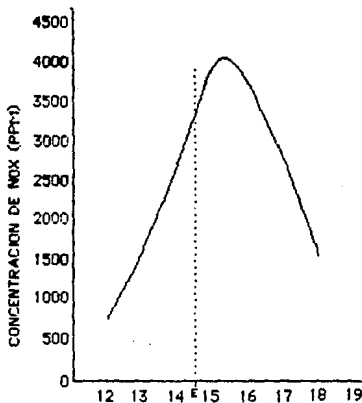
Dentro de la cámara de combustión la formación de NO principia en el momento en que el frente de flama consume la primera porción de la mezcla. Debido a que la concentración de NO depende de la temperatura y del intervalo de tiempo al que se somete la mezcla, la concentración de NO será máxima en las partículas cercanas a la chispa, pues estarán sometidas a mayores presiones por más tiempo. Se ha verificado que en este punto se llegan a presentar los niveles de equilibrio para la reacción.

Como se mencionó, la relación aire-combustible afecta sensiblemente la concentración de NO. En el diagrama número 4 se observa que la concentración máxima de NO_x se presenta a relaciones aire-combustible superiores a la estequiométrica, y coincide con la relación aire-combustible a la que se dan las más altas temperaturas.

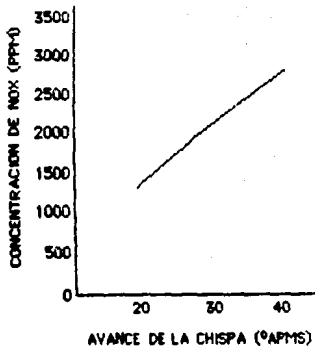
El avance de la chispa también afectará a la formación de NO, pues a mayor avance habrá más tiempo antes de que los productos de la combustión sean enfriados por la expansión. Sin embargo, si el avance es excesivo la combustión se verá perjudicada, lográndose así menor temperatura. Del mismo modo, si el avance es reducido, la energía del combustible proporcionará menos trabajo y por consiguiente más calor,

propiciando la formación de NO, aunque del mismo modo el tiempo se verá reducido. Por lo general, las concentraciones más altas de NO se observan con chispas avanzadas.

Una vez formado el NO, tenderá a transformarse en NO₂ en presencia del oxígeno libre en el sistema de escape y en la atmósfera. El NO₂ a su vez formará "smog" fotoquímico como se mencionó anteriormente.



2.4 Efecto de la relación aire-combustible sobre los NO_x



2.5 Efecto del avance de la chispa sobre los NOx.

3. Hidrocarburos.

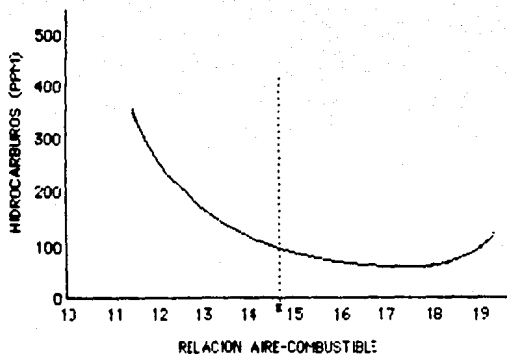
A diferencia del CO y NO, los hidrocarburos no son sustancias que uno espera encontrar en los productos de la combustión a alta temperatura. Los cálculos de equilibrio demuestran que las cantidades de éstos deberían ser inmesurables, además las reacciones de oxidación de hidrocarburos son sumamente rápidas. De lo anterior se deduce que la aparición de hidrocarburos en los gases de escape se debe a que éstos nunca fueron encendidos satisfactoriamente. La explicación más simple de esto consiste en suponer que los hidrocarburos nunca llegaron a la temperatura de autoinflamación, la cuál se ve afectada por la producción y transmisión de calor. Esta producción y transmisión de calor se ve afectada por lo

siguiente:

- a) La mezcla es tan rica o tan pobre que la oxidación es muy lenta causando que la ignición no ocurra por pérdidas de calor.
- b) La relación superficie/volumen sea tan grande que la consecuente pérdida en calor por las paredes de la cámara no permita la ignición.
- c) Las pérdidas de calor de la mezcla cercana a una pared sean altas y no le permitan encenderse.

En un motor de combustión interna la compresión no tiene mayor consecuencia, sin embargo, la presencia de paredes en la cámara de combustión ocasionan la pérdida de calor de la mezcla cercana a éstas. Esta pérdida ocasiona una capa de mezcla aire-combustible aledaña a las paredes que no logra encenderse. Se piensa que el espesor de ésta capa enfriada es función de la relación aire-combustible y de la presión.

Se estima que una porción de estos hidrocarburos se queman durante el escape, por esta razón es importante que la temperatura y la concentración de oxígeno durante la expansión y escape sean altas. La figura ilustra el efecto de la relación aire-combustible sobre la emisión de hidrocarburos:



2.6 Variación de los HC con la relación de aire-combustible.

El espesor de la capa enfriada es mínimo con la mezcla un poco rica, sin embargo, no habrá oxígeno sobrante para oxidar los hidrocarburos no quemados durante el escape. Si la mezcla es pobre, la capa enfriada será de mayor espesor, teniendo así más HC. Se ha observado que las concentraciones de HC son menores con mezclas pobres. También se ha visto que retrasando la chispa se logran concentraciones menores de HC, debido a la temperatura más alta de combustión y escape.

4. Partículas.

En general en los motores de gasolina con mezclas homogéneas es difícil observar partículas en la fase gaseosa, a menos de que se trabaje con mezclas muy ricas.

Una partícula sólida consiste en una aglomeración de carbón e hidrocarburos, donde los hidrocarburos tienen un contenido de carbono mayor al del combustible original, así que es necesario deshidrogenarlo y polimerizarlo y finalmente aglomerar moléculas para formar partículas.

En los últimos años se han usado supresores de humos en los combustibles, por lo general a base de Bario. No está claro si estos aditivos afectan la formación o la destrucción de las partículas.

En motores de gasolina, las partículas se forman en las paredes de la cámara a partir del combustible y el lubricante, además del tetraetilo de plomo que también forma partículas.

5. Olor.

La determinación de la causa del olor ha sido un proceso muy lento, por la complejidad y heterogeneidad del proceso de combustión y la falta de equipo con la suficiente sensibilidad. Actualmente los instrumentos sólo llegan a detectar concentraciones de una parte en 10^9 a diferencia de la nariz que llega a detectar una parte en 10^{21} . Se cree que gran parte del mal olor sea causado por aldehídos formados durante la combustión. Los aldehídos se forman por la reordenación de las moléculas de hidrocarburos sujetas a bajas temperaturas y demasiado oxígeno durante la combustión.

III. EFECTOS DE VARIABLES DE DISEÑO OPERACION SOBRE LOS GASES DE ESCAPE

El escape de hidrocarburos, aldehidos, monóxido de carbono y NO puede ser minimizado mediante el control de varios parámetros interrelacionados del diseño y operación del motor. Otros factores importantes para la reducción de contaminantes son la preparación, distribución y composición del combustible, y la utilización de los sistemas anticontaminantes de los que se hablará en el siguiente capítulo. Las variables de diseño y operación que más afectan a la producción de contaminantes son:

- Relación aire combustible
- Carga
- Velocidad de la máquina
- Avance o retraso de la chispa y características de la misma
- Contrapresión en el escape
- Traslape de válvulas
- Presión del múltiple de admisión
- Depósitos en la cámara de combustión
- Temperatura de las paredes de la cámara
- Relación de la superficie de la cámara al volumen de la cámara
- Diseño de la cámara de combustión
- Relación de la carrera al diámetro
- Desplazamiento por cilindro
- Relación de compresión
- Duración de la etapa de calentamiento

En la primera parte de este capítulo se discutirán los efectos de estas variables de diseño y operación sobre las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos, ya que una vez formadas, ambas se pueden reducir por medio de oxidación. En la segunda parte se discutirán los efectos de estas variables sobre los óxidos de nitrógeno, pues éstos a diferencia de los hidrocarburos y monóxido de carbono, se tienen que destruir por medio de reducción química. En la tercera parte se discutirán los efectos de estas variables sobre los aldehidos producidos en el motor.

A. Efecto de las variables de diseño y operación sobre los hidrocarburos y el monóxido de carbono.

1. Relación aire-combustible.

Como se mencionó anteriormente, al empobrecer la mezcla se reduce la emisión de hidrocarburos, sin embargo, si ésta se empobrece demasiado la capa enfriada adena a las paredes de la cámara aumenta en espesor produciéndose así más hidrocarburos. Un carburador estándar entrega mezclas en el rango de 15 a 16.5 : 1, desgraciadamente es difícil operar con mezclas más pobres pues el manejo se deteriora significativamente. Pruebas en dinamómetro han demostrado que la producción de hidrocarburos decrece a su mínimo con relaciones de 17:1, al empobrecer más la mezcla los hidrocarburos aumentan pues la combustión es incompleta.

Otros factores afectan la emisión de hidrocarburos, como el efecto de la relación aire-combustible sobre el espesor de la capa enfriada y la concentración de combustible en ésta. También durante el proceso de

escape los hidrocarburos continúan oxidándose, por eso es importante tener excedentes de oxígeno y alta temperatura durante este proceso para facilitar la oxidación.

El monóxido de carbono se reducirá con el empobrecimiento de la mezcla. Sin embargo, si se empobrece a la mezcla considerablemente, la combustión será ineficiente ocasionando un aumento en el CO.

Es aparente la necesidad de operar con mezclas pobres y con poca variación, por lo tanto, es necesario desarrollar sistemas de carburación más precisos y combustibles más uniformes. Se recomienda ver las ilustraciones 2.3, y 2.6 del capítulo anterior.

2. Carga.

La carga del motor afecta a los hidrocarburos de dos formas. Primeramente la carga reduce el tiempo de residencia en el sistema de escape ocasionando una disminución en la oxidación que ocurre en el sistema y por lo tanto un aumento de los HC. Por otro lado la carga aumenta la turbulencia y temperatura en la cámara, consecuentemente se reduce el espesor de la capa enfriada y por lo tanto los HC. Se sabe que el espesor de la capa enfriada disminuye linealmente con el aumento de presión, la cual aumenta con la carga. La emisión de masa total de hidrocarburos no se ve seriamente afectada por la carga.

Con una relación aire-combustible fija, la concentración de monóxido de carbono no varía, sin embargo, la masa total emitida sí aumenta.

