

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**Contaminación Atmosférica Modelo de Emisión
de Monóxido de Carbono Producido por Vehí-
culos de Combustión Interna**

226

T E S I S

Que para obtener el título de :

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a n :

ROGERIO HERNANDEZ GONZALEZ

JOSE OCTAVIO RIOS PORRAS



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS Tesis 1976
ABR M-
FECHA 228
*ROC _____
S _____



QUIMICA

**CONTAMINACION
ATMOSFERICA
MODELO DE EMISION DE
MONOXIDO DE CARBONO
PRODUCIDO POR VEHICULOS
DE COMBUSTION INTERNA**

índice

	PAG.
1. INTRODUCCION.	8
2. CONTAMINACION ATMOSFERICA.	13
3. CONTAMINACION PRODUCIDA POR VEHICULOS DE COMBUSTION INTERNA.	31
4. ASPECTOS GENERALES DEL MONOXIDO DE CARBONO.	50
5. TECNICAS DE MEDICION DEL MONOXIDO DE CARBONO.	68
6. UNIVERSO DE ESTUDIO.	96
7. MODELO DE EMISION DEL MONOXIDO DE CARBONO.	119
8. ESTRATEGIAS DE CONTROL DEL MONOXIDO DE CARBONO.	150
9. CONCLUSIONES.	176
BIBLIOGRAFIA.	185

Fabricamos millones de automóviles que presionan la ciudad; construimos calles y carreteras en todas partes, principalmente para aliviar la presión de las ciudades; y luego nos preocupamos al encontrar las congestionadas.

Permitimos a los automóviles que entren a nuestras casas, comedores, cines y oficinas; solamente hemos protegido nuestras recámaras.

Hemos visto el nacimiento de un nuevo centauro, mitad hombre y mitad automóvil; nos estamos convirtiendo gradualmente en una especie sin piernas.

Constantine Doxiadis.

1

introducción

Los avances tecnológicos alcanzados desde el inicio de la Revolución Industrial, han colocado a algunas poblaciones de nuestro ecosistema en situación de lograr sueños utópicos de comodidad, salud y riqueza.

Sin embargo, estos avances han traído consigo también la capacidad destructora de la vida en la ecósfera, pudiendo llegar a ocurrir ésta en forma catastrófica mediante el holocausto atómico o bien, lograrse de una manera mas lenta e insidiosa, pero ciertamente igual de efectiva, si se permite que la contaminación alcance un nivel tal que llegue a impedir la continua reproducción de nuestras especies.

Los productos finales de diversos procesos de transformación, han dado lugar a la contaminación del medio ambiente urbano. Las materias primas son transformadas mediante procesos industriales, combustión, etc., en comodidades y servicios a la sociedad. Sin embargo, debido a que la eficiencia de la tecnología de transformación de una forma de masa o energía a otra no es absoluta, los residuos generados son descargados a la atmósfera, al agua y/o al suelo.

La producción de energía para fines industriales de transportación y calefacción, mediante el uso de combustibles

derivados del petróleo, es la responsable de la mayoría de los residuos que han dado lugar al problema de la contaminación -- del aire urbano.

La transportación automotiva ha llegado a ser parte integral de nuestra forma de vida y la producción, distribu--- ción y servicio de los vehículos, junto con la industria pro--- ductora de los combustibles necesarios para su funcionamiento representan elementos importantes en nuestra economía.

Empero, en forma conjunta con los servicios que el - sistema de transporte proporciona, se producen subproductos in deseables que han provocado el deterioro de la calidad del aire, al grado de que se ha convertido este sistema tan útil, en el principal foco de contaminación de nuestro medio ambiente.

El desarrollo de un plan de acción para el control - de la contaminación producida por vehículos, no debe ser guiado solamente con el propósito de erradicar la contaminación en sí. Si éste fuera el objetivo a conseguir, implicaría que la - mejor acción a seguir sería la prohibición del uso de vehícu-- los de combustión interna o de cualquier otro tipo de motor -- que produjera emisiones. La política de control debe tener múl tiples objetivos, los cuales además de provocar la disminución

de las emisiones originen beneficios sociales y económicos al Hombre.

Por consiguiente, es necesario considerar dentro de cualquier plan de acción para el control de la contaminación vehicular, el mantener y mejorar o al menos no degradar las ca racterísticas deseables del sistema de transporte.

La evaluación de los diferentes planes de control re quiere fundamentalmente, de la elaboración de una herramienta que permita representar en forma real y simplificada, mediante interrelaciones lógicas, las conexiones físicas entre el siste ma de transporte y las emisiones de gases contaminantes.

El objetivo primordial del presente trabajo es construir esa herramienta, por medio del desarrollo de un modelo matemático que nos compense la aparente pérdida de realidad -- por la capacidad de manejar grandes cantidades de elementos nu méricos a través del lenguaje matemático.

La importancia del desarrollo de este modelo matemático se deriva del valor potencial que éste tiene en todos los problemas de calidad de aire que involucran consideraciones -- cuantitativas en lo relativo a fuentes de emisión; incluyendo también la simulación de estrategias de abatimiento, determina

ción de la distribución geográfica de emisiones, el pronóstico de niveles peligrosos y la detección de problemas de planeación urbana para el futuro.

La selección del monóxido de carbono, entre otros gases contaminantes como hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, etc., como enfoque del modelo, obedece a que es éste, el más importante, cuantitativamente en lo referente a su contribución a la contaminación de la atmósfera urbana de la zona de estudio y a los efectos que producen los niveles alcanzados en el bienestar y salud de sus habitantes.

2

**contaminación
atmosférica**

2.1. FUENTES DE CONTAMINACION.

2.1.1. Combustión.

2.1.2. Evaporación.

2.1.3. Abrasión.

2.2. TIPOS DE CONTAMINANTES.

2.2.1. Aerosoles y Partículas.

2.2.2. Gases Orgánicos.

2.2.3. Gases Inorgánicos.

2.3. EFECTOS DE LA CONTAMINACION.

2.3.1. Reducción de la Visibilidad.

2.3.2. Daños a la Vegetación.

2.3.3. Deterioro y Daño a las Propiedades.

2.3.4. Efectos en la Salud.

La contaminación atmosférica puede definirse como la adición de materia ajena a la composición natural del aire, in troducida a propósito o por alguna acción de la naturaleza en cantidad o duración tal que interfiera con la salud o el bienestar de la vida humana, animal o vegetal, y/o con el pleno uso y disfrute de la propiedad.

La contaminación del aire no es un problema nuevo, ha estado presente desde el principio de la tierra, causado por una gran variedad de fenómenos naturales, así como por el proceso y resultado de actividades humanas.

La contaminación natural del aire proviene de erupciones volcánicas, incendios forestales, movimientos interiores de la tierra y por la simple acción del viento. Bacterias, polen y cristales de sal (estos últimos provenientes de los ma res) pueden ser transportados por el viento grandes distancias antes de ser depositados.

El hombre, a partir del día en que descubrió el fuego ha contribuido en forma constante, a través de todas las etapas de su desarrollo hasta la actualidad, a contaminar el aire que respira, pudiendo llegar al extremo de decir que la contaminación es el mayor subproducto de una civilización que ha llegado a depender en forma total de la tecnología indus---

trial para poder "sobrevivir".

2.1. FUENTES DE CONTAMINACION.

El crecimiento desmesurado en áreas urbanas combinado con el incremento de necesidades tecnológicas, energéticas y de transporte han contribuido a hacer más crítica la contaminación atmosférica, la cual podemos resumir resulta de tres -- procesos básicos:

- Combustión.
- Evaporación.
- Abrasión.

2.1.1. Combustión.

Se puede considerar como el proceso que representa - el mayor problema en la contaminación del aire.

Consiste en el quemado de combustibles fósiles o materiales de desecho con el propósito de obtener energía.

Teóricamente la combustión perfecta produciría energía y productos secundarios como vapor de agua y bióxido de -- carbono, componentes del aire no dañinos. Sin embargo, debido a impurezas del combustible, relaciones poco precisas de combustible-oxígeno, temperaturas inadecuadas de ignición, etc., hacen del proceso de combustión el más importante generador de contaminantes.

2.1.2. Evaporación.

La evaporación o volatilización es un subproducto de muchas operaciones químicas y de manufactura que inducen cambios físicos en las sustancias, debido a la aplicación de calor y presión, provocando en algunos casos que sus componentes se evaporen a la atmósfera.

La evaporización incluye materiales volátiles a temperatura y presión atmosférica normal; humos, como resultado de inducciones de calor; y materiales orgánicos en descomposición debido a procesos naturales.

Los materiales que se evaporan en condiciones normales de temperatura y presión generalmente son derivados del petróleo como: gasolina; aceites, pinturas, disolventes, etc.

Los humos incluyen volatilizaciones y condensaciones que se producen en la elaboración y manejo de ácidos y en la fundición de metales, donde los metales líquidos son primero pasados a estado gaseoso y condensados a polvos mediante enfriamientos rápidos.

La descomposición esta asociada con el manejo de compuestos orgánicos pesados o de tejidos animales con contenido de azufre y nitrógeno.

2.1.3. Abrasión.

La abrasión ocurre en todos los aspectos de la vida moderna, se produce en una gran variedad de procesos como: molienda, pulverización, demolición, mezclado, esparcido, atomización, etc., los cuales directa o indirectamente dispersan partículas en forma de polvos a la atmósfera.

2.2. TIPOS DE CONTAMINANTES.

Los contaminantes del aire se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Aerosoles y partículas sólidas.
- Gases orgánicos.
- Gases inorgánicos.

2.2.1. Aerosoles y partículas.

Los diámetros de las partículas contaminantes emitidas por fuentes que involucren cambios o transformaciones físicas ó químicas, varía grandemente entre 1,000 micrones y menos de un micrón.

Las partículas que forman los aerosoles están en un rango de 10 micrones a poco menos de 0.01 de micrón. La mayoría de los aerosoles se pueden considerar con un diámetro menor al micrón.

Las partículas sólidas se consideran responsables de dos efectos básicos de contaminación.

- Deterioro de edificios, corrosión de vestidos, y -
daño a las cosechas como resultado de su depósito.
- Adhesión a tejidos respiratorios con posible daño
fisiológico.

La mayoría de los aerosoles tienden a permanecer suspendidos permanentemente en el aire y generalmente son emitidos como desprendimiento de fracturas o descomposición de grandes partículas. También se forman en el aire a partir de la -- descomposición de gases contaminantes, pudiendo ser orgánicos o inorgánicos, líquidos o sólidos.

Los aerosoles más pequeños pueden comportarse como - un gas y no depositarse tan fácilmente como las partículas, pudiendo ser inhalados y exhalados con el aire. Su importancia - es primordial, ya que un exceso de ellos en la atmósfera reduce considerablemente la visibilidad debido a la dispersión de la luz que provoca.

2.2.2. Gases orgánicos.

Los gases orgánicos y sus derivados incluyen toda -- clase de hidrocarburos como: olefinas, parafinas y compuestos aromáticos, además de derivados formados por el reemplazo del hidrógeno por oxígeno, halógenos, nitrógeno u otro sustituyente.

El origen principal de este tipo de gases es el petróleo, siendo los hidrocarburos y sus derivados liberados a la atmósfera durante los procesos de refinación, traslado, almacenamiento y uso. Existen otras fuentes de formación como son las reacciones fotoquímicas en la atmósfera.

La fuente más importante de hidrocarburos son los vehículos impulsados mediante el motor de gasolina, especialmente en áreas donde la densidad de población es elevada. La segunda fuente de emisión en importancia es el uso de disolventes orgánicos comercial e industrialmente.

Los hidrocarburos y sus derivados son importantes debido a la producción del llamado "smog" fotoquímico. Los más reactivos son las olefinas (no saturados) pudiendo reaccionar con el dióxido de nitrógeno y producir: aerosoles que reducen la visibilidad y oxidantes (principalmente ozono) que causan daño a las plantas e irritación en los ojos. Las parafinas y los hidrocarburos aromáticos pueden también reaccionar con el dióxido de nitrógeno para producir una variedad similar de efectos irritantes y también con el SO_2 para dar ácidos sulfínicos.

Los hidrocarburos derivados producidos por reacciones fotoquímicas incluyen: aldehídos, cetonas y derivados ni-

trogenados, que a su vez reaccionan empeorando los efectos del "smog" fotoquímico.

2.2.3. Gases inorgánicos.

Los gases inorgánicos de mayor porcentaje en la atmósfera son: los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y el monóxido de carbono, de menor importancia en lo que concierne a contaminación atmosférica son: el amoníaco, el ácido sulfúrico y el clorhídrico.

La principal fuente de emisión de los óxidos es el uso de combustibles en medios de transportación con objeto de cubrir necesidades industriales, comerciales y domésticas, así como su utilización para propósitos de calefacción y de generación de potencia.

a) Oxidos de Nitrógeno.

Sólo el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) son de importancia en la contaminación.

El óxido nítrico se forma cuando el nitrógeno atmosférico es oxidado durante el proceso de combustión en vehículos, incineradores y hornos industriales, las cantidades producidas son directamente proporcionales al consumo y al incremento de altas temperaturas. Una vez en la atmósfera el óxido ní-

trico, en presencia de luz solar, se combina con el oxígeno -- disponible para producir dióxido de nitrógeno, uno de los mayores ingredientes del "smog" fotoquímico.