3. Velocidad de la máquina.

La concentración de contaminantes disminuye notablemente con el aumento de velocidad, pues se mejora la combustión por haber mejor mezclado y difusión a causa de la turbulencia. Este aumento en la turbulencia promueve la oxidación en la capa enfriada y de los productos de la combustión en el sistema de escape.

La concentración del monóxido de carbono no disminuye con la velocidad, pues su oxidación está limitada cinéticamente y no por el mezclado, sin embargo el volumen emitido será mayor con mayores velocidades. Los hidrocarburos se reducen en concentración con aumentos de velocidad pero el mayor flujo compensa el efecto.

4. Avance o retraso de la chispa y características de la misma.

El retrasar la chispa un poco tiende a reducir los hidrocarburos emitidos, pero la economía y la potencia se ven seriamente afectadas. Esto sucede debido a que parte de la energía no es utilizada para producir trabajo, sino calor. Este exceso de calor ayudará a reducir el espesor de la capa enfriada. Sin embargo habrá necesidad de pedir más potencia al motor debido a la poca eficiencia. Al pedir mayor potencia al motor, necesariamente habrá más flujo de mezcla y contaminantes.

Por otro lado, se ha observado que al avanzar la chispa se da más tiempo a la combustión permitiéndose así la mejor oxidación de los HC. Sin embargo, si el avance es excesivo habrá problemas de detonación, llegándose a un mínimo de hidrocarburos emitidos con un avance de solo 5°

del punto muerto superior. Se ha observado que con mayor avance se pueden lograr menos concentraciones, sin embargo los óxidos de nitrógeno se ven seriamente afectados, como se discutirá a continuación. El efecto de menor concentración de hidrocarburos en el escape se deriva de la mayor temperatura lograda y un decremento en la razón de superficie a volumen de la cámara debido a la posición del pistón durante la combustión.

El monóxido de carbono no se ve afectado en su concentración, aunque con mucho retraso, se puede tener poco tiempo para lograr su oxidación. Debido al retraso, que reduce la potencia, se requiere aumentar el flujo de mezcla, aumentándose así la masa de CO emitida, pero la concentración se reduce un poco debido a la mayor temperatura de escape, contrarrestándose entre sí los fenómenos.

La calidad de la chispa también afecta la concentración de HC y CO. Si la chispa no tiene la tensión y duración suficiente, la combustión no será eficiente. Con una mala ignición, la combustión tomará más tiempo en empezar ocasionando que las últimas partículas en oxidarse lo hagan a menor presión y temperatura, aumentando la capa enfriada que es la última en oxidarse. Esto causará un aumento de los hidrocarburos. Por otro lado, esta combustión ineficiente producirá menos trabajo y más calor, y por lo tanto beneficiará la oxidación en el sistema de escape. Sin embargo, el efecto prevaeciente será el primero y los HC aumentarán con una mala chispa. El monóxido de carbono no se verá seriamente afectado a menos de que la combustión sea tan mala que no ocurra en su totalidad.

5. Contrapresión en el escape.

Al aumentar la contrapresión en el escape también aumenta la cantidad de residuo de gases en el cilindro, mientras la mezcla fresca no se diluya al punto de no efectuarse la combustión se logrará una disminución de hidrocarburos, pues éstos se queman en el ciclo subsecuente. La presencia de este residuo aumenta los hidrocarburos si el motor se opera en vacío, pues la mezcla ya está bastante diluida, y al aumentar la cantidad de residuo se deteriora la combustión.

6. Traslape de Válvulas.

El aumentar el traslape tiene el mismo efecto que aumentar la contrapresión, pues se diluye la mezcla. Un poco de traslape disminuye los hidrocarburos, pero si éste es demasiado los HC aumentan. En general la emisión óptima se logra con poca contrapresión y un traslape mínimo. El monóxido de carbono no se ve afectado si la relación aire-combustible se mantiene constante.

7. Presión en el múltiple de admisión.

El carburador dosifica gasolina de acuerdo a la presión en el múltiple a través de las espreas. El carburador también tiene una bomba auxiliar para enriquecer la mezcla durante la aceleración pues se empobrece debido al aumento de presión en el múltiple. Esta bomba arroja un chorro el cual se puede depositar en las paredes del múltiple, y al disminuir la presión se evapora el combustible repentinamente, variando la relación aire-combustible. La relación aire-combustible puede variar bruscamente con los cambios de presión, pues se puede condensar y evaporar

combustible en el múltiple. Los efectos sobre los contaminates son los mismos que se observan con la variación de la relación aire-combustible.

8. Depósitos en la cámara de combustión.

Se sabe que la fuente principal de los depósitos en la cámara es el tetraetilo de plomo, los cuales se estabilizan en el motor después de 5000 o 6000 Km. Una segunda fuente de depósitos en la cámara son las cenizas que se presentan a raíz de los aditivos en los lubricantes, que se llegan a introducir a la cámara por los anillos o por las guías de las válvulas, y por el combustible, formados principalmente por carbono. Los efectos de los dos tipos de partículas son los mismos.

Los depósitos aumentan la superficie de la cámara de combustión por ser porosos e irregulares. Este aumento en la superficie da como resultado un incremento en la capa enfriada y por tanto, en los hidrocarburos, además la relación de compresión también aumenta contribuyendo a lo anterior. Otro efecto de los depósitos es que actúan como esponja, recogiendo partículas de combustible las cuales son arrojadas después de ser quemadas, de nuevo aumentando la emisión de hidrocarburos. Se ha utilizado dibromuro de etileno como aditivo para reducir los depósitos. Los depósitos no afectan la emisión de CO.

9. Temperatura de las paredes de la cámara.

La temperatura afecta el espesor de la capa enfriada y la temperatura de escape, disminuyéndose hasta en 33% los hidrocarburos con un aumento de 55 C. La temperatura no afecta al CO, excepto en casos extremos.

10. Relación de la superficie de la cámara al volumen de la cámara.

Para un volumen dado de la cámara, entre menor sea su superficie, menor será el volumen de la capa enfriada y menor la emisión de hidrocarburos. El CO no se ve afectado con variaciones de esta relación.

11. Diseño de la cámara de combustión.

El diseño de la cámara de combustión es una de las variables más complejas de evaluar. El diseño afecta la relación de la superficie de la cámara al volumen de la misma, así como el mezclado de la carga aire-combustible y el subsecuente vaciado durante el ciclo de escape. Otro factor importante sobre el diseño es la velocidad a la que se desplaza el frente de flama durante la combustión, pues afecta la eficiencia de la misma y la formación de los NO_x . Desafortunadamente es imposible optimizar todos los factores afectados por el diseño de la cámara al mismo tiempo. El desarrollo en esta área será el que nos dará mejoras en la emisión de contaminantes sin necesidad de equipos adicionales, y por lo tanto a bajo costo.

Desde el punto de vista de la contaminación, es importante diseñar cámaras con el mínimo de superficie, que a su vez promuevan un buen mezclado, combustión eficiente, y buen vaciado durante el escape.

12. Relación de la carrera al diámetro.

Una máquina de carrera larga y diámetro pequeño tendrá una cámara con una relación de superficie a volumen pequeña, pues entre más parecida sea la cámara a una esfera, menor será su superficie. Desgraciadamente el

diseñador moderno prefiere carreras cortas para reducir fricción, aumentar la potencia y disminuir el tamaño del motor. Como se mencionó anteriormente, con menor superficie se reducen los HC.

13. Desplazamiento por cilindro.

Si se aumenta el desplazamiento por cilindro, se puede reducir el número de éstos, reduciéndose así la superficie total de las cámaras y por lo tanto los hidrocarburos en el escape.

14. Relación de compresión.

Al aumentar la relación de compresión, se disminuye más el volumen que la superficie de la cámara, perjudicando un poco la emisión de hidrocarburos. Si se disminuye la relación de compresión, se baja el rendimiento del motor, teniéndose así una mayor temperatura en el escape, mejorando la emisión de hidrocarburos.

B. Efectos sobre los óxidos de nitrógeno.

La concentración de los óxidos de nitrógeno depende de la diferencia de la velocidad de formación a la temperatura máxima del ciclo y la velocidad de disociación durante la expansión.

1. Relación aire-combustible.

Esta afecta a la temperatura máxima del ciclo así como la disponibilidad de oxígeno. La temperatura máxima se observará con relaciones ricas, con poca presencia de oxígeno. Por otro lado, con mezclas pobres, el oxígeno es abundante pero la temperatura no es tan

alta. Relaciones cercanas a la estequiométrica producen el máximo de NO. Se recomienda ver la ilustración 2.4 en el capítulo anterior.

2. Avance o retraso de la chispa.

El avance a cualquier carga o velocidad aumenta el NO, pues aumenta el tiempo a temperatura máxima. El retraso de la chispa es una de las maneras más efectivas de reducir los óxidos de nitrógeno a bajo precio. Se recomienda ver la ilustración 2.5 en el capítulo anterior.

3. Presión en el múltiple de admisión.

Un incremento en el vacío del múltiple tiene por consiguiente un decremento de carga y un incremento en el residuo de gases en la cámara. Estos dos efectos tienen como resultado una disminución de temperatura durante la combustión. Cualquier disminución de temperatura es benéfica a la reducción de los óxidos de nitrógeno.

4. Velocidad de la máquina.

Al aumentar la velocidad se incrementa la turbulencia y se reducen las pérdidas de calor aumentándose así la temperatura y presión. Además, por lo general, al aumentar la velocidad de la máquina se avanza la chispa. Como se puede observar, a mayor velocidad, mayor producción de óxidos de nitrógeno.

5. Temperatura del Refrigerante.

Si se aumenta la temperatura del refrigerante también se aumentará la de combustión, y por lo tanto los NO_x.

6. Humedad.

Al aumentar la humedad ambiente se reduce la temperatura máxima del ciclo. Esto ocasionará una reducción de los NO_x . Existe un sistema que trata de hacer uso de este fenómeno para reducir los NO_x , con el inconveniente de que hay que mantener un pequeño tanque de agua siempre lleno en el automóvil. La humedad aumenta la capacidad calorífica de la mezcla, ocasionando menores temperaturas.

7. Recirculación de gases de escape.

Se pueden reducir los óxidos de nitrógeno por medio de la recirculación de los gases de escape, pues aumenta la capacidad calorífica de la mezcla, y disminuye la energía proveniente de la mezcla pues se diluye ésta. Esto ocasiona una reducción en la temperatura máxima del ciclo y por lo tanto en los NO_x . La recirculación se puede lograr por el traslape de válvulas o de un sistema adicional.