La emisión de, óxidos de nitrógeno se ha incrementado últimamente debido a las mayores relaciones de compresión y elevadas temperaturas en el motor, existentes en los modelos - actuales de vehículos.

b) Oxidos de Azufre.

Dos óxidos de azufre, el dióxido (SO_2) y el trióxido (SO_3) son clasificados como contaminantes del aire.

Se forman principalmente en el quemado de combusti-- bles que contienen azufre (carbón, aceite, diesel). Las cantidades producidas son función directa del contenido de azufre - y del consumo total del combustible.

Normalmente el dióxido de azufre se produce en mayor cantidad que el trióxido, formándose este último debido a la - oxidación del dióxido en una proporción aproximada del 1 - 2%.

Cada óxido puede combinarse con vapor de agua en la atmósfera y formar aerosoles de ácidos tóxicos que corroen superficies de metales, muebles y hojas de plantas y afectan la salud.

c) Monóxido de Carbono.

Es el resultado de una combustión incompleta, siendo su fuente principal los vehículos de combustión interna. Este gas no parece tener efectos adversos en la vegetación ni en los materiales, pero si en el ser humano, dependiendo sus efectos de la concentración y del tiempo de exposición.

Un análisis más detallado del monóxido de carbono, así como de sus fuentes de emisión y efectos en la salud se presenta en capítulos siguientes.

d) Otros gases inorgánicos.

El amoníaco, los ácidos clorhídrico, sulfhídrico y fluorhídrico, así como los fluoruros, se encuentran en la atmósfera, generalmente en pequeñas cantidades, pero su toxicidad se manifiesta desde concentraciones pequeñas a moderadas, causando daños a la vegetación y enfermedades al hombre y a los animales.

Los efectos dañinos de estos gases en materiales son variados, por ejemplo: el amoníaco decolora tejidos textiles, corroe al cobre, aluminio, latón y zinc, el ácido clorhídrico causa también decoloración de fibras textiles, el ácido sulfhídrico decolora pinturas, el ácido fluorhídrico y los fluoruros son altamente tóxicos y corrosivos.

2.3. EFECTOS DE LA CONTAMINACION.

A medida que la contaminación atmosférica se incrementa sus efectos se hacen más aparentes, produciéndose daños a la vegetación, reducción de visibilidad, deterioro de propiedades materiales y el más importante, efectos dañinos a la salud humana.

2.3.1. Reducción de la visibilidad.

Se debe básicamente a la concentración de aerosoles en la atmósfera, sus efectos son:

- Oscuridad en el cielo.
- Neblinas (dispersión de la luz).

El oscurecimiento en el cielo es debido a la obstrucción física de la luminosidad por nubes de contaminantes o a plumas de humo.

Las neblinas son debidas a las alteraciones que sufren la luminosidad del cielo a consecuencia de la dispersión de la luz. El color azul del cielo es el resultado de la dispersión de la luz solar por gases atmosféricos, de manera similar el color del cielo puede ser alterado por la existencia de nieblas contaminantes, dependiendo el tipo y grado de alteración del tamaño de aerosoles presentes. El diámetro de aerosoles más favorables para dispersar la luz oscila entre 0.4 y --

0.9 micrones.

La reducción de la visibilidad es un buen índice de acumulación de contaminantes, la medición de este parámetro en intervalos regulares de tiempo permite detectar el grado de -- contaminantes y evaluar la eficiencia de métodos de control.

2.3.2. Daños a la vegetación.

Los daños que causa la contaminación en las cosechas y en los árboles van desde una simple marca al follaje hasta - una reducción total del crecimiento y tiempo de la vida en las plantas, de aquí que las consecuencias económicas puedan lle-- gar a resultados desastrosos.

Los deterioros que sufre la vegetación pueden servir de advertencia al hombre de la existencia de sustancias tóxi-- cas en el aire que pueden afectar su salud, así como de indicativo de reactividad química en el aire.

Cualquier contaminante que dañe la vegetación se denomina fitotóxico, encontrándose entre ellos una gran variedad de gases y partículas, como: fluoruros, dióxido de azufre, oxidantes (ozono, nitrato de peroxiacetileno), boro, cloruro de - plomo, ácido clorhídrico, cromo, níquel, urea, dióxido de ni-- trógeno, amoníaco, polvos de cemento, limaduras de magnesio y

cenizas.

La protección a las plantas de los efectos adversos de fitotóxicos aéreos puede realizarse, desarrollando variedades resistentes o bien produciendo líquidos o polvos que protejan a las plantas, sin embargo, el mejor método es controlar las fuentes de emisión para reducir la concentración de estos agentes fitotóxicos.

2.3.3. Deterioro y daño a las propiedades.

La contaminación del aire provoca el ensuciamiento del vestido, de edificios y otras propiedades, su influencia es directa a los costos de limpieza y lavandería, protección de mercancías y mantenimiento de construcciones.

El daño que sufren las propiedades es de naturaleza acumulativa, tendiendo a acortarse la durabilidad de los materiales expuestos a la atmósfera. Esto se presenta por lo general, debido a interacciones de los contaminantes con la superficie protectora de los materiales.

Efectos típicos, son: la corrosión de metales, deterioro de materiales de construcción y daño en la pintura de vehículos.

2.3.4. Efectos en la salud.

Situaciones dramáticas para la salud humana, se han presentado raramente debido, principalmente, al estancamiento de las condiciones climatológicas que permiten que la concentración de contaminantes incremente en forma continua durante períodos de varios días. Situaciones como éstas han provocado graves afecciones y hasta la muerte a personas con enfermedades respiratorias crónicas.

El efecto de la exposición diaria a bajas concentraciones de aire contaminado es muy difícil de calcular, ya que algunos individuos son relativamente más susceptibles que otros.

En general, la gente que vive en centros con altos índices de población y desarrollo industrial tiene una gran posibilidad de contraer enfermedades en el sistema respiratorio.

En estas áreas donde los automóviles representan un elevado porcentaje de contribución a la contaminación del aire, los efectos a corto plazo se presentan como simples molestias a los ojos y garganta. Siendo este estudio relativo a la contaminación por monóxido de carbono producido por vehículos de combustión interna, se presenta a continuación un inciso refe-

rente a los daños en la salud debidos a este gas.

a) Efectos del monóxido de carbono en la salud.

En el mundo actual el contaminante que mas abunda es el monóxido de carbono, gas incoloro e inodoro que se combina preferentemente con la hemoglobina de la sangre bloqueando el sistema de transporte de oxígeno del cuerpo. Si la concentración es bastante elevada, el cuerpo se asfixia rápidamente, pero a bajas concentraciones como las que se encuentran en los ambientes urbanos, se establece un equilibrio en el torrente sanguíneo y la persona expuesta quizás padezca una ligera pérdida de la coordinación o de los reflejos que ni siquiera perciba. Por esta razón, la ciencia se ha ocupado muy poco de la contaminación debida al CO, aún cuando las concentraciones ascienden cada vez más en las zonas urbanas al aumentar el número de automóviles año con año. Cualquier residente urbano se encuentra expuesto a diversos niveles de CO durante todos los días de su vida en el ambiente urbano y dadas las actuales tendencias de la población que parecen aproximarse a una urbanización total, es necesario que lleguen a entenderse bien los efectos de estas concentraciones.

El CO reacciona con la hemoglobina de la sangre 210 veces más rápido que el oxígeno para formar carboxihemoglobi-

na, reduciendo la capacidad portadora de oxígeno de la sangre. No solamente el oxígeno resulta desplazado por esta reacción - sino que la restante carboxihemoglobina queda ligada más fuertemente, restándole capacidad de transporte de oxígeno. Como - la reacción es reversible, si se sale de la atmósfera que contiene CO, éste se irá eliminando gradualmente hasta alcanzar - un nivel usual. La vida media del CO en la sangre es de cuatro a cinco horas. Así pues, la sangre tiene un efecto integrante al estar el cuerpo expuesto a diferentes concentraciones de CO cada día.

Los efectos fisiológicos de los niveles no tóxicos - de exposición al CO son proporcionales al contenido de carboxi hemoglobina de la sangre. Este alcanza un equilibrio después - de ocho horas de estar en una atmósfera que contenga CO y es - proporcional a su concentración.

En aire puro, la sangre siempre contiene aproximadamente 0.5% de carboxihemoglobina debido a la descomposición na tural de las moléculas de hemoglobina, pero las concentraciones superiores a esta cifra se deben a la presencia de CO en - el ambiente.

Los síntomas de la exposición a altas concentraciones

nes de CO son las siguientes: dolor de cabeza, mareos, cansancio, parpadeo, zumbido de oídos, náusea, vómitos, palpitaciones, opresión en el pecho, dificultad para respirar, debilidad muscular, caída, desmayo y finalmente, la muerte.

La exposición a 30 ppm de CO durante ocho horas producirá aproximadamente 5% de carboxihemoglobina. Los fumadores suelen tener concentraciones de 5-10% y los obreros de agencias de servicios automotrices y agentes de tránsito pueden tener hasta 18%. Los efectos inmediatos de estas concentraciones de carboxihemoglobina producen en los individuos una reducción en la eficiencia de sus actividades, afectan la elección de sus decisiones y reducen su agudeza visual.

La determinación de los límites seguros de emisión de monóxido de carbono, deberá de estar de acuerdo con las siguientes pautas:

- Cantidad de CO que retarda los reflejos al conducir un vehículo.
- Cantidad de CO que pueda tolerar un individuo con padecimientos físicos.

3 contaminación producida por vehículos de combustión interna

3.1. EMISIONES PRODUCIDAS POR VEHICULOS CON MOTOR DE GASOLINA.

3.1.1. Emisiones en el escape.

3.1.2. Emisiones en la ventilación de la caja del cigue--
ñal.

3.1.3. Emisiones en el carburador y tanque de gasolina.

3.1.4. Variación de las emisiones con el modo de opera---
ción.

3.2. EMISIONES PRODUCIDAS POR VEHICULOS CON MOTOR DIESEL.

3.2.1. Emisiones en el escape.

3.2.2. Emisiones en la ventilación de la caja del cigue--
ñal.

3.2.3. Emisiones por evaporación.

3.2.4. Emisiones de humo.

Bajo condiciones ideales, todo motor debería quemar su combustible completamente, produciendo un mínimo de contaminación dañina y además desarrollando el máximo de potencia de una cantidad determinada de combustible. Tal condición es desde luego impracticable e imposible, pero debe ser la tendencia a seguir para producir motores que se acerquen a este ideal -- tanto como sea posible dentro de las condiciones ambientales y económicas prevalecientes.

3.1. EMISIONES PRODUCIDAS POR VEHICULOS CON MOTOR DE GASOLINA.

El motor de gasolina suministra una mezcla de aire y combustible mediante el carburador a los cilindros; la fuerza de la mezcla varía dentro de cada cilindro y entre estos. Variaría también de acuerdo a las diferentes cargas y condiciones de velocidad, dependiendo de la eficiencia del carburador y de los conductos de aire.

En condiciones de completa y correcta combustión el hidrocarburo se debe quemar completamente con el oxígeno del aire en el cilindro para formar vapor de agua, bióxido de carbono y algunos óxidos de nitrógeno debidos a las altas temperaturas dentro del cilindro. Para lograr esta combustión completa se supone que la combinación de la mezcla es la correcta -- dentro de todo el cilindro y además que la flama de ignición -

llega a todas las partes del mismo.

En realidad, ya que la ignición de la mezcla se logra en un punto determinado, la bujía, la flama viaja por el cilindro a una velocidad controlada y no puede llegar a tiempo a toda la mezcla provocando que ésta no sea uniforme. En este caso, se produce una combustión incompleta y los gases del escape son una mezcla de: hidrocarburos parcialmente quemados, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, vapor de agua, bióxido de carbono y además algo de óxido de azufre y compuestos de plomo dependiendo del tipo de combustible.

Las fuentes de emisión de estos gases en los vehículos, son:

- Tubo de escape.
- Ventilación de la caja del cigueñal.
- Carburador.
- Tanque de gasolina.

Una evaluación de los porcentajes de emisión de los principales contaminantes (HC, CO y NOx) según su fuente se presenta en la figura 3.1 y tabla 3.1.

TABLA 3.1. PORCENTAJES DE EMISION DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES SEGUN SU FUENTE.

FUENTE DE EMISION	EMISIONES		
	% HC	% NOx	% CO
TUBO DE ESCAPE	50-60	100	95-98
VENTILACION DEL CIGUEÑAL	20-35	-	2-5
CARBURADOR - TANQUE DE GASOLINA	15-25	-	-

3.1.1. Emisiones en el escape.

Las emisiones producidas en el tubo de escape son la mayor fuente cuantitativa de emisión y la más importante en cuanto a la producción de gases que dan lugar, posteriormente, al smog fotoquímico.

El smog fotoquímico es el producto de la reacción de hidrocarburos (principalmente aldehídos), óxidos de nitrógenos y dióxidos de azufre en la atmósfera, en presencia de radiación solar.