C. Efectos sobre los aldehídos.

Los aldehídos son hidrocarburos oxigenados que se producen debido a una oxidación parcial de los hidrocarburos durante las reacciones iniciales del ciclo de combustión. Los principales aldehídos son el formaldehído (HCHO), el acetaldehído (CH_3CHO), y la acroleína ($\text{C}_2\text{H}_3\text{CHO}$). Estos causan mal olor y son altamente irritantes.

Normalmente los aldehídos presentes en el escape provienen de una combustión a baja temperatura en donde fueron enfriados a medio proceso

de combustión, pues de no ser así, se oxidarían. El enfriado por las paredes o por un diluido excesivo de la mezcla son las causas por las que se presentan. Durante la expansión se presentan procesos de combustión de baja temperatura adicionales, especialmente con sistemas de inyección de aire. El formaldehído representa el 70% de éstos, el acetaldehído, acroleína y benzaldehído representan el otro 30%. Los aldehídos se presentarán en grandes cantidades durante el calentamiento del motor y son los que ocasionan en gran parte el mal olor durante esta etapa.

D. Otros efectos sobre los gases de escape.

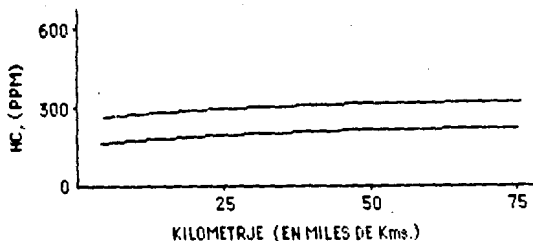
1. Efectos del calentamiento.

Hay que hacer hincapié en que un motor mientras se calienta produce grandes cantidades de hidrocarburos, monóxido de carbono, y aldehídos, debido a una combustión incompleta, mientras el NO casi no se presenta. Al calentarse el monóxido de carbono y los hidrocarburos se van reduciendo y el NO aumentando hasta estabilizarse.

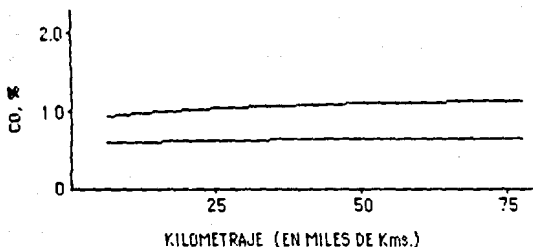
Hay que recordar que los reactores térmicos y los estabilizadores no operan tampoco sino hasta que llegan a su temperatura de operación.

2. Efectos de la edad del vehículo.

Con el uso, todos los vehículos sufren deterioro en la cantidad y concentración de contaminantes que arrojan al ambiente. En las siguientes gráficas se demuestra el efecto del kilometraje sobre los HC y el CO.



3.1 Efecto del kilometraje sobre la emisión de HC.



3.2 Efecto del kilometraje sobre la emisión de CO.

En estas dos gráficas la línea superior representa las emisiones de un vehículo modelo 1975 desde nuevo, la línea inferior representa las emisiones de un modelo 1986 desde nuevo.

Desde el punto de vista de la edad del automóvil, se puede observar en la siguiente tabla que el deterioro a través de los años es significativo.

TABLA 3.1
DETERIORO DE LAS EMISIONES DE CO Y HC EN VEHICULOS USADOS

Edad del vehículo	Factor de deterioro	
	HC	CO
Nuevo	100.0	100.0
1 año	106.3	105.5
5 años	125.2	119.5
10 años	129.6	120.1
15 años	130.2	120.3

De la tabla anterior se puede deducir que un automóvil de más de 10 años de edad estará contaminando casi un 30% más que de nuevo en lo que respecta a los HC y 20% con respecto al CO. De lo anterior se puede asumir arbitrariamente que la edad útil de un vehículo de gasolina con respecto a la emisión de contaminantes es de 10 años.

Hay que recordar que tanto las gráficas como la tabla asumen un mantenimiento de los vehículos razonablemente bueno.

Esta tabla y gráficas son de gran utilidad pues permiten tener una mejor perspectiva de como regular la concentración de emisiones en vehículos usados.

IV. SISTEMAS ANTICONTAMINANTES Y METODOS DE MEDICION.

A. Sistemas anticontaminantes.

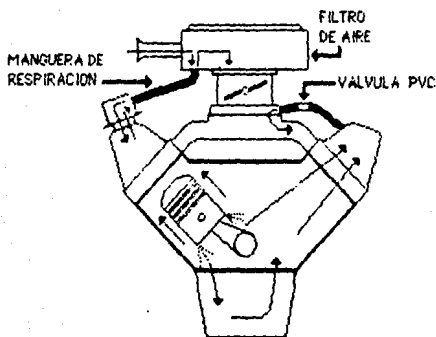
Para lograr una disminución en la emisión de contaminantes se debe poner atención a cuatro áreas del diseño de un automóvil: diseño del motor, diseño del sistema de suministro de combustible, diseño del sistema de tratamiento de gases de escape y de los dispositivos para el control evaporativo.

1. Diseño del Motor.

a. Emisiones del Cáster.

Anteriormente los gases fugados por los anillos se arrojaban a la atmósfera, conteniendo grandes cantidades de hidrocarburos, aceite evaporado e hidrocarburos parcialmente oxidados, así como cantidades variables de H_2 , CO y NO. Se estima que contribuían con el 25% de los hidrocarburos emitidos.

En 1963 se incorporó el Sistema de Ventilación Positiva "PCV" (positive crankcase ventilation) que eliminó prácticamente estas emisiones. En los siguientes años se incorporó un respiradero desde el filtro de aire y se aumentó el flujo a través del Cáster. Este flujo se controla con una válvula que tiene como función reducir el flujo en vacío y aumentarlo en plena carga, cuando la presión del múltiple es baja. Este sistema ha eliminado esta fuente, y no se requiere más desarrollo en esta área.



4.1 Sistema PCV.

- b. Emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono: En el capítulo anterior, se habló de los distintos factores de diseño y operación que afectan a la emisión de contaminantes, tales como la utilización de una mezcla pobre, el retraso la chispa, la reducción de la relación de compresión, la reducción del traslape y de la relación de superficie de la cámara al volumen de la misma, etc, los cuales se han tratado de optimizar. Además se han usado termostatos de mayor temperatura. Muchos de los cambios anteriores han reducido el rendimiento térmico del motor y por lo tanto aumentan el calor rechazado por el radiador, requiriéndose un sistema de refrigeración de mayor capacidad. También las temperaturas de escape altas y la presencia de

oxígeno pueden provocar problemas de deterioro en las válvulas, requiriéndose mejores aleaciones.

Los hidrocarburos y el monóxido de carbono se han reducido aun más al disminuir el vacío en el múltiple de admisión, aumentando la velocidad en vacío y retardando la chispa de encendido. Con este propósito se han usado distribuidores de doble diafragma que permiten retrasar la chispa en vacío sin retrasarla en exceso al abrir totalmente la mariposa del carburador. Otro sistema auxiliar se utiliza para cerrar el flujo de gasolina durante la desaceleración, disminuyendo los HC. En las transmisiones automáticas se ha utilizado también una válvula que no permite avance en la chispa más que en transmisión directa.

Uno de los avances de más importancia para la reducción de contaminantes ha sido la incorporación del sistema de encendido electrónico. Este sistema permite tomar en cuenta más variables en la decisión de avance o retraso de la chispa, lográndose así mejorar la emisión de contaminantes gracias a la precisión y uniformidad de la chispa. La ignición electrónica no sólo permite un control más exacto de la chispa, sino también reduce las variaciones que ocurren en sistemas convencionales debido al desgaste y deterioro de los platinos y el condensador.

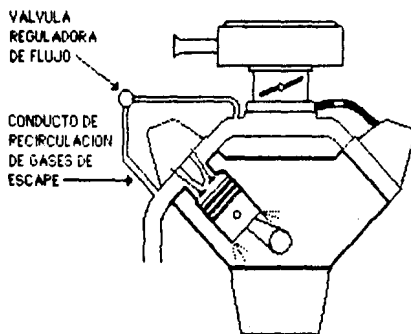
Otro avance de la tecnología ha sido la incorporación de sistemas de turbocargado a los motores automotrices modernos. El

turbocargador ha permitido el uso de motores de menor desplazamiento en vehículos de gasolina, teniéndose así una reducción en la masa total de contaminantes emitidos. A su vez, los turbocargadores son responsables de poderse lograr un mejor mezclado en el múltiple de admisión debido a la temperatura adicional y la turbulencia que generan. Los turbocargadores, cuando están en operación activa, tienen el mismo efecto sobre las emisiones que el aumentar la compresión y desplazamiento de la máquina, pues el volumen de aire admitido es mayor. El uso de estos equipos tiene un impacto positivo sobre las emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono debido a la mejor combustión que se logra de ellos y el menor tamaño de máquina requerida.

- c. Emisiones de óxidos de nitrógeno. El reducir la temperatura máxima de combustión es la única manera de disminuir la formación de NO, y esto se puede lograr retrasando la chispa o inyectando un fluido inerte como agua o gases de escape a la mezcla.

Se ha demostrado experimentalmente que la inyección de agua es efectiva en la reducción de NO, y ésta se debe inyectar solamente durante la aceleración, que es cuando se forma más NO. Esta solución no es muy popular pues es necesario mantener un tanque de agua lleno y además puede haber problemas de congelamiento y corrosión.

La solución más común a este problema es el emplear el sistema de recirculación de gases de escape "EGR" (Exhaust Gas Recirculation), que consiste en un mecanismo que toma gases del sistema de escape para después inyectarlos al múltiple de admisión, con el propósito de diluir la mezcla aire-combustible con los gases de escape. El diluir la mezcla aire-combustible ocasiona que ésta al quemarse no logre temperaturas tan altas, lográndose así menor producción de óxidos de nitrógeno.



4.2 Sistema EGR

Para una relación aire-combustible estequiométrica se puede lograr una reducción de hasta 70% del NO al diluir la mezcla solamente el 20%, afectando únicamente en 3% a la economía del vehículo. Los problemas más serios del sistema son el deterioro del manejo debido al exceso de residuo en la cámara de gases de

escape, requiriendo mezclas más ricas, y ocasionando depósitos en el múltiple de escape.

Otra solución, aunque costosa, consiste en la variación de la apertura y cierre de válvulas, que proporcionaría una recirculación de gases interna.

Sin ninguna duda, la incorporación de los sistemas de ignición electrónica han permitido que el avance y retraso de la chispa sean mucho más exactos y se tomen en cuenta muchos más parámetros en la decisión, permitiéndose así un mejor control de las emisiones de óxidos de nitrógeno. La ignición electrónica también permite que haya menos desviación del punto óptimo en el avance o retraso de la chispa, pues está menos sujeta a variaciones ocasionadas por desgaste y deterioro del equipo.