La abundancia relativa de varios hidrocarburos significativos en reacciones fotoquímicas se presenta en la tabla 3.2., en orden decreciente de reactividad.

TABLA 3.2. ABUNDANCIA RELATIVA DE VARIOS HIDROCARBUROS SIGNIFICATIVOS EN REACCIONES FOTOQUIMICAS.

HIDROCARBURO	ABUNDANCIA RELATIVA
DIOLEFINAS	LIGERA
C ₂ - C ₄ OLEFINAS	ELEVADA
C ₅ - C _n OLEFINAS	MEDIA
C ₉ - C _n AROMATICOS	MEDIA
XILENO	ELEVADA
TOLUENO	ELEVADA
C ₆ - C _n PARAFINAS	ELEVADA
BENCENO	MEDIA
C ₁ - C ₅ PARAFINAS	ELEVADA

Los hidrocarburos y el monóxido de carbono aparecen en el escape como residuos de combustible ó como productos de una combustión incompleta. Los óxidos de nitrógeno provienen de la reacción a altas temperaturas del nitrógeno y oxígeno -- contenido en el aire de combustión.

El efecto general de la relación aire-combustible sobre las emisiones producidas en el escape se muestra en la figura 3.2. Una relación aire-combustible ligeramente mayor que la estequiométrica (15:1) reduce considerablemente las emisio-

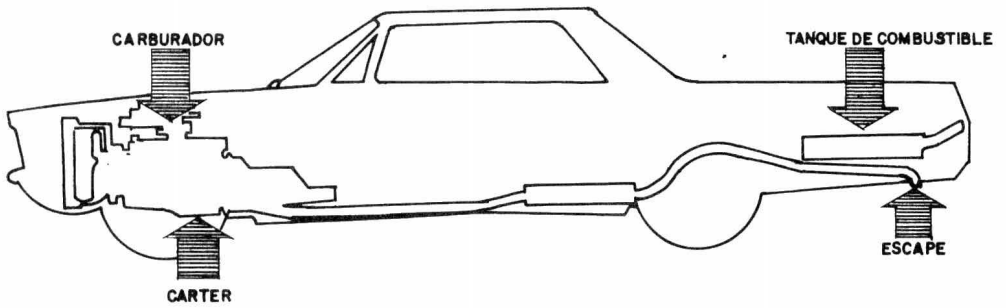


FIG. 3.1 FUENTES DE CONTAMINACION EN LOS VEHICULOS DE COMBUSTION INTERNA.

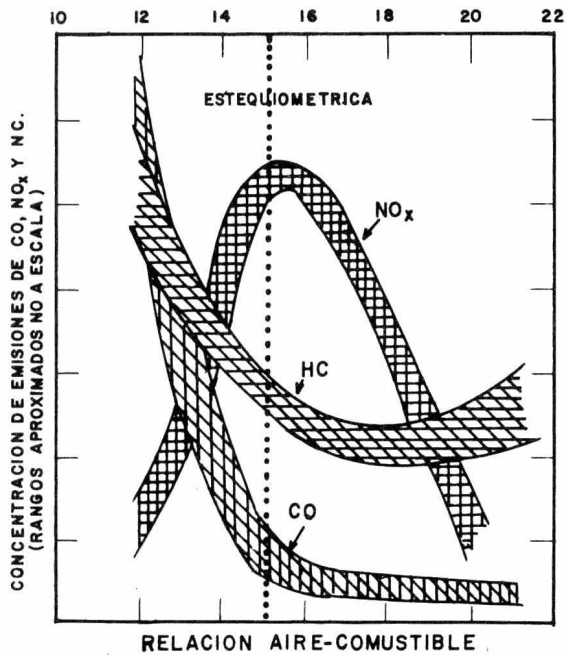


FIG. 3.2 EFECTO DE LA RELACION AIRE-COMBUSTIBLE SOBRE LAS EMISIONES PRODUCIDAS EN EL ESCAPE.

nes de HC y CO mediante el aprovisionamiento de un exceso de aire. Sin embargo, la emisión máxima de NOx a altas temperaturas (1370°C) es favorecida debido a una combustión más eficiente provocada por el suministro de un exceso de aire. Ahora --- bien, una relación aire-combustible pobre provoca que la temperatura de flama y el suministro aire decrezca produciendo emisiones bajas de NOx, pero incrementando las emisiones de HC y CO.

Teóricamente, las tres emisiones (HC, CO y NOx) pueden ser reducidas mediante relaciones aire-combustible extremadamente altas. En esta el exceso de aire produce la combustión completa de la gasolina y la oxidación del nitrógeno se reduce por el efecto predominante de temperaturas bajas de flama, debidas al calentamiento de aire en exceso que no toma parte en la reacción de combustión.

Sin embargo, estas condiciones provocan un mal funcionamiento en los motores de gasolina probablemente debido a la baja velocidad de propagación de la flama, a una combustión pobre como resultado de una eficiencia térmica reducida y a -- una combustión inestable.

Además, las condiciones derivadas de una relación aire-combustible extremadamente alta pueden dañar a las válvulas

de escape y ocasionar explosiones falsas en el carburador.

3.1.2. Emisiones en la ventilación de la caja del cigueñal.

En máquinas estandar de combustión interna, el aire se introduce a través de la caja del cigueñal y se mezcla con productos secundarios de la combustión que han pasado por los anillos del pistón durante los diferentes tiempos del ciclo -- del motor. El aire de ventilación que entra a través de la tapa del filtro de aceite, ayuda a reducir la acumulación de humedad, gasolina no quemada y presión en el cárter. Durante el proceso de dilución, existe la posibilidad de una interacción de componentes secundarios con el aceite de la máquina. Las -- emisiones que escapan por el sistema de ventilación del cárter están constituidas principalmente, por combustible no quemado (75-85%) y de productos de combustión (15-25%). Figura 3.3.

3.1.3. Emisiones en el carburador y tanque de gasolina.

El carburador y el tanque de gasolina son las dos -- fuentes de emisión por evaporación de gasolina.

Las pérdidas en el tanque de gasolina se producen durante el aprovisionamiento de combustible ó debido a que la evaporación de éste en el tanque forza al vapor a salir por el respiradero del depósito.

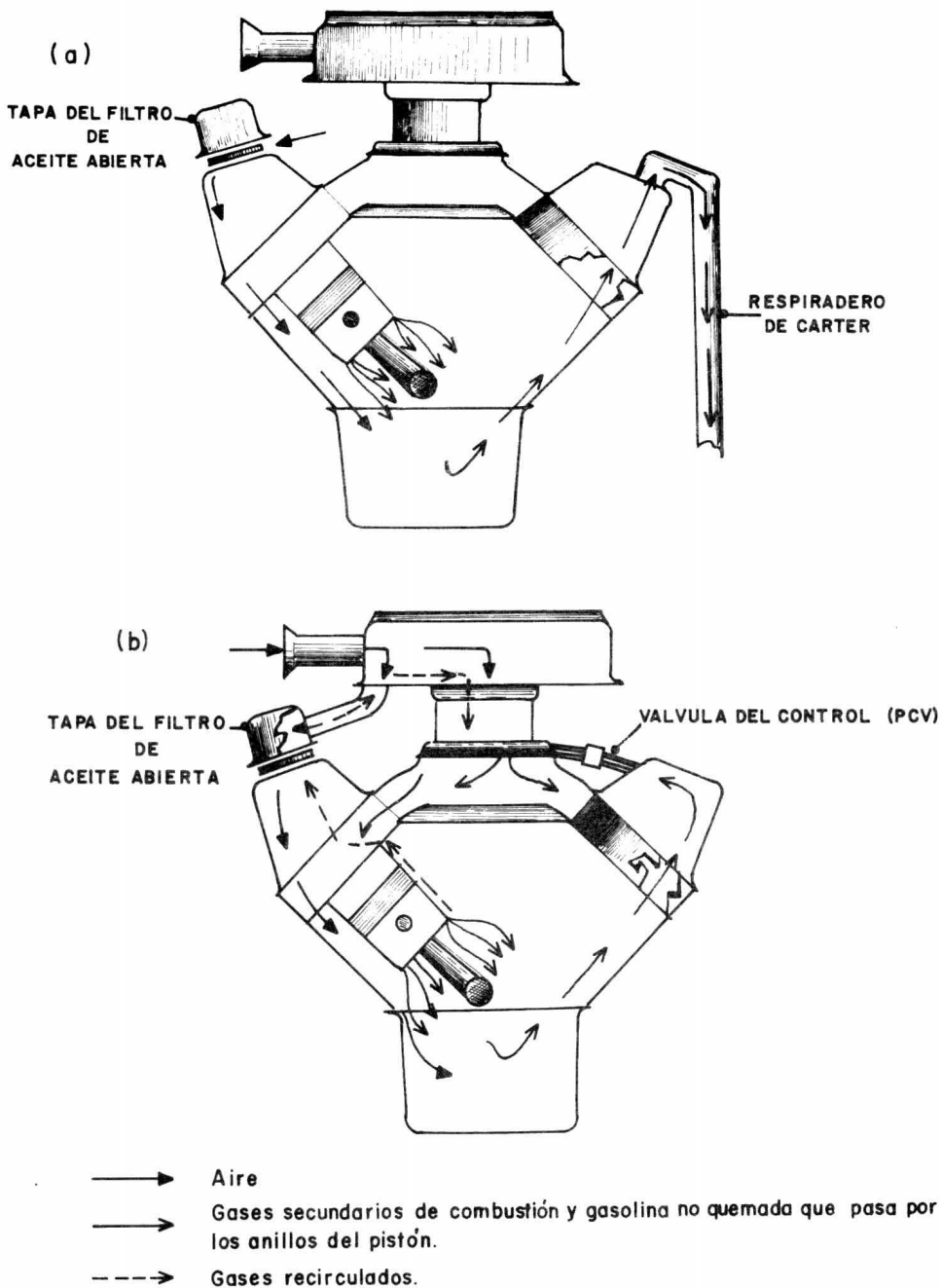


FIG. 3.2 EMISIONES (a) Y SU CONTROL (b) DEL SISTEMA DE VENTILACION DEL CARTER

Las emisiones debidas al carburador provienen: (1) - del respiradero del flotador que tiene como propósito aliviar la presión interna del carburador, y (2) de las pérdidas por calentamiento que tienen lugar cuando deja de funcionar el motor, siendo en este caso las emisiones mayores, ya que el calentamiento originado por la operación de la máquina produce un incremento en la evaporación de la gasolina alojada en el depósito del flotador. Las temperaturas elevadas durante el día también provocan un aumento en la emisión de esta fuente.

3.1.4. Variación de las emisiones con el modo de operación.

Las condiciones de operación tienen un efecto determinante sobre el nivel de emisiones de los vehículos, debido principalmente a las diferentes relaciones de aire-combustible. Una evaluación cualitativa de la variación del flujo y concentración de contaminantes en relación al modo de operación se presenta en las tablas 3.3 y 3.4.

TABLA 3.3. INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES DE OPERACION EN LAS RELACIONES AIRE COMBUSTIBLE.

MODO DE OPERACION	RELACION AIRE-COMBUSTIBLE
PUNTO MUERTO	11:1 - 12.5-1
VELOCIDAD DE CRUCERO	13:1 - 15.0-1
ACELERACION	11;5 - 13.0-1
DESACELERACION	11:1 - 12.5:1

T A B L A 3.4

EFECTO DE LOS MODOS DE OPERACION EN LA CONCENTRACION DE EMISIONES				
MODO DE OPERACION	EMISIONES EN EL ESCAPE			
	FLUJO	C O N C E N T R A C I O N		
		HC	CO	NOx
En punto muerto	muy bajo	alta	alta	muy baja
Velocidad de crucero: Baja Alta	bajo alto	baja muy baja	baja muy baja	baja moderada
Aceleración: Moderada Fuerte	alto muy alto	baja moderada	baja alta	alta moderada
Desaceleración	muy bajo	muy alta	alta	muy baja

La concentración de hidrocarburos emitidos por la -- ventilación de la caja del cigueñal y las pérdidas por evaporación son virtualmente independientes de la condición de operación, pero la proporción del flujo de cada una de estas fuentes varía de acuerdo a las modificaciones de operación, como - se indica en la tabla 3.5.

T A B L A 3.5

EFECTO DE LOS MODOS DE OPERACION EN LAS EMISIONES			
MODOS DE OPERACION	FLUJO DE EMISIONES		
	CARTER	CARBURADOR	TANQUE
En punto muerto	bajo	moderado	moderado
Velocidad de cruce: Baja Alta	moderado alto	bajo ninguno	moderado moderado
Aceleración: Moderada Fuerte	moderado muy alto	ninguno ninguno	moderado moderado
Desaceleración	muy bajo	moderado	moderado

3.2. EMISIONES PRODUCIDAS POR VEHICULOS CON MOTOR DIESEL.

Todos los motores diesel funcionan en base al principio de ignición-compresión en el cual la carga de aire aspirado adquiere una alta temperatura al ser sometido a una gran -- presión. Esta temperatura es suficientemente elevada para producir una ignición espontánea del combustible finamente pulverizado que es inyectado a la corriente de aire.

Considerando nuevamente el caso ideal, la combustión perfecta del combustible hidrocarburo resultaría en un gas de escape compuesto de bióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y vapor de agua.

Igual que el motor de gasolina, la eficiencia de la combustión variará de acuerdo con la velocidad y carga, pero - debido a que en el motor diesel hay una tendencia al exceso de aire, bajo la mayor parte de las condiciones de operación, el proceso de combustión tiende a ser más completo, porque se inicia la ignición en muchos puntos del cilindro por la presencia de un exceso de oxígeno.

Las relaciones aire-combustible que se presentan en una máquina diesel son de aproximadamente 100:1 en punto muerto y de 20:1 cuando el motor desarrolla su máxima potencia, --

una relación de 15:1 proveería de una proporción estequiométrica de aire-combustible suficiente para el quemado completo del diesel.

La producción de contaminantes del motor diesel en comparación con el de gasolina es menor en cuanto a monóxido de carbono e hidrocarburos, pero las emisiones de óxidos de nitrógeno, humo y el olor que producen son mayores a los del motor de gasolina.

3.2.1. Emisiones en el escape.

Las emisiones producidas en el escape comprenden esencialmente el 100% de las emisiones de un motor diesel. Un análisis de los componentes en el escape de motores de gasolina y diesel se presente en la tabla 3.6.

T A B L A 3.6

COMPARACION DE EMISIONES DE ESCAPE ENTRE MOTORES DIESEL Y DE GASOLINA		
EMISION	DIESEL	GASOLINA
MONOXIDO DE CARBONO	0.200 %	6.000 %
BIOXIDO DE CARBONO	12.000 %	10.000 %
HIDROCARBUROS	0.010 %	0.050 %
ALDEHIDOS	0.002 %	0.300 %
OXIDOS DE NITROGENO	0.500 %	0.250 %
BIOXIDO DE AZUFRE	0.030 %	0.008 %
CARBON (HOLLIN)	0.250g/m ³	0.050g/m ³

El motor diesel es menos perjudicial que el de gasolina, excepto en la producción de óxidos de nitrógeno, humo y dióxido de azufre, este último debido a la composición del combustible, ya que el diesel contiene un promedio de 0.4% de azufre mientras que la gasolina presenta sólo un 0.2%.

3.2.2. Emisiones en la ventilación de la caja del cigueñal.

La contaminación emitida por este conducto depende - del tipo de máquina diesel. En el motor de dos ciclos no existen emisiones, ya que el aire de combustión entra cerca de la base del cilindro, no permitiendo la mezcla de productos secundarios de combustión con el aire de entrada en la carrera siguiente del pistón. En los motores de cuatro ciclos, las emisiones no llegan a ser más del 2.5% de las emisiones totales.

3.2.3. Emisiones por evaporación.

Las pérdidas por evaporación son bastante pequeñas - en comparación con vehículos impulsados mediante motor de gasolina. Los motores diesel poseen un sistema cerrado de inyección de combustible y la volatilidad de éste es menor que la - de la gasolina.

Datos de emisión (hidrocarburos, CO y NOx) en motores diesel de dos y cuatro ciclos se muestran en la tabla 3.7

para diferentes condiciones de carga.

T A B L A 3.7

EFECTO DE LAS CONDICIONES DE OPERACION EN LAS EMISIONES							
CONDICION DE OPERACION	TIPO DE MOTOR	C O		H C		N O x	
		%	kg/min 10 ⁻⁴	PPMC	kg/min 10 ⁻⁴	PPM	kg/min 10 ⁻⁴
PLENA CARGA*	2 - ciclos	0.10	90.7	467	22.0	622	91.6
	4 - ciclos	0.20	124.7	29	0.9	921	95.2
MEDIA CARGA	2 - ciclos	0.03	28.6	605	28.4	392	61.2
	4 - ciclos	0.03	20.4	68	2.4	493	55.3
SIN CARGA	2 - ciclos	0.03	28.1	530	24.9	147	22.7
	4 - ciclos	0.03	19.9	73	2.4	109	11.8
PUNTO MUERTO	2 - ciclos	0.03	7.7	401	5.1	210	8.6
	4 - ciclos	0.03	9.1	104	1.6	119	5.9

* Cada prueba fué realizada a una velocidad promedio de 80 km/h.

Como se observa en la tabla 3.7 los motores de dos - ciclos son los que emiten más hidrocarburos bajo cualquier condición y más CO y NOx excepto en las condiciones de carga plena.

Una comparación gráfica de contaminantes producidos por vehículos impulsados por motores diesel y de gasolina se -

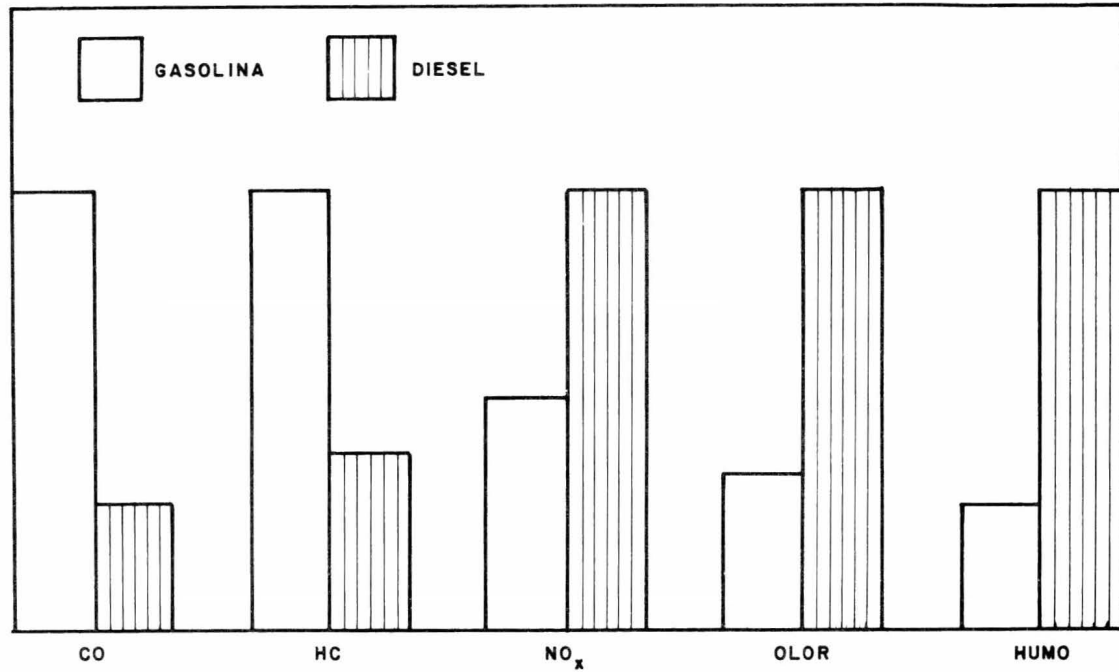


FIGURA 3.4. NIVELES RELATIVOS DE CONTAMINANTES EMITIDOS POR VEHICULOS CON MOTOR DE GASOLINA Y DIESEL.

presenta en la figura 3.4.

3.2.4. Emisiones de humo.

La emisión de partículas sólidas y líquidas por el escape se presenta como resultado de una combustión incompleta, tanto en vehículos con motor de gasolina como con diesel.

Se presentan tres tipos de humo, principalmente:

1. Humo negro.- Consiste de partículas de carbón no quemadas, generalmente debidas a altas velocidades de operación, carga y temperatura.
2. Humo azul.- Debido al aceite no quemado que se llega a filtrar a la cámara de combustión como consecuencia del desgaste de los anillos del pistón y/o camisa del cilindro. Algo de combustible no quemado se presenta también en este tipo de humo.
3. Humo blanco.- Consiste de pequeñas partículas de combustible líquido no quemado, se presenta por lo general al principio de operación de la máquina y durante el funcionamiento en punto muerto.

4

**aspectos generales del
monóxido de carbono**

- 4.1. ANTECEDENTES.
- 4.2. PRINCIPALES FUENTES DE EMISION.
 - 4.2.1. Fuentes Naturales.
 - 4.2.2. Fuentes Tecnológicas.
- 4.3. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL MONOXIDO DE CARBONO.
 - 4.3.1. Propiedades Físicas.
 - 4.3.2. Propiedades Químicas.
- 4.4. NIVELES BASICOS Y TENDENCIA DEL MONOXIDO DE CARBONO EN LA ATMOSFERA.
- 4.5. PROCESOS DE TRANSFORMACION MAS PROBABLES DEL MONOXIDO DE CARBONO.
 - 4.5.1. Oxidación en la Estratósfera.
 - 4.5.2. Procesos de Transformación Biológica.
 - 4.5.3. Absorción en los Océanos.
 - 4.5.4. Adsorción en Superficies.
- 4.6. ESTIMACION DE LAS EMISIONES MUNDIALES DE MONOXIDO DE CARBONO.

El monóxido de carbono ha sido considerado por muchos años el mayor contaminante atmosférico debido a la gran cantidad de procesos naturales y tecnológicos que lo producen.

Se produce por la combustión incompleta de compuestos orgánicos. Las fuentes naturales pueden producir monóxido de carbono en igual cantidad que la que se produce tecnológicamente (actividad que involucra cambios químicos ocasionados por el hombre), pero su influencia sobre la concentración existente sobre áreas urbanas puede considerarse despreciable.

4.1. ANTECEDENTES.

Los primeros efectos del monóxido de carbono sobre la humanidad empezaron durante la prehistoria, cuando el hombre descubrió el fuego, utilizando probablemente para producirlo materiales que consistían de madera, pastos y otras materias orgánicas.

De la intoxicación debida al monóxido de carbono se tiene conocimiento a través de la literatura romana y griega de los siglos III y IV. En el siglo XV, al incrementarse el uso doméstico del carbón en los sistemas de calefacción, las intoxicaciones debidas al monóxido de carbono aumentaron.

Con la introducción de los sistemas de alumbrado a

base de gas (mezcla de hidrógeno, metano, monóxido de carbono y otros hidrocarburos) en los hogares éste riesgo se incrementa.

Aunado a esto, la introducción de máquinas de combustión interna como medio de transporte y el incremento de procesos donde se produce monóxido de carbono, han producido un aumento en la contaminación atmosférica debida a este gas.

En pocos siglos las emisiones de monóxido de carbono se han extendido en los ambientes de vivienda y trabajo introduciéndose así, en el medio ambiente de las ciudades, haciendo mas crítica y letal la alta concentración de este gas en la atmósfera.

4.2. PRINCIPALES FUENTES DE EMISION.

4.2.1. Fuentes Naturales.

a) No Biológicas.

El CO se produce en volcanes, en depósitos de gas natural, durante tormentas eléctricas, incendios forestales, por degradación fotoquímica de compuestos orgánicos reactivos y se forma en la atmósfera superior a 30 km. de altura por fotodisociación del CO₂.

b) Biológicas.

En los vegetales se forman cantidades pequeñas de CO durante la germinación de la semilla y en el crecimiento de -- las plantas. También se encuentra entre los gases que eliminan cierto tipo de algas en los pantanos. Se han detectado concentraciones de monóxido de carbono arriba de 900 mg/m^3 debido a las emisiones del alga *Nereocystis*. Las hojas maduras de las - plantas verdes también eliminan CO. La gran saturación de las capas superficiales de los océanos se explica, dada la existencia de microorganismos que producen CO, especialmente bacte--- rias y algas, otro ejemplo de CO biológico es la producción de este durante el hemocatabolismo de hombres y animales.

4.2.2. Fuentes Tecnológicas.

El monóxido de carbono se encuentra entre los productos de la combustión de hidrocarburos usados como combusti---- bles. Las actividades de transporte representan la mayor fuente de producción de CO, otras fuentes de emisión de CO son: -- los generadores estacionarios de energía utilizados en proce-- sos industriales que utilizan energéticos derivados del carbón como fuente calorífica, la incineración de basuras, así como - la gran cantidad de fumadores de cigarrillos.

4.3. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL MONOXIDO DE CARBONO.

4.3.1. Propiedades Físicas.

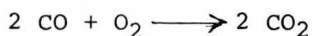
El CO es un gas incoloro, inodoro e insípido, más ligero que el aire, inflamable completamente, se quema produciendo una flama azul brillante. Sus principales propiedades se -- muestran en la tabla 4.1.

T A B L A 4.1

PESO MOLECULAR	28.01
PUNTO DE FUSION	-207°C
PUNTO DE EBULLICION	-192°C
DENSIDAD RELATIVA AL AIRE	0.968
DENSIDAD A 0°C 760 mm Hg.	1.25 g/litro
A 25°C 760 mm Hg.	1.15 g/litro
LIMITES EXPLOSIVOS EN EL AIRE	12.5 A 74.2% (VOLUMEN)
SOLUBILIDAD: A 20°C 760 mm Hg.	3.54 ml/100 ml de H ₂ O
A 25°C 760 mm Hg.	2.14 ml/100 ml H ₂ O
FACTORES DE CONVERSION A 0°C 760 mm Hg.	1 mg/m ³ = 0.800 P.P.M. 1 p.p.m. = 1.250 mg/m ³
A 25°C 760 mm Hg.	1 mg/m ³ = 0.874 p.p.m. 1 p.p.m. = 1.145 mg/m ³

4.3.2. Propiedades Químicas.

El CO puede reaccionar con el O₂ para producir CO₂ - bajo condiciones atmosféricas



Las mezclas húmedas y secas de CO y O₂ han permanecido sin cambio alguno después de 7 años de exposición a la luz.