Un avance en la tecnología que ha tenido un efecto negativo sobre la emisión de óxidos de nitrógeno ha sido la incorporación de sistemas de turbocargado. Estos equipos ocasionan que la mezcla aire-combustible aumente de temperatura, además de ocasionar un aumento adicional en ésta durante el ciclo de compresión y combustión debido al aumento de masa admitida a la cámara. Debido a la contrapresión adicional en el escape que estos equipos ocasionan se puede suponer que habrá mayor cantidad de residuo en la cámara, proporcionando una recirculación de gases interna y por lo tanto disminuyendo los NO_x . Desgraciadamente,

el efecto de esta recirculación es mínimo en comparación al impacto negativo ocasionado por el aumento de temperatura.

La incorporación de sistemas de encendido electrónico y del sistema EGR han logrado una gran reducción de los NO_x .

2. Diseño del Sistema de Suministro de Combustible.

Se ha puesto un interés especial en el diseño y manufactura de carburadores con el objeto de lograr relaciones aire-combustible altas, con pocas variaciones y mayor velocidad en el vénturi para promover mejor mezclado y evaporación. Se han desarrollado sistemas que toman en cuenta más parámetros, como son la presión y temperatura ambiente, así como el precalentamiento del aire de admisión.

Hoy en día muchos vehículos en el extranjero tienen inyección de gasolina, la cual es más precisa y presenta menos problemas en el calentamiento. Con este sistema se puede reducir sólo un poco el nivel de hidrocarburos, pero el CO se puede abatir a niveles de 0.2% debido a la posibilidad de utilizar mezclas pobres sin deterioro en el manejo.

Los sistemas de inyección de gasolina, al igual que la ignición electrónica, requieren mantenimiento más espaciado y sufren menor

desajuste con el uso, desafortunadamente son más sensibles a la calidad del combustible y más costosos. Existen dos tipos de inyección de gasolina, los sistemas mecánicos y los sistemas electrónicos. Hoy en día la mayoría de los sistemas instalados en automóviles nuevos son electrónicos, pues tienen la capacidad de incorporar un mayor número de parámetros para dosificar el combustible y tienen menos partes móviles, en comparación a los antiguos sistemas mecánicos que son de gran complejidad. La inyección de gasolina ha contribuido grandemente a la reducción del CO pero su costo es elevado y se requiere de personal calificado para su mantenimiento.

3. Dispositivos de tratamiento de Gases de Escape.

a. Procesos de absorción.

Un método para la eliminación de los contaminantes en los gases de escape consiste en utilizar un medio absorbente para la remoción de éstos, sin embargo no se ha encontrado ningún sistema práctico que sea pequeño.

b. Reactores térmicos e inyección de aire.

Uno de los principales métodos usados en los años setentas para la reducción de contaminantes fue la utilización de reactores térmicos e inyección de aire. Estos sólo reducen el CO y los hidrocarburos, mientras el NO puede aumentar si la temperatura es alta en el reactor. Para lograr la oxidación de los

hidrocarburos y del monóxido de carbono es necesaria una temperatura alta al escape, abundancia de oxígeno y suficiente tiempo de residencia.

Por su abundancia, el monóxido de carbono es el principal combustible en estos reactores, ya que se han detectado concentraciones de varios puntos porcentuales de éste. Los reactores térmicos trabajan mejor con mezclas ricas que provocan mayor cantidad de monóxido de carbono, lográndose así un mínimo de hidrocarburos debido a la alta temperatura.

De la cantidad de aire inyectado dependerá la eficiencia del sistema, pues si ésta es excesiva se enfriará la mezcla demasiado, deteriorándose la combustión. También el volumen del reactor es importante, pues de éste depende el tiempo de residencia. Hoy en día se prefiere el uso de catalizadores por ser éstos más eficientes, pero requieren de gasolina sin plomo, a diferencia de los reactores térmicos que la utilizan sin problema.

c. Catalizadores.

Hace unos años la Industria automotriz norteamericana decidió que los catalizadores eran la única alternativa con la posibilidad de reducir emisiones a los niveles exigidos. Por esto se ha desarrollado buena tecnología de catalizadores aunque es cara.

Para la reducción de hidrocarburos y monóxido de carbono existen

dos tipos básicos de catalizadores, los de platino y los de otros metales, como son el manganeso, cobalto, cromuro de cobre, aluminato de calcio, paladio. Por lo general se utilizan en forma de óxido. Estos metales se depositan sobre una base inerte de alúmina, carborundum o algún silicato. El catalizador se deposita en un envase, por lo general en forma de silenciador automotriz. Este debe ser pequeño y ligero, debe poder resistir temperaturas hasta de 900°C y presiones de una atmósfera. El empaquetado del catalizador debe ser firme para evitar que éste se destruya con la vibración del automóvil y el flujo de los gases debe ser uniforme para evitar gradientes de temperatura y mejorar su eficiencia, además debe ser barato.

Los catalizadores han resultado ser muy confiables por no tener ajustes ni partes móviles, sin embargo pueden producir amoníaco y convertir el SO_2 en sulfatos más tóxicos. Además los catalizadores se pueden dañar con el plomo de la gasolina, requiriéndose así gasolina sin "TEL".

En el caso de los catalizadores de platino, que son los más usados por su efectividad, existe un problema adicional, el costo y la disponibilidad de platino. Cada año en los Estados Unidos se utilizan 1.68 millones de onzas troy. Para los 2,750,000 automóviles del Valle de México requeriríamos 275,000 oz. troy, además del platino requerido para la isomerización de la gasolina, ya que ésta requeriría mayor capacidad antidetonante y

ausencia de plomo.

También hay que considerar que los catalizadores solamente tienen una vida útil de 80,000 Km., requiriéndose su reemplazo durante la vida del vehículo. Tomando en cuenta lo anterior y considerando que se tendrían que importar los catalizadores, se puede afirmar que ésta no es una solución factible para México, ya que el consumidor no aceptaría el desembolso adicional, además del efecto que esto tendría sobre nuestra balanza de pagos.

4. Dispositivos para el control evaporativo.

Estos se diseñan con el fin de eliminar los vapores de hidrocarburos emitidos por el carburador y el tanque de gasolina durante la operación del vehículo y mientras está estacionado.

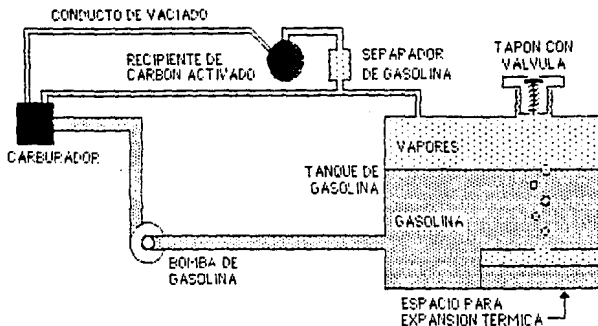
Los sistemas evaporativos consisten de un tanque sellado con un tapón que solo permite el flujo de aire hacia adentro y un recipiente para el almacenamiento de los vapores para después desviarlos al carburador y sus respectivas mangueras y válvulas.

En México desde los años setentas los sistemas de tanque de gasolina han sido sellados. En este tipo de tanques el tapón no permite la fuga de vapores hacia el ambiente, únicamente permitiendo entrada de aire para compensar el volumen del combustible utilizado. Los vapores de gasolina son desviados al carburador durante la

operación del vehículo, o a un depósito de almacenamiento cuando no está siendo operado. En sistemas más sofisticados los vapores solo se desvían al carburador durante condiciones de carga, para reducir las emisiones en el escape. El diseño del tanque de gasolina también es importante, ya que debe evitarse que entre líquido al sistema evaporativo, además de prever un espacio para la expansión térmica del combustible líquido.

Se utilizan dos sistemas de almacenamiento de vapores. El primero consiste en un envase con carbón activado, ya que éste tiene afinidad con los hidrocarburos y puede retener 30-35 gr. de combustible por cada 100 gr. de carbón. Por lo general se utilizan 700-800 gr. de éste. El sistema anterior es satisfactorio a menos de que se use un combustible volátil con más de 10 psi RVP (Reid Vapor Pressure). El otro sistema consiste en almacenar los vapores en el cárter, purgándolos por medio del "PCV", este sistema no logra un control tan efectivo, además el combustible condensado puede diluir al lubricante. En México se utilizan los recipientes de carbón activado desde 1982.

Estos sistemas requieren de muy poco mantenimiento, son de bajo costo y han dado muy buen resultado, reduciendo prácticamente las emisiones de vapores de gasolina.



4.3 Sistema de control evaporativo.

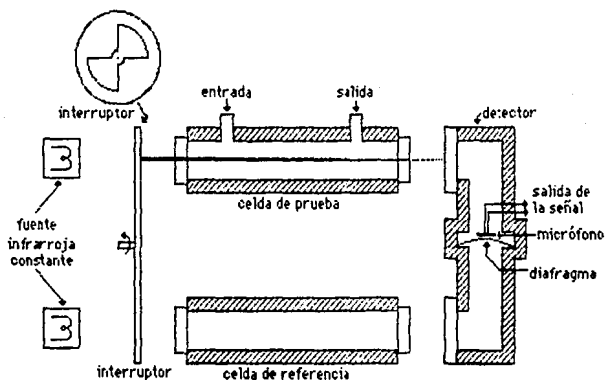
B. Métodos de medición.

1. Analizador Infrarrojo.

En este aparato el gas cuya concentración se está midiendo se utiliza para detectarse a sí mismo. Este método utiliza el principio de absorción selectiva, que consiste en que la radiación infrarroja en un ancho de banda emitida por un gas será absorbida por él mismo. Como ejemplos se pueden citar el bióxido de carbono cuya radiación infrarroja tiene una longitud de onda de 4 a 4.5 micras y el monóxido de carbono de 4.5 a 5 micras.

El instrumento consiste en dos celdas separadas, una de referencia y otra para la muestra, un emisor de radiación infrarroja, la cual después de atravesar las ondas incide sobre un detector que

contiene el gas que está midiendo. Este detector está separado en dos compartimientos iguales por un diafragma, recibiendo en cada lado la radiación de cada una de las celdas. Las celdas de detección se calientan con la energía infrarroja, pero la cantidad recibida por cada una es diferente, ya que la muestra absorbe parte de la radiación, consiguiéndose así un gradiente de presión entre las dos celdas de detección el cual mueve al diafragma, cuyo desplazamiento se detecta por medios capacitivos. La celda de referencia se llena de un gas inerte, por lo general nitrógeno, el cual no absorbe energía, mientras la muestra sí lo hace.