La velocidad de oxidación del CO a CO₂ puede aumentarse utilizando catalizadores, por ejemplo: a condiciones standard el CO puede oxidarse mediante hopcalite que es una mezcla de manganeso, óxido de cobre y paladio.

a) Reacciones del CO en la atmósfera inferior.



Debido a que todas estas reacciones son exotérmicas, sólo son de importancia a altas temperaturas, las velocidades de reacción a temperaturas atmosféricas son tan bajas que estas reacciones no son importantes para la conversión de CO a CO₂.

Otra forma posible de oxidación de CO es haciendolo reaccionar con oxígeno atómico, no es una reacción común debido a que el oxígeno atómico pasa rápidamente a O₂.

b) Reacciones del CO en la atmósfera superior.

En la atmósfera superior las radiaciones ultravioleta ($\lambda=2000 \text{ \AA}$), disocian al CO₂ para dar CO y oxígeno atómico, la disociación ocurre en alturas superiores a los 30 Km., éste fenómeno se puede comparar con la disociación del vapor de agua. El monóxido de carbono se produce también por la oxidación fotoquímica del CH₄ (metano).

4.4. NIVELES BASICOS Y TENDENCIA DEL MONOXIDO DE CARBONO EN LA ATMOSFERA.

En aire poco contaminado la concentración de CO es pequeña. Junge estimó que los niveles básicos de concentración del CO en la atmósfera inferior estaban dentro de un rango de 0.01 a 0.2 mg/m³ (0.01 a 0.2 ppm). Se confirmó este rango al obtenerse concentraciones cercanas a 0.1 mg/m³ (0.1 ppm), utilizando técnicas espectrales en mediciones realizadas, en Monte Wilson, California; Ottawa, Canadá; Jungfraujoek, Suiza; y en Columbus, Ohio.

Robbins y colaboradores encontraron concentraciones

entre 0.06 y 1.2 mg/m³ (0.05 a 1.0 ppm) en masas de aire marítimo sobre California, también determinaron concentraciones de 0.029 mg/m³ (0.025 ppm) y 0.023 mg/m³ (0.020 ppm) en el Norte y Sur del Océano Pacífico respectivamente, en Groenlandia y -- Alaska los mismos investigadores encontraron concentraciones -- de 0.058 a 0.748 mg/m³ (0.050 a 0.65 ppm) y 0.063 a 0.299 ---- mg/m³ (0.055 a 0.260 ppm) respectivamente.

Todas las mediciones efectuadas mostraron fluctuaciones de la concentración de CO con el tiempo, tales fluctuaciones, sobre todo en Groenlandia y Alaska se atribuyen principalmente a la producción tecnológica del CO en los EE.UU., las -- fluctuaciones existentes en los datos obtenidos en el Sur del Océano Pacífico permanecen sin explicaciones.

Otros investigadores, Seiler y Junge, encontraron valores de concentración de CO de 0.21 mg/m³ (0.18 ppm) y 0.57 -- mg/m³ (0.05 ppm) sobre el Océano Atlántico Norte y Océano ---- Atlántico Sur respectivamente. Las concentraciones fluctúan entre 0.18 y 0.23 mg/m³ (0.16 y 0.20 ppm) sobre el Océano Atlántico Norte.

Seiler no encontró fluctuaciones en los niveles de -- CO sobre Océanos Pacífico Norte y Pacífico Sur.

El tiempo de residencia medio del CO en la atmósfera no está todavía bien definido. Mediante técnicas radioactivas, se ha determinado un tiempo de residencia promedio de 0.2 ---- años. La existencia de concentraciones constantes de CO en los océanos provocan un aumento en el valor del tiempo de residencia de aproximadamente 1 año.

4.5. PROCESOS DE TRANSFORMACION MAS PROBABLES DEL MONOXIDO DE CARBONO.

La concentración promedio del CO en la atmósfera está cercana a 0.15 mg/m^3 (0.13 ppm). Si no existieran procesos en los cuales el CO se trasladará en la atmósfera, la concentración promedio de CO se incrementaría en 0.03 mg/m^3 (0.03 -- ppm) cada año, debido a las fuentes de emisión tecnológicas, - pero dado que la concentración de CO no ha aumentado en un período de varios años, se deduce por lo tanto que dicho proceso si existe.

4.5.1. Oxidación en la Estratósfera.

En vuelos realizados de Frankfurt a Tokio sobre el - polo a través de la tropósfera, Seiler y Junge encontraron disminuciones de la concentración de CO en la tropósfera en sentido ascendente hacia la estratósfera, por lo que supusieron que existía una reacción del CO con el OH^- de la estratósfera. Es-

ta suposición fue confirmada mediante cálculos teóricos que -- mostraron que 3×10^6 moléculas OH/cm³ son suficientes para -- oxidar un flujo de CO de la tropósfera a la estratósfera. En - invierno de 1970/71, se efectuaron pruebas similares y el gra- diente de concentraciones se midió en la tropofase determinán- dose que, este paso de CO a CO₂ no es suficiente como para com- pensar las fuentes de CO conocidas hasta ahora.

4.5.2. Procesos de Transformación Biológica.

Otros agentes reactivos del CO en la atmósfera son - los microorganismos y las plantas, que en gran número pueden - metabolizar el CO. La tierra también resulta ser un agente --- reactivo. Inman midió la reducción del CO sobre diferentes ti- pos de tierra, encontrando que 138 mg/m³ (120 ppm) de CO en -- contacto con tierra desaparece en un período de 3 horas, absor- biéndose la máxima cantidad a una temperatura de 30°C. Liebl - trabajó con concentraciones de 0.23 mg/m³ (0.2 ppm) y tempera- turas de la tierra entre 10 y 52°C encontrando un promedio de velocidad de remoción de CO de 10^{-11} g CO/cm²-seg sobre marga, - (roca de color gris compuesta de carbonato de cal y arcilla, - principalmente, y que sirve para abonar las tierras).

Estos estudios indican que la tierra también actúa - como agente de remoción del CO, la capacidad de transformación

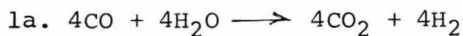
de la tierra no puede estimarse sobre los datos anteriores ya que existe una gran variedad y tipos de tierra con diferentes temperaturas en el mundo. Si suponemos que los datos anteriores se aplican al 20% del total de tierras, entonces la tierra tendría una capacidad para remover 100×10^6 toneladas de CO por año.

Los mecanismos del proceso de transformación no están todavía estudiadas, pero es de suponer que los microorganismos son los responsables. Se conocen algunos microorganismos anaerobios específicos que producen metano, tales como: el methano sarcina barkerii y methano bacterium formicum que pueden convertir el CO a CH₄ en presencia de humedad, esto lo demostró Schnellen con algunos cultivos de éstas bacterias.

Schnellen encontró que la Ms. barkerri es capaz de convertir CO a CH₄ de acuerdo a la siguiente ecuación:



Stephenson demostró que el CO en ausencia de H₂ reacciona con el H₂O en estas bacterias en 2 etapas como sigue:



En presencia de H₂, esas bacterias convierten el CO directamente a metano y H₂O.



una bacteria aeróbica de tierra, *Bacillus Oligocarbophilus* --- (carboxydomonas oligocarbofila), encontrada en apartadas tierras cultivables, también oxida el CO a CO₂. Cuando es cultivada sobre un medio orgánico simple, libre de otras fuentes de carbón, este organismo oxida el CO a CO₂, el cual utiliza como fuente de energía. Otra bacteria *Clostridium welchii*, cuando se reproduce en presencia de CO, produce ácido láctico como -- producto de fermentación.

Esas bacterias utilizan el CO en su proceso metabólico ó en su fermentación, siendo difícil estimar la velocidad total de destrucción del CO en base a estos datos experimentales.

Dentro de la biósfera, el proceso de respiración de las plantas puede servir como proceso de transformación potencial del CO. Este concepto no se ha establecido con firmeza, aunque se reconoce que las plantas se alimentan de una gran variedad de materiales atmosféricos.

4.5.3. Absorción en los Océanos.

Los océanos pueden considerarse como una fuente de CO más que un agente de transformación debido a que existe una supersaturación de CO en las capas superficiales debida a las algas. Queda por investigar si los grandes lagos en el interior de los países actúan como fuentes de CO ó como agentes de transformación de éste.

4.5.4. Adsorción en superficies.

Kummler demostró que la reacción de oxidación del CO por medio del óxido nitroso (N_2O), (se considera de poca importancia en la atmósfera), se cataliza en presencia de superficies como carbón y vidrio a temperaturas mayores de $300^{\circ}C$, los investigadores extrapolaron los resultados de velocidad de reacción de altas temperaturas a $27^{\circ}C$ considerando que la reacción catalítica también es factible a temperatura ambiente.

Esta conclusión se basó en las experimentaciones hechas por Gardner y Petrucci, donde a temperaturas del sitio de investigación se midió la quimisorción del CO en superficies metálicas, tales como: cobre, cobalto y óxido de níquel, mediante espectroscopia de infrarrojos.

Los datos necesarios para evaluar una eficiencia ca-

talítica de las superficies comunes, tales como: metal, tierra y partículas atmosféricas presentes son de poca utilidad.

Liberti reportó resultados de los análisis de partículas recolectadas en zonas urbanas, donde encontró concentraciones de CO en un rango de 10 a 30 mg/g, indicando que la adsorción del CO debida al polvo es de poca importancia en los mecanismos de traslado del CO, pero que si puede actuar como un medio de transporte del CO para llevarlo a los microorganismos de la tierra para su inmediata oxidación.

4.6. ESTIMACION DE LAS EMISIONES MUNDIALES DE MONOXIDO DE CARBONO.

Una estimación aproximada de los porcentajes de contribución de emisión de monóxido de carbono a la atmósfera por las principales fuentes tecnológicas se presenta en la tabla 4.2.

Los datos de esta tabla, confirman el hecho de que los automóviles son la mayor fuente de emisión, ya que la combustión de gasolina representa aproximadamente el 64% de la emisión total en el mundo.

Las mayores emisiones de CO debidas al uso del carbón como combustible son: la producción de energía, procesos

industriales (incluyendo ferrocarriles y barcos de vapor), ---
 usos domésticos y plantas de gas.

T A B L A 4.2

PORCENTAJES DE CONTRIBUCION EN LA EMISION DE CO A LA ATMOSFERA EN EL MUNDO	
F U E N T E	% DE EMISION DE CO
Gasolina	63.50
Carbón	3.91
Energía	0.10
Industria	0.40
Residencial	3.40
Coque y plantas de gas	.01
Madera y combustibles no comerciales	14.49
Incineración	8.20
Otras industrias	9.90

La utilización de productos vegetales, principalmen-
 te madera y bagazo como combustibles representa la segunda ---
 fuente de emisión en importancia.

Otras industrias como son: refinerías de petróleo, -
 fundidoras de hierro y papeleras tienen una emisión aproximada

de 27×10^6 tons/año, que representa el 10% de la emisión mundial de CO, en lo que respecta a fuentes tecnológicas. Las emisiones provenientes de la combustión del gas natural y del diesel se consideran insignificantes.

Una estimación mundial de las emisiones, tanto de fuentes tecnológicas como naturales se presenta en la tabla 4.3.

T A B L A 4.3

EMISIONES TOTALES DE CO DE FUENTES TECNOLOGICAS Y NATURALES		
F U E N T E	EMISION DE CO (tons/año)	PORCENTAJE %
Gasolina	175.09×10^6	57.27
Carbón	10.89×10^6	3.56
Otras industrias	27.22×10^6	8.90
Combustibles vegetales	39.92×10^6	13.06
Incineración	22.68×10^6	7.42
Incendios forestales	9.98×10^6	3.26
Océanos	9.07×10^6	2.97
Reacciones en la atmósfera	10.89×10^6	3.56
TOTAL	305.74×10^6	100.00

Se observa de dicha tabla, que las emanaciones naturales de CO debidas fundamentalmente a los océanos, incendios forestales y reacciones de fotodisociación en la atmósfera representa sólo el 10% de la emisión total de CO, estimándose -- que dicho porcentaje tiende a decrecer con el paso de los años dado el incremento en el consumo de gasolina y carbón previsto para el futuro.

5

**técnicas
de medición del
monóxido de carbono**

- 5.1. PREPARACION DE MUESTRAS ESTANDAR.
 - 5.1.1. Técnica Volumétrica.
 - 5.1.2. Técnica Gravimétrica.
 - 5.1.3. Técnica Química.

- 5.2. METODOS ANALITICOS CONTINUOS.
 - 5.2.1. Análisis de Espectrometría con Rayos Infrarrojos (NDIR).
 - 5.2.2. Análisis Electroquímicos.
 - 5.2.3. Análisis con Vapores de Mercurio.
 - 5.2.4. Análisis Cromatográficos.
 - 5.2.5. Análisis Catalíticos.