4.4 Analizador infrarrojo.

El circuito eléctrico consiste en un interruptor de la fuente infrarroja, para lograr una señal alterna a la salida del capacitor y amplificarla con facilidad, para luego pasarla a un medidor.

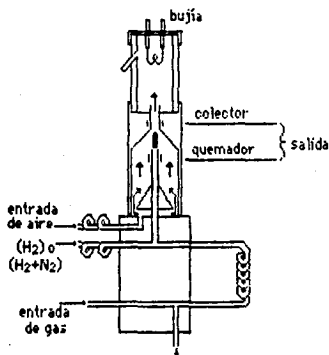
La calibración del instrumento se logra pasando gases de concentración conocida a través de él, ajustándose así el cero de referencia y el rango de operación, para después construir una curva de calibración, la cual se asume lineal. Hay que tener cuidado con el rango en el que el comportamiento se asume lineal, ya que éste depende del largo de las celdas de prueba y referencia. La medición de hidrocarburos presenta un problema adicional ya que en el escape se llega a presentar 200 diferentes compuestos, con diferente composición y número de carbonos e hidrógenos, es imposible detectar a cada uno por este método, así que se escoge al n-hexano (C_6H_{14}) como representativo de todos los hidrocarburos presentes. Puede presentarse un error en este instrumento debido a que la muestra contiene gases que absorberán radiación en la longitud de onda que nos interesa, esto se ha corregido aceptablemente por medio de filtros conteniendo al gas que se piensa causa interferencia y calibrando a cero.

2. Detector de ionizador de flama.

Este aparato se utiliza para la medición de hidrocarburos no quemados. Su principio de operación se basa en que en las flamas de aire e hidrógeno se produce muy poca ionización, pero sí se introduce un poco de hidrocarburos se produce una gran cantidad de ionización,

la cual es proporcional al número de átomos de carbono presentes, así que cualquier tipo de hidrocarburos (parafinas, olefinas, aromáticos, etc.) producen la misma respuesta.

El aparato está compuesto por el quemador, el colector de iones y el circuito eléctrico. El quemador consiste en un capilar por el cual circula una mezcla de hidrógeno puro y nitrógeno, y el aire requerido se alimenta alrededor, además existe una bujía para encender la mezcla. El colector de iones y el capilar forman parte del circuito eléctrico. Se utiliza una batería para lograr un campo electrostático alrededor de la flama, ocasionando que los electrones se proyecten al capilar y los iones positivos al colector, originando una corriente eléctrica proporcional al número de átomos de carbono presentes.



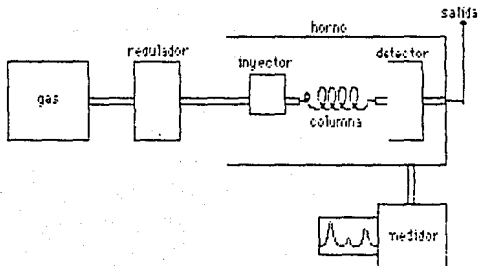
4.5 Detector de ionizador de flama.

La sensibilidad del aparato depende de los flujos de la muestra y de la mezcla hidrógeno-nitrógeno, los cuales se controlan por medio de capilares. Se recomienda que la muestra esté libre de agua y que el aparato opere a 200°C para evitar condensación de hidrocarburos pesados en el capilar. Este aparato no sufre interferencia por ningún compuesto, excepto con exceso de oxígeno mayor al 4%, que puede presentarse con relaciones aire-combustible pobres y con inyección de aire.

3. El cromatógrafo de gases

La cromatografía es un método físico por el cual se separan los componentes de una mezcla en compuestos individuales para analizarlos separadamente. Es el único método por el cual se puede medir la cantidad de cada compuesto en particular. Los constituyentes de la mezcla se dividen en dos fases, una estática y la otra móvil, la cual se burbujea a través de la estática. La fase estática puede ser sólida o líquida. En el caso del análisis de los hidrocarburos en el escape se usa la fase líquida.

La cromatografía se lleva a cabo en columnas fraccionadoras las cuales están llenas de un absorbente o un material de soporte impregnado en líquido. Los compuestos a ser separados atraviesan la columna en forma de gas, mezclados con un gas inerte de transporte.



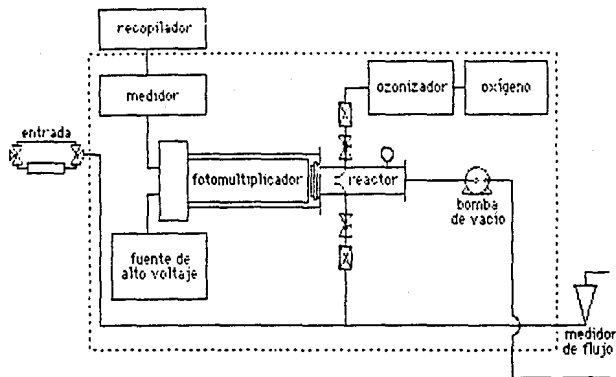
4.6 Cromatógrafo de gases.

La fase estática actúa como un retardador selectivo para cada compuesto, tomando en cuenta las diferencias en solubilidad, de manera que los compuestos tienden a salir de la columna uno por uno. Cada compuesto tiene un tiempo de retención en la columna más o menos proporcional a su solubilidad en la fase estática. Después de salir se les detecta en base a alguna propiedad física, como puede ser su conductividad térmica, densidad, calor específico, temperatura de flama, o por ionización de flama, rayos beta o su frecuencia de emisión de radiación térmica.

La cromatografía de gases es el único método efectivo para el análisis detallado de los gases de escape, pero es sumamente complicada y costosa.

4. Análisis químico-luminosos de los óxidos de nitrógeno.

Este método ha sido desarrollado por Ford Motor Company para poder medir el NO. Con desarrollos posteriores se ha hecho posible el convertir el NO₂ en NO para poder medirlo también.



4.7 Analizador químico - luminoso de óxidos de nitrógeno.

Su principio de operación consiste en llenar un reactor cilíndrico con la muestra y mantenerlo a baja presión (de 5 a 7 torr). Simultáneamente se fabrica ozono para introducirlo al reactor, el cual es mezclado con la muestra cerca del detector luminoso. La reacción entre el NO y el O₃ produce algunas moléculas de NO₂ excitadas

eléctricamente, las cuales al decaer a su nivel normal emiten luz en el rango de longitud de onda de 0.6 a 3 micrones. Esta luz es detectada por un fotomultiplicador para más tarde ser amplificada.

El mecanismo de formación de las moléculas excitadas es muy sensible a la temperatura, así que es indispensable calibrar y operar al aparato a la misma temperatura.

El aparato no sufre interferencia de otros gases, y su respuesta es lineal a la concentración de NO. El rango de operación es de 1 a 1000 ppm.

Para convertir el NO₂ a NO se utiliza una reacción dentro de un tubo de acero inoxidable a una temperatura de 650°C, pudiéndose medir así la concentración de los NO_x.

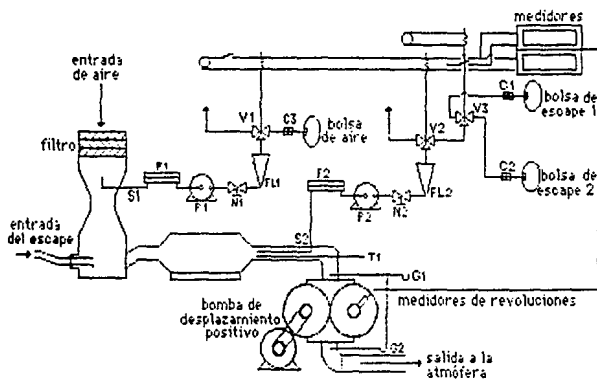
5) Recorridos de Prueba.

El recorrido de prueba está descrito en la norma DGN-AA-11-1975, y está diseñado para simular condiciones representativas de las condiciones reales de manejo urbano. El recorrido tiene una distancia de 12 Kms. ó 7.5 millas, y se debe recorrer a condiciones de velocidad y carga establecidas. La inercia del vehículo se simula con un volante de inercia, y la carga se le aplica a éste por medio de un dinamómetro dotado de una unidad de absorción de potencia. Durante el recorrido, el escape del automóvil se mantiene conectado al Instrumental de medición el cual recolecta y

analiza los gases.

Existen dos procedimientos para la recolección y análisis de los gases de escape, el CVS-1 que emplea una bolsa colectora, y el CVS-3 que emplea tres bolsas colectoras, una para el arranque en frío, la segunda para operación en caliente y la tercera para un arranque en caliente.

El recorrido de prueba es el mismo para el CVS-1 y CVS-3. En teoría se debe usar un combustible estandarizado como el Indolene, pero actualmente en México se utiliza gasolina NOVA. En ambas pruebas se utiliza un volante de inercia para simular el peso del vehículo.



4.8 Recorridos CVS-3.

El CVS-1, llamado también de dilución variable, está diseñado para medir la masa realista de contaminantes durante el uso normal del vehículo. En este método se mezcla el gas de escape con aire y se almacena en una bolsa de un material inerte como el Tedlar, también se toma una muestra de referencia de aire ambiental. Se recomienda que el análisis se efectúe inmediatamente para que no reaccionen los contaminantes.

El CVS-3 es el usado en México según la norma DGN-AA-11-1975 y es idéntico al CVS-1 pero a los 505 segundos se cambia la alimentación a una segunda bolsa para recolectar una muestra a temperatura de operación normal. Al finalizar el recorrido se mantiene apagado el vehículo durante 10 minutos para después recorrer los primeros 505 segundos del recorrido y almacenar las emisiones en una tercera bolsa.

El método de medición de muestreo a volumen constante, CVS, es una medición precisa en base a la masa, para determinar emisiones de escape. Permite conocer la cantidad de emisiones descargadas en la atmósfera, en base a su masa y en relación directa al volumen de gases de escape.

Los gases de escape emitidos por el vehículo durante el recorrido patrón, son diluidos en aire e impulsados por una bomba de flujo constante que permitirá conocer el volumen total. Al mismo tiempo se almacena una muestra de los gases de escape diluidos en aire en

proporción directa al volumen emitido. Al término del recorrido, se analiza la concentración de cada uno de los gases contaminantes (CO, CO₂, HC, NO₂), a los que se resta la concentración de gases contaminantes del aire atmosférico.

El volumen total emitido de gases contaminantes se obtiene multiplicando el volumen total de gases diluidos por la concentración (obtenida en partes por millón, ppm) de cada uno de ellos. Si ese volumen total emitido de cada gas contaminante se multiplica por su respectiva densidad, se obtiene la cantidad total emitida en gramos, que al ser divididos por la distancia recorrida en la prueba (12 Kms. ó 7.5 millas) se obtiene el resultado final expresado en gramos/Km (milla) - vehículo. A diferencia de las mediciones de concentración, las cuales no son afectadas por el desplazamiento de la máquina, estos métodos si toman en cuenta la masa de los gases de escape. Por lo tanto, una máquina pequeña tendrá menos dificultad para cumplir con los límites establecidos por la ley, pues producirá menor masa de contaminantes.

El recorrido CVS-3, a diferencia del CVS-1, permite la medición de concentraciones de contaminantes a diferentes etapas de calentamiento y operación, lo que permite obtener información más amplia sobre la operación del vehículo. En México se utiliza el recorrido CVS-3 para la certificación de vehículos nuevos, pues es el más recomendable por su habilidad de proporcionar más información.

V. PROGRAMA DE APLICACION DEL REGLAMENTO

En el anexo se incluye un reglamento propuesto para la reducción de contaminantes producidos por vehículos automotrices de gasolina. A continuación se presentan sugerencias e información técnica requerida para la aplicación de dicho reglamento.

A. Programa para la aplicación del reglamento.

Como se menciona en el anexo, se requiere que todos los automóviles nuevos esten equipados con los sistemas PCV y EGR, además de un sistema de carburación e ignición adecuado. En realidad la única modificación adicional que se exige es el uso del sistema EGR, el cual consiste de un pequeño conducto y una válvula entre el múltiple de escape y el múltiple de admisión. Se estima que este sistema reduzca los óxidos de nitrógeno provenientes de vehículos nuevos hasta en 70%. Ya existe un procedimiento establecido para la inspección de los vehículos nuevos según la norma DGN-AA-11-1980.

El usuario, según el reglamento, tiene la obligación de mantener al vehículo en buenas condiciones e inspeccionarle una vez al año.

La Secretaría deberá de implementar programas de capacitación, acreditamiento, verificación, y ayuda al taller para adquirir los equipos necesarios. Primeramente la Secretaría deberá de preparar una lista del equipo anticontaminante que debe de tener cada modelo de vehículo, otra lista deberá de contener el equipo necesario para llevar a cabo la

inspección y los requerimientos para acreditarse como inspector.

La lista de equipos contaminantes de cada vehículo deberá contener una lista de los sistemas presentes en cada tipo de automóvil, como el sistema PCV, el EGR, los depósitos de carbón activado, tipo de tapón de gasolina, una lista de las mangueras esenciales al sistema, tipo de carburador y sistema de ignición recomendados. Además de la lista se deberá proporcionar una ilustración que permita identificar las partes del sistema.

El equipo recomendado para llevar a cabo la inspección es el analizador infrarrojo de monóxido de carbono y de hidrocarburos. La Secretaría deberá de proporcionar una lista de marcas y modelos de analizadores aprobados para este propósito, así como una lista del equipo requerido para su calibración. Las mediciones con estos aparatos se deberán de realizar de acuerdo a la norma DGN-AA-27-1976. La Secretaría deberá de proporcionar un formato adecuado para las formas y calcomanías que se deberán de utilizar para las inspecciones de acuerdo con el reglamento.

La Secretaría también deberá desarrollar un programa de cursos de capacitación sobre el mantenimiento del equipo anticontaminante y como llevar a cabo una afinación anticontaminante. La información sobre este curso se presenta aquí en el inciso B. Otro curso de como llevar a cabo la medición de los contaminantes de acuerdo a la norma DGN-AA-27-1976 también deberá de ser desarrollado. Detalles de este procedimiento se

presentan en el inciso C.

El acreditamiento de los talleres deberá requerir que el personal que ejecutará las reparaciones y la medición haya tomado los cursos descritos anteriormente y que se adquiriera el equipo recomendado.

Debido al alto costo del equipo, y por no ser producido en el país, la Secretaría deberá de proporcionar facilidades para la importación y compra del equipo.

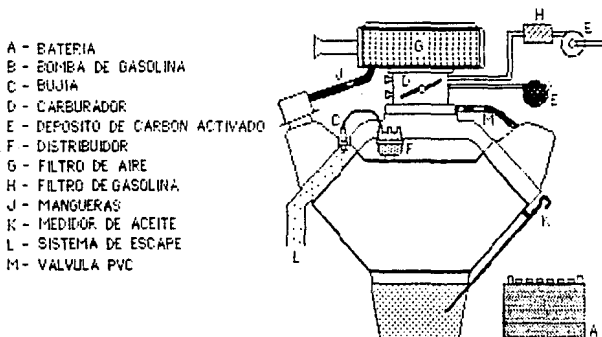
Por último, la Secretaría tiene la obligación de verificar periódicamente la calibración de los equipos de medición acreditados, esto se deberá de llevar a cabo según las recomendaciones del fabricante y la unidad se deberá de sellar para evitar la recalibración por parte del mecánico. Se recomienda que el intervalo entre calibraciones sea de dos meses o menos. También se recomienda que se permita llamar al mecánico para que éste solicite a la Secretaría que el personal autorizado le calibre su unidad en caso de que este funcionando mal. La Secretaría también deberá de inspeccionar vehículos en circulación y deberá evaluar si el taller que realizó la última inspección, la llevo a cabo adecuadamente. Por último la Secretaría deberá de llevar un control estadístico para evaluar los resultados del programa.

B. Afinación anticontaminante.

La afinación anticontaminante deberá de constar de los pasos descritos a continuación. Hay que hacer hincapie en que un motor que esté

en malas condiciones no podrá ser afinado correctamente hasta que la falla sea corregida. Ejemplos de fallas son el desgaste excesivo de anillos, pistones, cilindros, cojinetes y válvulas, el mal funcionamiento del sistema de carburación o ignición, o el deterioro excesivo del sistema de escape

A continuación se describen los pasos a seguir para afinar un automóvil con carburador e ignición de platinos, que son los sistemas más comunes en México.



5.1 Puntos importantes de la afinación anticontaminante

1. Revisar la batería. Los cables y la batería deben de estar en buen estado y el nivel de electrolito debe ser el adecuado.
2. El aceite debe de estar en buenas condiciones y tener el nivel adecuado. El fluido de los equipos auxiliares y la transmisión también deben de estar en buen estado y tener el nivel adecuado.
3. El refrigerante del radiador debe de estar en buenas condiciones, así como las mangueras, y debe tener el nivel adecuado.
4. Los neumáticos deben de estar en buenas condiciones y a la presión adecuada. Las bandas del alternador y equipos auxiliares deben de estar en buen estado y tensadas correctamente.
5. Revisar los filtros de aire y gasolina, éstos deben de ser reemplazados por nuevos si es necesario.
6. Mientras el filtro de aire esté desmantelado, se debe de revisar el buen funcionamiento del ahogador. Este debe de estar cerrado cuando el motor esté frío y abrirse libremente cuando se caliente.
7. Revisar la válvula del sistema PCV, si no opera correctamente debe ser reemplazada. El método mas sencillo para probarla consiste en desconectarla del motor en operación y poner un dedo sobre el orificio de la válvula, si ésta está operando

correctamente se debe de sentir un ligero vacío. Esta válvula debe ser repuesta al menos una vez al año.

8. Se debe de revisar la operación del sistema de calentamiento de aire para arranques en frío. Este sistema es el que proporciona a la máquina con aire que se calentó previamente con el calor del múltiple de escape. Las mangueras deben estar en buen estado.
9. Los depósitos de carbón activado del sistema de control evaporativo deben ser revisados y reemplazados si están dañados.
10. Se debe revisar la tapa del distribuidor, el rotor, los platinos, los cables, el condensador y la bobina. La tapa del distribuidor no debe de tener ninguna rajadura y debe de estar limpia y en buenas condiciones. El rotor debe de estar en buenas condiciones y debe tener la impedancia recomendada por el fabricante. Los platinos deben de estar en buenas condiciones y estar ajustados con la separación recomendada, éstos deben ser reemplazados cada 10,000 Km. al igual que el condensador. Los cables, al igual que la bobina, deben de estar limpios y en buen estado. El mecanismo de avance debe de operar libremente y no debe tener fugas.
11. Las bujías deben de ser revisadas, al igual que la compresión, y reemplazadas si es necesario o cada 10,000 km.

12. El sistema de alternador y regulador deben de ser revisados y reparados si es necesario.

13. El avance del distribuidor debe de ser ajustado según la recomendación del fabricante con una pistola de tiempo estroboscópica para obtener más precisión. Si la Secretaría determina que otro ajuste es el adecuado para reducir los contaminantes, éste se deberá de utilizar. Es difícil precisar cual será el avance adecuado para cada vehículo pues el óptimo dependerá de la relación de compresión, la altura de la ciudad, el tipo de combustible y las condiciones climáticas entre otras. La experiencia deberá de determinar el avance para un funcionamiento óptimo.

14. El carburador deberá de ser ajustado correctamente. Primeramente se debe de conectar un tacómetro y un manómetro de vacío al motor. El siguiente paso consiste en ajustar la velocidad del motor en vacío al nivel recomendado por el fabricante. No se debe de ajustar la velocidad por debajo de lo recomendado pues aumentarán los HC.

A continuación se debe de ajustar la mezcla. Por lo general el mecánico siempre ajusta a que el motor trabaje con suavidad, pero por lo general eso significa que la mezcla sea muy rica. Para reducir la emisión de contaminantes después de que se ajustó para que el motor trabaje con suavidad y a mayor

velocidad, se debe de cerrar la espreea hasta que el motor empiece a fallar, muchas veces la aguja del manómetro empieza a vibrar y señala esta falla antes de que sea detectable. Una vez llegado a este punto la espreea se debe de abrir un poco hasta que la aguja se estabilice.

15. La bomba de gasolina debe de ser revisada así como las mangueras de gasolina.
16. Todas las mangueras de vacío, aire acondicionado, calefacción y accesorios deben de estar en buenas condiciones.
17. El sistema de escape debe de estar en buenas condiciones.
18. Si el automóvil está equipado con el sítema EGR, éste debe de estar en buenas condiciones.
19. Se debe de revisar al motor para ver si hay fugas de refrigerante o aceite.

C. Instrumentación de las técnicas de medición para la aplicación del reglamento.

La medición de los hidrocarburos y el monóxido de carbono en los gases de escape se deben de llevar a cabo según la norma DGN-AA-27-1976. A continuación se describe el método a usarse en un analizador infrarrojo típico.