- 5.3. METODOS ANALITICOS INTERMITENTES.
 - 5.3.1. Analizador de Rayos Infrarrojos (NDIR).
 - 5.3.2. Espectrofotometría en Infrarrojos.
 - 5.3.3. Cromatografía de Gases.
 - 5.3.4. Análisis Colorimétricos.

5.4. MONITOREO.

5.4.1. Objetivos.

5.4.2. Muestreo.

5.4.3. Métodos de Medición.

5.4.4. Números de Estaciones.

5.4.5. Localización de las Estaciones de Monitoreo.

La determinación de los niveles de concentración (en partes por millón o microgramos por metro cúbico) de los contaminantes del aire requiere de la aplicación de análisis cuantitativos y cualitativos que determinen en forma simultánea gran diversidad de gases, vapores, partículas, aerosoles y olores - contenidos en una mezcla gaseosa.

Debido a que no existe un procedimiento único que -- proporcione un análisis completo de un sistema tan complejo, - es necesaria la aplicación de varios métodos para obtener los resultados deseados.

Las técnicas utilizadas pueden resultar completamente distintas, dependiendo de la ubicación del aire por analizar y de su grado de contaminación, ya que no es lo mismo realizar mediciones del grado de contaminación en el aire de una comunidad que efectuarlo en la fuente de emisión de centros industriales donde las concentraciones pueden ser muy elevadas.

Es necesario especificar que cada clase general de - contaminantes precisa de un enfoque diferente en la prepara--- ción de muestras estandars, técnicas de medición y monitoreo.

En el caso de monóxido de carbono, todas las técni--- cas para determinar su concentración que no son instrumenta---

les, exigen el contacto de un volumen conocido de aire contami
nado con un reactivo específico que produzca una reacción cuantitativa que se pueda medir.

Debido a la necesidad de tener rangos amplios en las mediciones de concentración del monóxido de carbono (CO) en el medio ambiente, (de 1 mg/m^3 hasta 450 mg/m^3) se han desarrollado un gran número de técnicas de medición de este contaminante, las cuales podemos clasificar de la siguiente forma:

- Métodos Análíticos Continuos.

+ Análisis de espectrometría con rayos infrarrojos (NDIR).

+ Análisis electroquímicos.

+ Análisis con vapores de mercurio.

+ Análisis cromatográficos de gases.

+ Análisis catalíticos.

- Métodos Análíticos Intermitentes:

+ Análisis de espectrometría con rayos infrarrojos (NDIR).

+ Análisis de espectrofotometría con rayos infrarrojos.

+ Análisis cromatográficos de gases.

+ Análisis colorimétrico.

Es necesario antes de efectuar alguna medición calibrar estos instrumentos con muestras estandar de CO, las cuales se preparan mediante técnicas gravimétricas, volumétricas o químicas.

5.1. PREPARACION DE MUESTRAS ESTANDAR.

5.1.1. Técnica Volumétrica.

Muestras estandar de CO debidamente preparadas se usan para la calibración de los instrumentos de medición antes de cuantificar los niveles de concentración del CO en el medio ambiente.

La dilución de gas es una técnica volumétrica que se utiliza frecuentemente para la preparación de muestras estandar. Cuando se necesitan grandes cantidades de muestras de gas, se requiere de la construcción de grandes tanques a presión, cuidando que permanezca la concentración requerida de CO en el tanque, ya que este es inestable en concentraciones menores de 1 mg/m^3 (1 ppm).

Es de mucha importancia en estas operaciones verificar que el gas este libre de CO. Algunos investigadores sugieren utilizar Helio como diluyente, aunque es preferible usar Nitrógeno (N_2) por ser menos costoso. Lo que se usa en la práctica

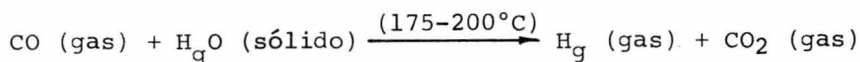
tica como método económico, es tomar el Helio como CERO de concentración de CO en el gas y luego estimar el contenido de CO en el N₂ utilizado como diluyente. Cuando se usa como muestra estandar CO contenido en N₂ se aplica un factor de corrección.

5.1.2. Técnica Gravimétrica.

Los métodos gravimétricos no se usan frecuentemente en la determinación de concentraciones de CO en el medio am---biente, debido a que se necesitan muestras grandes para cuantificar esas concentraciones. Estos métodos sólo se aplican para verificar las muestras estandar de CO.

a) Método McCullough.

La muestra de gas se pasa sobre óxido de Mercurio --(H_gO), éste se reduce y disminuye su peso, ésta disminución de peso se utiliza para evaluar estequiométricamente la concentración del CO en la muestra estandar.



b) Método Salsburg.

El gas que contiene CO es pasado sobre hopcalite --- (mezcla de manganeso, óxido de cobre y paladio), el cual es absorbido en tubos que contienen ascarite (mezcla de hidróxido - de sodio y asbestos). Los volúmenes de gas son determinados me

diante un medidor de flujo y un contador de tiempo, el peso -- del CO₂ absorbido se utiliza para calcular la concentración de CO. Este método tiene una exactitud de 2% y mide concentraciones en un rango de 25 a 1000 mg/m³ (22 a 870 ppm).

c) Método Lysyj.

Mediante permanganato de plata (AgMnO₄) se oxida el CO, el CO₂ obtenido se absorbe en tubos que contienen ascarite para luego utilizar el peso del CO₂ absorbido en el cálculo de la cantidad de CO presente en el gas.

5.1.3. Técnica Química.

a) Método Adams-Simmons.

Esta técnica utiliza la reducción del pentóxido de - iodo (I₂O₅), para medir la cantidad de CO presente en la muestra que se analiza.

El análisis se basa en la siguiente reacción:



La mezcla del gas que contiene CO se pasa a través - de un tren de purificación, (carbón activado, ascarite u otro sólido capaz de fijar el CO₂) de una torre de lavado con ácido crómico, (preparado con ácido sulfúrico concentrado y dicromato de potasio), y de un tubo de secado que está conectado al -

tubo que contiene el I_2O_5 .

El tubo con I_2O_5 que está adaptado al tren de purificadores se mantiene a una temperatura constante de $150^\circ C$, durante varios días, posteriormente se pasa una corriente de N_2 o de aire libre que contenga CO a una velocidad de 50-100 ---- ml/min, el iodo liberado se analiza absorbiéndolo con una solución de tiosulfato de sodio 0.001 N. Este método es muy práctico para el análisis de rutina del CO en la atmósfera. En este método interfieren sustancias como: dióxido de azufre (SO_2), ácido sulfhídrico (H_2S), compuestos orgánicos derivados del -- azufre, olefinas, diolefinas y acetiluros, pero todos pueden ser eliminados mediante absorciones previas.

5.2. METODOS ANALITICOS CONTINUOS.

a) Análisis de Espectrometría con Rayos Infrarrojos (NDIR).

Son los más comúnmente utilizados para el análisis continuo de la concentración de CO en la atmósfera y se usan como referencia para la calibración de otros instrumentos.

El NDIR opera basado en las características específicas del espectro de absorción del CO que se origina por la absorción de la radiación infrarroja en las moléculas de CO. Ta-

les características se usan como una medida de la concentra---
ción de CO en presencia de otros gases. El tamaño, tipo, medi-
da, sensibilidad y rango de este instrumento varía con la cons
trucción y diseño, los componentes básicos y las configuracio-
nes en todos son muy similares.

Los instrumentos comerciales incluyen: una fuente de radiación infrarroja que es un filamento caliente, un interrup-
tor rotatorio, una celda para muestra, una celda de referencia y un detector. El detector registra los cambios de presión a -
uno y otro lado del diafragma separando las porciones de gases que son irradiados a través de la celda de la muestra ó de la
celda de referencia del instrumento. Esos cambios de presión -
son convertidos en señales eléctricas que corresponden a la di
ferencia de las radiaciones recibidas por la muestra y la cel-
da de referencia, la señal es ampliada y rectificada, luego se
lee sobre un registrador calibrado para dar lecturas de concen
tración de CO. Los instrumentos comerciales disponibles funcio
nan con el principio de doble haz y operan a presión atmosféri-
ca, la mínima concentración que detectan es del orden de 0.6 a
1.2 mg/m³ (0.5 a 1 ppm), tanto la sensibilidad como la mínima
concentración que puede detectar el NDIR es proporcional a: ta
maño de las celdas, amplificación electrónica y presión de ope

ración. Los rangos de medición que generalmente caen de 1 a 58 mg/m^3 (1 a 50 ppm) de CO son detectados por el NDIR pudiéndose medir hasta concentraciones de 1 a 29 mg/m^3 a presión atmosférica con una longitud de la celda menor de 0.5 m. El tiempo de respuesta de los analizadores NDIR (de 1 a 5 min), esta determinada por las dimensiones del sistema, la velocidad de flujo y el tiempo de respuesta del medidor.

En la técnica del analizador NDIR interfieren el CO_2 y el vapor de agua, para minimizarlas se utilizan celdas con filtros, las cuales se colocan enfrente de la celda de la muestra y de la celda de referencia. También, se utilizan filtros ópticos que limitan la longitud de onda de los infrarrojos y la amplitud de las bandas caen dentro de un rango en el cual el CO_2 y el vapor de agua son transparentes e invisibles para el aparato.

Otras técnicas que se utilizan para minimizar las interferencias que causa el CO_2 , es colocar tubos llenos con absorbentes de CO_2 a la entrada de la corriente del gas, o bien agregar cantidades determinadas de CO_2 (300 a 400 ppm) a los gases para calibrar el analizador NDIR.

Las celdas de filtros que reducen las interferencias causadas por el vapor de agua, muchas veces no protegen lo ne-

cesario debido a la existencia de grandes cantidades de humedad en la atmósfera. La humedad de las corrientes de aire se puede eliminar usando sílica gel, sulfato de calcio anhídrido, perclorato de magnesio o una combinación de estos.

Se han obtenido resultados satisfactorios al saturar el aire de entrada con agua manteniendo la temperatura constante. Algunos aparatos comerciales usan esta técnica para eliminar la interferencia causada por el vapor de agua. Otros reducen la interferencia provocada por el vapor de agua al pasar la muestra de aire a través de un sistema refrigerante, el cual condensa la humedad del aire, éste sistema no puede regular la humedad absoluta en la corriente de aire que se está analizando cuando la temperatura del punto de rocío de la mezcla de aire es más baja que la temperatura del sistema refrigerante (es el caso cuando la temperatura del ambiente es baja o se usa gas calibrado a altas presiones). Al usar este método de reducción de interferencias causadas por el CO₂ y el vapor de agua, el aparato sufre pérdidas de sensibilidad o aumenta el tiempo de respuesta.

Hay un nuevo tipo de analizador NDIR donde las celdas de muestra y de referencia están colocadas en serie recibiendo ambas la misma reducción, la radiación después de pasar



por las celdas se recibe en una celda detector. Usando esta -- técnica, las interferencias provocadas por el CO_2 y por el vapor de agua pueden despreciarse.

Ventajas del sistema NDIR:

- Son insensibles a la velocidad de flujo del gas.
- No requiere la intervención de reactivos químicos.
- Son independientes de los cambios de temperatura - en el aire ambiente.
- Son sensibles en un amplio rango de concentracio-- nes.
- Los tiempos de respuesta son pequeños.
- Son de fácil manejo.

Desventajas:

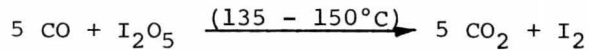
- No tiene punto de referencia.
- Costo elevado.

5.2.2. Análisis Electroquímicos.

a) Analizador Galvánico.

Celdas galvánicas son empleadas para medir continuamente concentraciones de monóxido de carbono en la atmósfera. Cuando una corriente de gas se pasa a través de un cilindro em pacado con I_2O_5 y calentado entre (135 - 150°C) la siguiente -

reacción ocurre:



El Iodo liberado es absorbido por un electrolito y transferido al cátodo de la celda galvánica. En el cátodo el Iodo se reduce y la corriente producida se mide con un galvanómetro. Hersch utilizó estos instrumentos para la detección de CO en vías rápidas de tránsito.

Existen interferencias provocadas por mercaptanos, sulfuro de hidrógeno, hidrógeno, olefinas, acetiluros y vapor de agua; el agua se puede eliminar en una columna de secado, las otras interferencias se minimizan pasando el gas a través de un tubo de absorción que contiene sulfato de mercurio sobre sílica-gel.

b) Analizadores Coulombimétricos.

Este es una modificación del método galvánico, ocurre la misma reacción del I_2O_5 con el CO, con la diferencia de que el Iodo liberado se hace pasar por una celda Ditte y la corriente generada se mide con un amperímetro, sin embargo, tiene las mismas interferencias que el analizador galvánico.

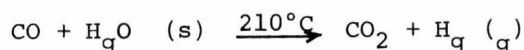
Con esta técnica se pueden detectar concentraciones

mínimas de 1 mg/m^3 (1 ppm), con una buena reproductibilidad y exactitud, cuidando que la velocidad de flujo del gas y la temperatura esten bien controlados. El método requiere de muchos cuidados en la preparación de las columnas de secado y de los filtros que se utilizan para eliminar interferencias. El tiempo de respuesta es relativamente grande, por lo que puede ser una desventaja el método.