1. Encender el instrumento y dejar que alcance su temperatura de operación.
2. Calibrar los medidores de HC y CO a cero.
3. Calibrar el rango del HC y CO al nivel adecuado.
4. Instalar un tacómetro al motor y acelerarlo a la velocidad recomendada por el fabricante.
5. La probeta se debe de introducir en el tubo de escape y después de 20 segundos se debe de tomar la lectura de los contaminantes.

Los niveles de contaminantes deben de estar dentro del rango establecido por el reglamento, de no ser así, el automóvil debe ser afinado y probado de nuevo. Si el resultado sigue siendo elevado se debe de inspeccionar la condición del motor y repararlo.

El instrumento de medición debe de ser calibrado regularmente con el equipo adecuado y usando el gas de referencia recomendado por el fabricante. Este gas por lo general es una mezcla de propano, monóxido de carbono y aire. Los filtros de la unidad también deben de ser limpiados y reemplazados según se requiera.

VI. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Para la reducción de contaminantes provenientes de automóviles en operación se recomienda que el reglamento establecido en el anexo sea aplicado inmediatamente pues cada día la contaminación aumenta en forma geométrica en el Valle de México. Este programa es de fácil implementación y se puede poner en marcha en poco tiempo. El desembolso por parte del gobierno sería mínimo en comparación al beneficio que se lograría.

La autoridad gubernamental a cargo de este programa deberá estar alerta a la posibilidad de que los usuarios de vehículos tratarán de defraudar al sistema si su automóvil requiere de reparaciones costosas, así que el sistema tendrá que ser modificado de acuerdo a las situaciones que se presenten para evitar esta posibilidad.

Sin un programa de este tipo, la Ciudad de México está condenada a la contaminación perpetua. Es nuestra responsabilidad evitar que esto suceda. Este programa solamente debe de ser un primer paso hacia una ciudad más limpia, después se deberán de tratar de reducir otras fuentes de contaminantes.

Se ha comprobado que una buena afinación anticontaminante, en un automóvil en buen estado, reduce hasta en un 50% las emisiones de contaminantes. Si todos los automóviles del Valle de México fueran afinados correctamente, la mejoría del ambiente sería notada en cuestión

de días. Con la ayuda adicional de equipos modernos como la inyección de gasolina, la ignición electrónica, el sistema EGR, y los sistemas de control evaporativo se notarían mejoras adicionales a largo plazo, por lo tanto también se recomienda que sean instalados en todos los vehículos nuevos. El desembolso que cada usuario de vehículos tendría que hacer sería bien recompensado por una notable mejora al medio ambiente.

ANEXO

Reglamento Federal para el control de la Contaminación proveniente de Automóviles de Gasolina.

Miguel de la Madrid Hurtado, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, en el ejercicio de la facultad que confiere al ejecutivo a mi cargo de la fracción I del Artículo 89 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y con fundamento en el artículo 9º de la Ley Federal de Protección del Ambiente, y

CONSIDERANDO

Que el derecho a la protección del medio ambiente en el territorio nacional está considerado como vital para todos los mexicanos.

Que el estado mexicano a través del poder público, debe llevar a cabo las acciones necesarias para normar, dar cumplimiento y vigilar la observancia de los preceptos establecidos en la ley federal de Protección al Ambiente.

Que en cumplimiento de lo anterior el poder público ha promovido la adecuación de la legislación para el mejoramiento del ambiente dictando para este efecto la Ley Federal de Protección del Ambiente.

Que es responsabilidad del Poder Ejecutivo, y en particular de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, dar cumplimiento a los preceptos de este ordenamiento legal así como vigilar su observancia.

Que la preservación del ambiente está relacionada con el bienestar físico, mental y social de la población y debe desarrollarse dentro de la

normatividad establecida para preservarlo.

Que la niñez y la juventud representan el México del porvenir, y que es necesario ofrecerles un ambiente adecuado, para que ello sirva a su desarrollo y bienestar, y que el medio ambiente juegue un importante papel para ello.

Que para mejor preservar el ambiente y la ecología dentro del territorio nacional, he tenido a bien expedir el siguiente :

REGLAMENTO

Federal para el control de la contaminación provocada por automóviles de gasolina.

Capítulo I

Definiciones

Capítulo II

Disposiciones Generales

Capítulo III

Vehículos Nuevos

Capítulo IV

Vehículos Usados

Capítulo V

Talleres Particulares

Capítulo VI

Verificación

Capítulo VII

Sanciones

Capítulo VIII

Recursos

Transitorios

Capítulo I

Definiciones

Para efecto de este reglamento se considera:

-ambiente: El conjunto de elementos naturales, artificiales o inducidos por el hombre, físicos, químicos y biológicos que propicien la existencia, transformación y desarrollo de organismos vivos.

-protección: El conjunto organizado de medidas y actividades tendientes a lograr que el ambiente se mantenga en condiciones propicias para el desarrollo pleno de organismos vivos.

-conservación: Las medidas necesarias para preservar el ambiente y los recursos naturales.

-contaminación: La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos, que perjudique o resulte nocivo a la salud, a la vida y al bienestar humano, la flora y la fauna o degraden la calidad del aire, agua del suelo o de los bienes y recursos en general.

-contaminante: Toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía térmica, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, aguas, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, alteren o modifiquen su composición o afecten la salud humana.

-control: La vigilancia, inspección y aplicación de medidas para la conservación del ambiente, o para reducir, y en su caso, evitar la contaminación del mismo.

-prevención: La disposición anticipada de medidas para evitar daños al ambiente.

-territorio: El distrito Federal y puntos circunvecinos en un radio de 30 Km. al rededor de aquél.

-taller particular: Estación de servicio y mantenimiento, propiedad de personas físicas o morales diferentes al fabricante.

-secretaría: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

-departamento: Departamento del Distrito Federal.

-fabricante: Las empresas que se dediquen al ensamblado de automóviles.

-usuario: El propietario o poseedor de un automóvil.

-ley: Ley Federal de Protección al ambiente.

-CO: Monóxido de carbono

-HC: Hidrocarburos

-NOX: Oxidos de Nitrógeno

-vehículo: Automóvil de gasolina

Capítulo II

Disposiciones Generales

Artículo 1: Este reglamento rige en el territorio y tiene por objeto reglamentar el control de la contaminación provocada por vehículos, complementando a la ley.

Artículo 2: Será motivo de prevención por parte del Ejecutivo Federal la contaminación provocada por vehículos que dañen al ambiente.

Artículo 3: El presente reglamento se aplicará a los vehículos nuevos y a los vehículos en circulación con una antigüedad no mayor de diez años.

Artículo 4: Para los efectos del Artículo anterior el año base de antigüedad será 1977, el cual se irá actualizando en base anual.

Artículo 5: La secretaria podrá pedir la intervención de las diversas dependencias del Ejecutivo Federal, para que dentro del ámbito de su competencia lleven a cabo el control y prevención de la contaminación ambiental provocada por los vehículos dentro del territorio.

Artículo 6: La contaminación deberá controlarse dentro de los niveles que la Secretaría establezca más adelante a fin de prevenir la contaminación.

Capítulo III

Vehículos Nuevos

Artículo 7: El fabricante tiene la obligación de instalar en los vehículos el equipo anticontaminante, previamente aprobado por la Secretaría, el cual debe constar de un sistema para el control evaporativo satisfactorio, del sistema PCV para emisiones del cárter, del sistema EGR de recirculación de gases de escape y de un diseño adecuado de carburador o sistema de inyección de combustible y del sistema de ignición.

Artículo 8: El equipo anticontaminante mencionado en el Artículo anterior deberá estar instalado en todos los vehículos que produzca el fabricante, ya sea por sí o por interpósita persona.

Artículo 9: Los vehículos que produzca el fabricante deberán operar dentro de los niveles que se establecen a continuación:

a) Para hidrocarburos (HC)	2.1 gr/Km vehículo
b) Para Monóxido de Carbono (CO)	24.2 gr/Km vehículo
c) Para óxidos de nitrógeno (NOX)	2.2 gr/Km vehículo

De acuerdo al Decreto fija los límites permisibles de emisiones y siguiendo el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana DGN-AA-11-1980, sin importar el desplazamiento del motor.

Artículo 10: Corresponde a la secretaria y al Departamento por conducto de la Dirección correspondiente la facultad de inspeccionar los vehículos que produzca el fabricante, para que certifique que los vehículos operan dentro de los niveles establecidos en el artículo anterior.

Artículo 11: El fabricante y su red de distribuidores tienen la obligación de mantener dentro de sus instalaciones de servicio las refacciones, equipo, personal y espacio adecuado a fin de estar en posibilidad de mantener los equipos contaminantes en buen estado de funcionamiento y dentro de los niveles que para vehículos usados se establecen más adelante.

Capítulo IV

Vehículos Usados

Artículo 12: El Usuario de los vehículos tiene la obligación de preservar el equipo anticontaminante en buen estado y como consecuencia que el nivel de contaminantes emitidos por el vehículo se encuentre dentro de los niveles que se establecen en el artículo siguiente:

Artículo 13: Los niveles de contaminantes dentro de los cuales deberán operar los vehículos son:

Para el primer año de vigor del reglamento:

- | | |
|----------------------------------|---------|
| a) Para hidrocarburos (HC) | 400 ppm |
| b) Para Monóxido de Carbono (CO) | 3 % |

Para el segundo año de vigor del reglamento:

- | | |
|----------------------------------|---------|
| a) Para hidrocarburos (HC) | 350 ppm |
| b) Para Monóxido de Carbono (CO) | 2.5 % |

Para el tercer año de vigor del reglamento:

- | | |
|----------------------------------|---------|
| a) Para hidrocarburos (HC) | 300 ppm |
| b) Para Monóxido de Carbono (CO) | 2 % |

Para el cuarto año de vigor del reglamento:

- | | |
|----------------------------------|---------|
| a) Para hidrocarburos (HC) | 250 ppm |
| b) Para Monóxido de Carbono (CO) | 1.5 % |

Para el quinto y subsecuentes años de vigor del reglamento:

- | | |
|----------------------------------|---------|
| a) Para hidrocarburos (HC) | 250 ppm |
| b) Para Monóxido de Carbono (CO) | 1 % |

Las mediciones de contaminantes se deberán llevar a cabo siguiendo el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana DGN-AA-27-1976.

Artículo 14: La secretaría independientemente de los niveles establecidos en el presente reglamento, tiene la facultad de modificar y adicionar dichas disposiciones a efecto de preveer lo relativo a vehículos no previstos en el presente reglamento, así como lograr la mejor aplicación del mismo.