5.2.3. Análisis con Vapores de Mercurio.

Este analizador continuo se basa en la oxidación del CO mediante H_2O caliente y en la determinación fotométrica del vapor de mercurio producido para obtener las concentraciones de CO.

Reacción:



Se presentan interferencias porque también reaccionan los hidrocarburos oxigenados y las olefinas presentes en la corriente del gas analizado, esto ocurre normalmente en muestras con baja concentración de CO. El hidrógeno libre y el ozono también interfieren, pero muy poco ya que existen pequeñas cantidades de estos en el aire.

El tiempo de respuesta del analizador de vapores de mercurio es similar al del analizador NDIR, debido a las interferencias e inestabilidad electrónica no es muy práctico para la rutina del monitoreo atmosférico urbano. Sin embargo, es -- útil para el análisis continuo del aire atmosférico, teniendo la capacidad de medición para concentraciones de 0.029 a 11.5 mg/m³ (0.025 a 10 ppm) de CO.

Seiler desarrollo un instrumento que opera con el -- principio anterior y que no sufre interferencias causadas por hidrocarburos, olefinas, hidrógeno y ozono, su límite para la detección de concentraciones es de 0.0001 mg/m³ (1 ppm). Este instrumento se ha operado continuamente durante un período de 3 meses con etapas de mantenimiento, la calibración es automá-- tica y la desviación estandar es ± 3% de una concentración de 0.1 ppm.

5.2.4. Análisis Cromatográfico.

Un sistema automático de cromatografía de gases se - utiliza para medir CO y metano (CH₄). Consta de una válvula de entrada y otra de salida para el gas, una precolumna, una co-- luma de criba molecular, un reactor catalítico y un detector de ionización de flama. La precolumna retiene el CO₂, el agua y algunos hidrocarburos excepto el CH₄, luego pasa el gas por

la criba molecular reteniendo algunos polvos, sigue el gas al reactor catalítico donde el CO se convierte a CH₄, el cual a su vez es medido en el detector de ionización de flama.

El sistema esta diseñado para operar semi-continuamente con la capacidad de realizar un análisis cada 5 minutos, cuenta con un amplio rango de operación aplicándose tanto en áreas muy contaminadas como poco contaminadas. Se miden simultáneamente concentraciones de CO y CH₄ de 0.1 a 1150 mg/m³ (0.1 a 1000 ppm).

Sus características semi-continuas lo hacen tender más a utilizarse como un verificador especial del área analizada que al uso en monitoreo continuo, su desventaja es que se requiere personal capacitado para el manejo del instrumento.

5.2.5. Análisis Catalíticos.

El CO se oxida mediante hopcalite, el aumento de temperatura que se produce en la reacción se utiliza para evaluar la concentración de CO. Este sistema se aplica en laboratorios ya que en rutinas de monitoreo del aire se ve limitado.

5.3. METODOS ANALITICOS INTERMITENTES.

El análisis intermitente se usa como una técnica práctica de monitoreo, ya que permite la recolección de muestras

tras en diferentes áreas en poco tiempo y su posterior traslado a los laboratorios para su análisis. Los recipientes para las muestras pueden ser rígidos (cilindros de vidrio, tanques de acero inoxidable), y no rígidos (bolsas de plástico).

5.3.1. Analizador de Rayos Infrarrojos (NDIR) de laboratorio.

Descrito anteriormente.

5.3.2. Espectrofotometría en Infrarrojos.

El CO puede medirse observando su absorción en el espectro infrarrojo, que ocurre en una longitud de onda de 4.6μ . Otros gases se pueden absorber en esa longitud de onda, pero se pueden diferenciar del CO mediante un examen completo y minucioso del espectro en el rango de 2 a 15μ .

El rango y sensibilidad de éste método depende de lo sofisticado que sea el instrumento utilizado.

La mínima concentración detectable de CO es de 2.9 mg/m^3 (2.5 ppm), el aparato usa un amplificador de escalas y una celda con una longitud de 1 m. los vapores de agua y el CO_2 se deben eliminar antes de entrar al analizador, para esto, se utiliza perclorato de magnesio y ascarite que minimizan las interferencias en el análisis del gas. La técnica de este

método es muy exacta pero bastante costosa y el equipo no es portátil.

5.3.3. Cromatografía de Gases.

El cromatógrafo de gases equipado con un detector de flama y una reducción previa del CO mediante un catalizador de níquel, es una herramienta muy útil para la determinación de niveles pequeños de concentración de CO. Una mol de CO produce una mol de CH₄, por lo que las concentraciones de metano cercanos a 0.01 ppm, producto de la reducción del CO, se pueden detectar y de esa forma evaluar las concentraciones.

La técnica no sufre de interferencias, ya que las mediciones se realizan sobre pequeñas porciones de metano que se derivan de las porciones de CO separadas. La temperatura de operación y otros parámetros (velocidad de flujo, etc.) deben controlarse para obtener resultados confiables.

5.3.4. Análisis Colorimétricos.

El método de la coloración de soluciones de plata, se basa en la reacción del CO con la sal de p-sulfamoil benzoato de plata en medio alcalino, permite medir concentraciones de 12 a 23,000 mg/m³ (10 a 20,000 ppm) de CO.

Las muestras son recolectadas en frascos que contie-

nen soluciones de plata y la absorbancia de la solución coloidal resultante se mide espectrofotométricamente. Interfieren el acetileno y el formaldehído, los que se eliminan pasando la muestra a través de sulfato de mercurio (H_gSO_4) impregnado con sílica-gel. Este tipo de análisis tiene una exactitud de 90 a 100%.

a) Método del indicador colorimétrico de gel de la U.S. NACIONAL BUREAU OF STANDARD.

Se aplica para medir concentraciones de CO en laboratorio y en el aire libre.

El método de laboratorio involucra comparaciones colorimétricas de las muestras analizadas con el indicador de gel previamente expuesto a concentraciones conocidas de CO. El método tiene una exactitud del 5 al 10% de la cantidad de CO contenida en la muestra analizada, la concentración mínima detectable es de 0.1 mg/m^3 (0.1 ppm), es una técnica muy sencilla, además el equipo no es costoso. Existen interferencias por la oxidación y la reducción de los gases, la preparación del tubo indicador es tediosa y muy tardada.

b) Tubo indicador de coloración.

En este método se usa peróxido de iodo y paladiosul-

fato de potasio contenidos en un tubo. El CO reacciona con el contenido del tubo produciendo una coloración verde. La longitud coloreada o descoloreada en el tubo es una función exponencial de la concentración de CO. En estos métodos donde se utilizan tubos indicadores, se tienen una exactitud $\pm 25\%$ de la cantidad real presente de CO, particularmente para concentraciones arriba de 25 mg/m^3 (20 ppm) se usan estos tubos indicadores.

Ranseg usa esta técnica para medir concentraciones de CO en los cruces de tráfico de vehículos.

Las técnicas colorimétricas y de tubos indicadores se recomiendan cuando no se dispone de otros sistemas fisicoquímicos de análisis, se pueden utilizar en caso de emergencia cuando no se requiera de un valor exacto de la concentración del contaminante en el aire.

5.4. MONITOREO.

5.4.1. Objetivos.

Los principales objetivos del monitoreo o medición continua de los niveles de concentración del monóxido de carbono en la atmósfera son:

- a) Obtener la información necesaria que nos permita

conocer el nivel de progreso alcanzado en la cali
dad de aire de acuerdo a la meta fijada.

- b) Observar las tendencias de contaminación debidas a este gas en la atmósfera para propósitos de pro
nóstico a corto y largo plazo.
- c) Obtener datos para la aplicación y evaluación de estrategias de control, como: cambios en la confi
guración urbana, uso de suelo, transporte, tránsi
to, etc.
- d) Proporcionar datos para la validación y calibra--
ción de modelos de difusión de monóxido de carbo-
no.

5.4.2. Muestreo.

El procedimiento de coleccionar muestras de una atmósfe
ra contaminada depende fundamentalmente de los siguientes fac-
tores:

- a) Tipo de la fuente que se está muestreando.
- b) Tipo de los contaminantes presentes en la atmósfe
ra.
- c) Sensibilidad de la técnica analítica utilizada.

La técnica más común de muestrear consiste en conectar el dispositivo empleado en el análisis a una bomba de vacío que succionará una cantidad conocida de aire directamente a la cámara de reacción.

Es necesario, sin embargo, en los sistemas en que se van a realizar varias pruebas en una misma corriente de aire, hacer pasar primero la muestra a la bomba y posteriormente introducirla al dispositivo de análisis.

Existen otros métodos, aparte de las bombas para lograr el vacío, éstas son: aspiradoras, bombas de mano y bulbos de compresión manual, utilizándose estas dos últimas en la colección de muestras al azar, destinadas para la realización de pruebas rápidas en sitios de interés mediante instrumentos portátiles, o bien, para su traslado y análisis posterior en laboratorios.

5.4.3. Métodos de Medición.

Después de haber evaluado las diferentes técnicas de medición del monóxido de carbono, se llegó a la conclusión de que el método más apropiado para su monitoreo es el análisis de espectrometría con rayos infrarrojos (NDIR).

Existen otros métodos equivalentes, como: separación

por cromatografía de gases, conversión catalítica y detección por ionización de flama, pero el NDIR es el aparato que cumple mejor con las especificaciones de medición requeridas.

- Rango de medición (mín)	0- 58 mg/m ³ 0- 50 ppm
- Concentración detectable (mín)	0.6 mg/m ³ 0.5 ppm
- Precisión (mín)	± 0.5 %
- Período de operación continua (mín)	3 días
- Rango de temperatura de operación (mín)	5- 40 °C
- Rango de humedad de medición (mín)	10-100 %

La figura 5.1 presenta el diagrama de flujo del sistema de monitoreo del CO, utilizando un analizador NDIR.

El sistema de introducción de la muestra está constituido por una bomba, una válvula de control y un medidor de -- flujo. Los filtros (en línea) tienen una porosidad de 2 a 10 - micrones, con objeto de impedir el paso de partículas grandes a la celda de referencia. El control de humedad esta constituido por elementos refrigerantes y absorbentes de humedad (sílica-gel), con el propósito de evitar interferencias debidas a - la humedad. El analizador NDIR se muestra más detallado en la figura 5.2.

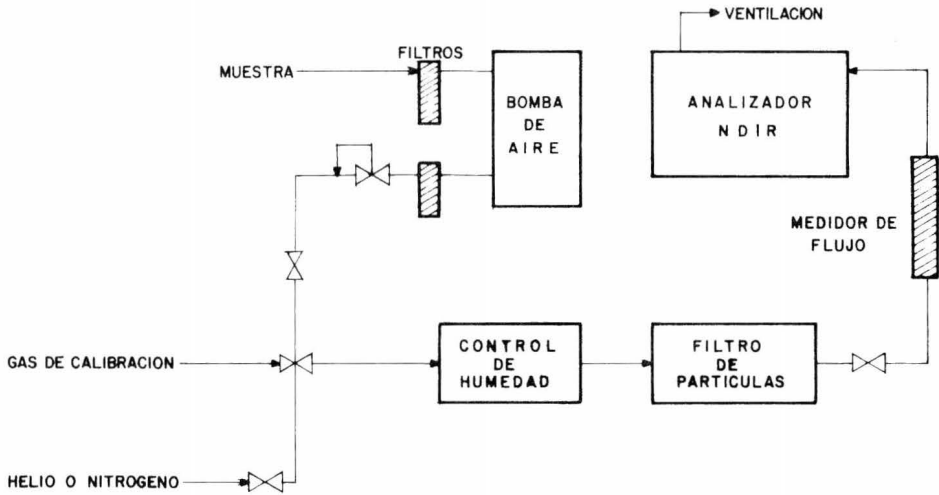


FIG. 51 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE MONOXIDO DE CARBONO.