Artículo 15: Los usuarios de los vehículos deberán de cumplir con la inspección que anualmente lleve a cabo la secretaría en coordinación con el departamento, a través de la dirección que corresponda, a fin de que los vehículos operen dentro de los niveles establecidos anteriormente.

Artículo 16: Para los efectos del Artículo anterior los usuarios deberán de cumplir con la inspección mencionada en los términos que se establecen más adelante.

Capítulo V

Talleres Particulares

Artículo 17: Los talleres Particulares podrán llevar a cabo las inspecciones en los vehículos dentro de lo establecido en el presente reglamento.

Artículo 18: Los talleres Particulares podrán dar el servicio de mantenimiento y reparación de los equipos anticontaminantes a efecto de que los vehículos operen dentro de los niveles de contaminación establecidos anteriormente.

Artículo 19: Los talleres Particulares podrán solicitar su reconocimiento oficial ante la Secretaría, a efecto de que las revisiones que realicen sean reconocidas como oficiales por dicha autoridad por apegarse a las disposiciones establecidas en la ley y en el presente reglamento.

Artículo 20: La inspección consistirá en un chequeo visual de los sistemas anticontaminantes para comprobar su existencia y buen estado,

así como una medición de las concentraciones de HC y CO en los gases de escape, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana DGN-AA-27-1976.

Artículo 21: Para efecto del Artículo que precede, la Secretaría emitirá las formas correspondientes, así como una lista del equipo que deberá adquirir el taller para poder llevar a cabo el mantenimiento, servicio e inspección de los equipos anticontaminantes instalados en los vehículos.

Artículo 22: La secretaria en coordinación con otros organismos dará facilidades a los propietarios de los talleres a efecto de que éstos puedan adquirir el equipo anticontaminante de inspección y equipos accesorios que sean necesarios para el mantenimiento y servicio correspondientes.

Artículo 23: Una vez que los talleres obtengan el reconocimiento de la Secretaría como talleres oficiales, podrán realizar la inspección de los vehículos, cobrando las tarifas que la Secretaría apruebe y dándole al usuario la calcomanía que acredite haber cumplido con la inspección correspondiente.

Artículo 24: Los talleres deberán proporcionar a la Secretaría una lista de los vehículos que hayan pasado la inspección cada 3 meses.

Artículo 25: La lista que se menciona en el artículo anterior deberá contener los siguientes datos:

- a) Nombre del usuario.
- b) Modelo y marca del vehículo.
- c) Número de motor, RFV y Serie.
- d) Placas.
- e) Tipo de Motor.
- f) Niveles de contaminantes medidos.
- g) Fecha de la inspección.

Artículo 26: Los usuarios deberán mantener durante dos años las calcomanías que acrediten que el vehículo pasó la inspección en cuanto a los niveles de contaminantes y estado del sistema anticontaminante.

ESTA COPIA NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CAPITULO VI

Verificación

Artículo 27: Para los efectos del siguiente reglamento, la Secretaría en coordinación con el Departamento instalará talleres en donde capacite al personal que preste sus servicios en los talleres particulares, fijando para tal efecto el programa de capacitación correspondiente y expidiendo al término de la capacitación el certificado que acredite al personal como capacitado.

Artículo 28: Independientemente de las inspecciones realizadas por los talleres particulares, la Secretaría y el Departamento en forma coordinada podrán realizar verificaciones a los vehículos en circulación a efecto de que se encuentren operando bajo los niveles adecuados y constatar que el taller lleva a cabo las inspecciones en forma adecuada.

Artículo 29: Así mismo la Secretaría podrá verificar la calibración de los aparatos instalados en los talleres en forma periódica a fin de constatar el funcionamiento adecuado de dichos aparatos.

Artículo 30: La Secretaría y el Departamento recopilarán la información estadística a efecto de constatar los resultados obtenidos a través del presente reglamento, así como poder modificar los niveles adecuadamente.

CAPITULO VII

Sanciones

Artículo 31: La infracción por parte del fabricante a lo dispuesto en este reglamento implicará que no obtendrá autorización para vender la unidad de que se trate hasta que las deficiencias hayan sido corregidas a satisfacción de la Secretaría, con el objeto de cumplir con lo aquí dispuesto.

Artículo 32: La Secretaría podrá imponer las siguientes sanciones al que infrinja lo dispuesto en el siguiente reglamento:

- a) Multa de 5 a 10 veces el Salario Mínimo en el Distrito Federal.
- b) Retirar de la circulación el vehículo que no haya cumplido con la Inspección o que se encuentre funcionando en forma inadecuada.
- c) Retirar la autorización al taller particular para realizar Inspecciones oficiales.

Artículo 33: Para efectos del artículo anterior, en caso de que un vehículo no se encuentre funcionando dentro de los niveles establecidos, la Secretaría podrá conceder un plazo de hasta 30 días naturales a efecto que se corrija la falla, independientemente de que decida imponer una sanción pecuniaria.

CAPITULO VIII

Recursos

Artículo 34: Contra las resoluciones y actos de la Secretaría y del Departamento, no cabrá más recurso que el de reconsideración, el cual se deberá promover dentro de los 15 días naturales siguientes a la fecha en que se notifique la resolución o acto que corresponda.

Artículo 35: El recurso mencionado se deberá interponer ante la Dirección General de Asuntos Jurídicos de la Secretaría.

Transitorios

Primero: Este reglamento entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el diario oficial.

Segundo: Se derogarán todas las disposiciones que contravengan lo dispuesto en este reglamento.

INDICE DE ILUSTRACIONES

TABLAS:	pág.
1.1 Contaminantes emitidos a la atmósfera por combustión de productos del petróleo en el Valle de México.	4
3.1 Deterioro de las emisiones de CO y HC en vehículos usados	37
ILUSTRACIONES:	
2.1 Ciclo Otto de aire estándar.	7
2.2 Rendimiento del ciclo en función de la relación de compresión.	7
2.3 Contenido de CO y CO ₂ con respecto a la relación aire-combustible.	16
2.4 Efecto de la relación aire-combustible sobre los NOX.	19
2.5 Efecto del avance de la chispa sobre los NOX.	20
2.6 Variación de los HC con la relación de aire-combustible.	22
3.1 Efecto del kilometraje sobre la emisión de HC.	36
3.2 Efecto del kilometraje sobre la emisión de CO.	36
4.1 Sistema "PCV".	39
4.2 Sistema "EGR".	42
4.3 Sistema de control evaporativo.	50
4.4 Analizador infrarrojo.	51

4.5	Detector de ionizador de flama.	53
4.6	Cromatógrafo de gases.	55
4.7	Analizador químico-luminoso de óxidos de nitrógeno.	56
4.8	Recorridos de prueba.	58
5.1	Puntos importantes de la afinación anticontaminante.	64

BIBLIOGRAFIA

1. Chen, J., Gussert, D., Gao, X., Gupta, C., Ethanol Fumigation of a Turbocharged Diesel Engine, SAE, 1981.
2. Crouse, William H., Automotive Emission Control, McGraw Hill, 1979.
3. Daniel, W.A., Wentworth, J.T., Exhaust Gas Hydrocarbons; Genesis and Exodus, SAE, 1962.
4. Decreto que fija los límites permisibles de emisiones de los gases de escape de los vehículos automotores nuevos de gasolina. Diario Oficial, 29 de octubre de 1976.
5. Dewees, Donald N., Economics and Public Policy: The Automobile Pollution Case, The MIT Press, 1974.
6. Ford Motor Company, Vehicle Emission Control Systems, Detroit Michigan, 1972.
7. Hagen, D.F., Holiday, G.W., The Effects of Engine Operating and Design Variables on Exhaust Emissions, SAE, 1962.
8. Hurn, Richard W., Approaches to Automotive Emissions Control, American Chemical Society, Washington, D.C. 1974.
9. IMP, La Gasolina con Alcoholes como Combustibles Anticontaminantes para el Valle de México, México D.F., 1979.
10. Jackson, Marvin W., Effect of Catalytic Emission Control on Exhaust Hydrocarbon Composition and Reactivity, SAE, 1978.
11. Jackson, M.W., Wiese, W.M., Wentworth, J.T., The Influence of Air-Fuel Ratio, Spark Timing, and Combustion Chamber Deposits on Exhaust Hydrocarbon Emissions, SAE, 1962.
12. National Research Council, Highway Research Board, Status Of Vehicle Fumes Problem, Washington D.C., 1960.

13. Norma Oficial Mexicana. Determinación de las Emisiones de Hidrocarburos y Monóxido de Carbono, Provenientes del Escape de los Vehículos Automotores en Circulación que usan Gasolina como Combustible. DGN-AA-27-1976., Diario Oficial, 10 de noviembre de 1976.
14. Norma Oficial Mexicana. Evaluación de la Opacidad del Humo Proveniente de Vehículos Equipados con Motor Diesel. DGN-A-A-13-1976., Diario Oficial, 10. de junio de 1976.
15. Norma Oficial Mexicana, NOM-AA-11-1980, Contaminación Atmosferica-Vehículos automotores Nuevos a Gasolina-Evaluación de emisiones de gases de escape., Diario Oficial, 8 de agosto de 1980.
16. Obert, Edward F., Motores de Combustión Interna: Análisis y Aplicaciones., C.E.C.S.A., México D.F., 1982.
17. Organization for Economic Co-operation and Development, The Automobile and the Environment, The MIT Press, 1978.
18. Organization for Economic Co-operation and Development, The Cost and Effectiveness of Automobile Exhaust Emission Control Regulations, Paris, 1979.
19. Patterson, D.J., Henein, N.A., Emissions from Combustion Engines and Their Control, Ann Arbor Science Publishers, 1972.
20. PEMEX, IMP, Programa de Evaluación de Combustibles Alternos, México D.F., Junio 1980.
21. Post, Daniel, Noncatalytic Auto Exhaust Reduction, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, 1972.
22. Sitting, Marshall, Automotive Pollution Control: Catalysts And Devices, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, 1977.
23. Springer, George S., Patterson, Donald J., Engine Emissions; Pollutant Formation and Control, Plenum Press, New York, 1973.

24. Sun Electric Corporation, Multiple Gas Analyzer MGA-90: Operator's Manual., Crystal Lake, Illinois, 1981.
25. U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Control Techniques for Carbon Monoxide, Nitrogen Oxide, and Hydrocarbon Emissions from Mobile Sources, Washington D.C., 1970.
26. Van Wylen, Gordon J., Sontag, Richard E., Fundamentals of Classic Thermodynamics, Si version, Wiley, 1978.