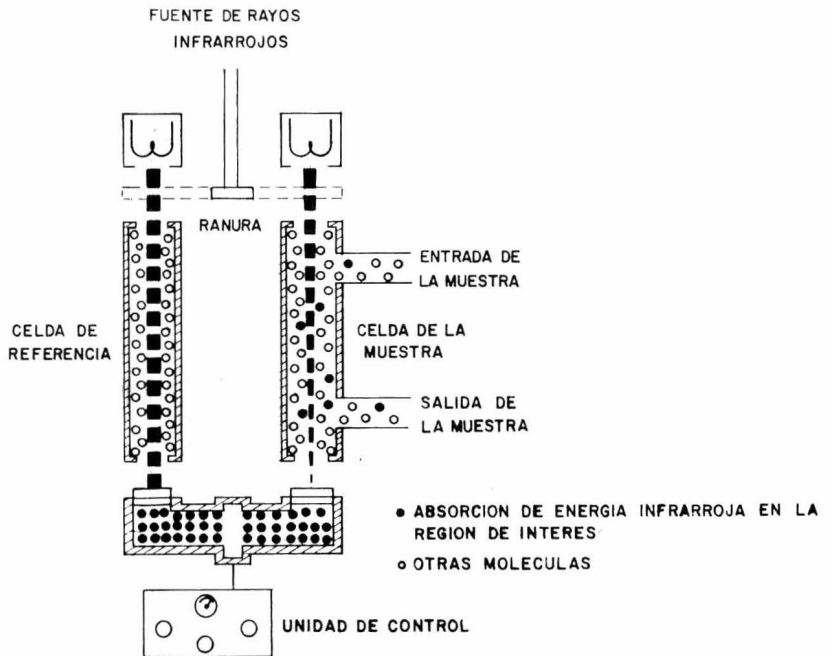


FIG. 52 ANALIZADOR DE RAYOS INFRARROJOS DE LONGITUD DE ONDA CONSTANTE NO DISPERSIVA (NDIR)

5.4.4. Número de Estaciones.

El criterio para la determinación del número mínimo de estaciones requeridas para una medición adecuada del monóxido de carbono de acuerdo a las especificaciones de la E.P.A. - (Environmental Protection Agency), es el siguiente:

Habitantes	Estaciones de Monitoreo
Menos de 100 000 Hab.	1
Entre 100 000 - 5000000 Hab.	1 + 0.15 por c/100 000 Hab.
Más de 5 000 000 Hab.	6 + 0.05 por c/100 000 Hab.

Para una población aproximada de diez millones de habitantes como la del Area Metropolitana del Valle de México, - el número mínimo de sitios de monitoreo sería:

$$\frac{10\ 000\ 000}{100\ 000} = 100 \quad ; \quad 100 \times 0.05 = 5$$

$$6 + 5 = 11 \text{ estaciones de monitoreo}$$

5.4.5. Localización de las Estaciones de Monitoreo.

La selección del sitio donde deben realizarse las mediciones es muy importante y el conocimiento de los factores - que afectan esa selección es indispensable para obtener buenos resultados. Dichos factores son:

- Distribución geográfica de la población.

- Localización de las fuentes de emisión.
- Meteorología.
- Topografía.

a) Densidad de Población.

La localización más obvia de una estación de monitoreo es la zona central de una ciudad. En muchos casos este sitio no refleja el porcentaje de contribución en emisión al total de fuentes, pero si proporciona una información adecuada - en lo relativo a límites de exposición del hombre a concentraciones de monóxido de carbono en el medio ambiente. Los mapas de densidad de población dan una buena base para la selección.

b) Localización de la fuente de emisión.

La selección del sitio debe estar influenciada por - las fuentes de emisión dominantes, en este caso, las emanaciones más importantes tendrán lugar en sitios donde los volúmenes de vehículos son grandes: zonas de congestionamiento y calles de bajo promedio de velocidad de recorrido.

c) Meteorología.

La capacidad que tiene la atmósfera para transportar y difundir los contaminantes del aire, depende de varios parámetros meteorológicos, tales como: velocidad y dirección del -

viento, estabilidad atmosférica, etc. Probablemente la dirección y velocidad del viento son los más importantes, ya que de ellos depende la tendencia de movimiento de las masas de aire.

d) Topografía.

Los factores meteorológicos de microescala son afectados por características topográficas, tales como: valles y colinas, en las áreas urbanas esta situación es más complicada debido al grupo de edificios y estructuras existentes dentro de ella.

6

universo de estudio

6.1. DEFINICION DEL AREA DE ESTUDIO.

6.1.1. Delimitación de la zona de estudio.

6.2. UNIVERSO DE VEHICULOS.

6.2.1. Inventario de vehículos.

6.2.2. Distribución de los vehículos.

6.3. RED VIAL BASICA.

6.3.1. Clasificación de la red vial.

6.3.2. Determinación de la red vial básica.

6.4. CONDICIONES DE TRANSITO.

6.4.1. Volúmenes de tránsito.

6.4.2. Velocidades promedio de recorrido.

6.5. RESUMEN DE CARACTERISTICAS FISICAS Y DE TRANSITO BASICAS
DE LA ZONA DE ESTUDIO.

6.1. DEFINICION DE LA ZONA DE ESTUDIO.

El problema de la contaminación ambiental debida al monóxido de carbono se incrementa en las grandes zonas Metropolitanas que tienen una alta densidad de población, debido al gran flujo de medios de transportes y a los trastornos de tránsito que originan.

La selección de áreas Metropolitanas como sistemas de referencia para el desarrollo de modelos de emisión o difusión de este contaminante se justifica debido a que es en estas zonas en donde se presentan los problemas más graves de volumen y circulación de vehículos.

La zona seleccionada para este estudio es el Area Metropolitana del Valle de México que comprende: el Distrito Federal a excepción de la delegación de Milpa Alta y del Estado de México: los Municipios de Atizapán, Coacalco, Cuautitlán, Chimalhuacán, Ecatepec, Huixquilucan, Naucalpan, Netzahualcoyotl, La Paz, Tlanepantla y Tultitlán.

Dicha zona se encuentra rodeada por los siguientes sistemas montañosos que le dan una configuración y características climáticas muy especiales: al Norte la Sierra de Guadalupe, al Este la Sierra Nevada, al Oeste las Sierras de las Cru-

ces y Monte Alto y al Sur las Sierras Chichinautzin y del Ajusto. Tiene en su interior algunas elevaciones que determinan su configuración accidentada como es el caso del Cerro de la Estrella.

6.1.1. Delimitación de la zona de estudio.

Con el propósito de que la información que se obtenga se reúna en forma eficiente y económica sin alterar el resultado técnico representativo del área, así como considerar dentro de ella sólo aquellos movimientos de transporte que sean importantes al centro urbano de la zona de estudio, es necesario establecer una delimitación dentro del Área Metropolitana del Valle de México que tenga un número mínimo de accesos y considere dentro de la zona aquellas áreas suburbanas y semi rurales que generen un flujo regular de viajes. Esta delimitación de la zona de estudio estará dada por la mancha urbana, es decir, que de las localidades antes mencionadas, solamente se considerarán aquellas que presenten un trazo urbano continuo.

La delimitación de la zona de estudio se presenta en el plano 6.1.

6.2. UNIVERSO DE VEHICULOS.

El A.M.V.M. cuenta en la actualidad con más de -----
1,200,000 vehículos registrados, este gran universo está cons-
tituido principalmente, por automóviles y en menor porcentaje
por camiones de carga y autobuses.

Debido a la importancia y a la centralización de ac-
tividades que ésta zona posee, el universo propio se incremen-
ta continuamente por un gran flujo vehicular externo.

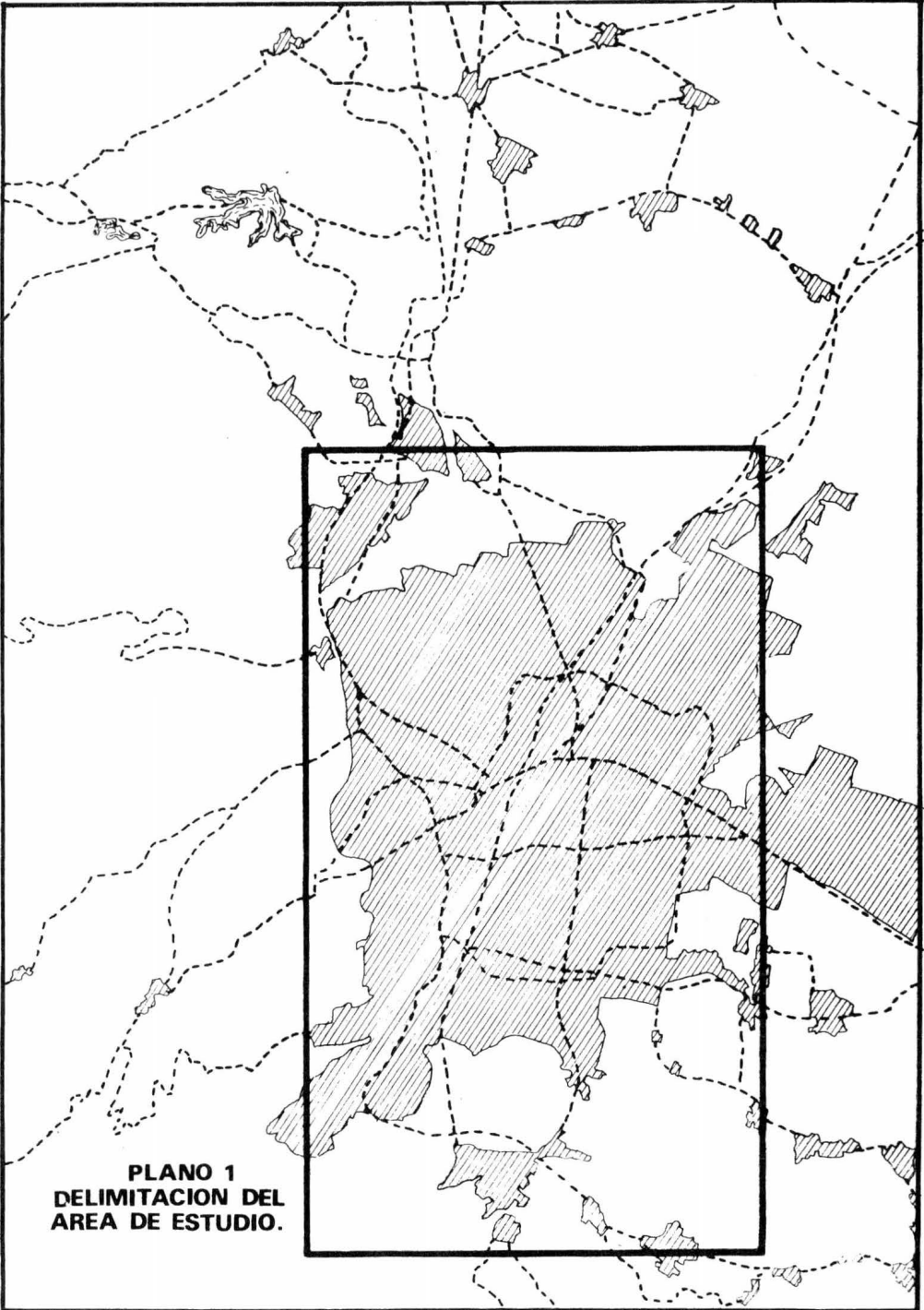
El aumento de los mencionados medios de transporte a
través de los años ha sido notable, estimándose que para 1980
el universo sea de 2,300,000 vehículos en circulación.

6.2.1. Inventario de vehículos.

Se presenta un inventario de vehículos basado en in-
formación de 1974, proporcionada por la Dirección General de -
Policia y Tránsito del D.D.F. y por la Dirección General de Es-
tadística de la S.I.C.

T A B L A 6.1

ENTIDADES VEHICULOS	DISTRITO FEDERAL	MPOS. DEL EDO. DE MEX.	A.M.V.M.
AUTOMOVILES	790 586	59 801	850 387
CAMIONES DE CARGA	93 961	19 385	113 346
AUTOBUSES DE PASAJEROS	10 332	1 373	11 705
TOTAL	894 879	80 559	975 438



**PLANO 1
DELIMITACION DEL
AREA DE ESTUDIO.**

De la tabla anterior se observa que la población vehicular está distribuida de la siguiente forma:

T A B L A 6.2

Automóviles	87.18 %
Camiones de carga	11.62 %
Autobuses de pasajeros	1.20 %

6.2.2. Distribución de los vehículos.

La población vehicular existente en el área de estudio presenta la siguiente distribución de acuerdo a su edad, - según la Dirección General de Información y Análisis Estadístico del D.D.F.

T A B L A 6.3

Modelo	Porcentaje
- 1960	19.83
1961 - 1965	19.74
1966 - 1970	36.63
1971 - 1975	23.79

6.3. RED VIAL BASICA.

La clasificación y determinación de la red vial básica tiene como propósito fundamental definir los sistemas y tipos de vías que integran el esquema general del área de estu--

dio.

6.3.1. Clasificación de la red vial.

La clasificación de la red vial se basa en las normas de proyecto geométrico para vialidad urbana y considera características físicas, de funcionamiento y operación de las diferentes vías.

- Sistema de vías de acceso controlado.
- Movimiento de grandes volúmenes de tránsito.
- Accesos controlados (total o parcialmente).
- Grandes longitudes entre entradas y salidas.
- Sin semáforos.
- Velocidades permisibles de 40 a 90 K.P.H.
- Volúmenes de 1500-1800 vehículos/hora-carril.
- Cuatro o más carriles.
- Con derecho de vía de 36 m.

- Sistema de ejes principales.
- Movimiento de tránsito entre zonas y a través de -
la ciudad.
- Circulación de transporte público.
- Acceso directo a los límites de propiedad.
- Distribución del tránsito de paso a sistemas arte-
riales y locales.

- Regulación de flujo en la mayoría de sus intersecciones.
- Volúmenes de 350 a 600 vehículos/hora-carril.
- De cuatro a seis carriles.
- Con 3.30 m. de ancho por carril.
- Con derecho de vía de 30-36 m.
- Sistema de vías arteriales.
- Movimiento de tránsito entre los ejes principales y calles locales.
- Acceso directo a los límites de propiedad.
- Distribución y recolección de tránsito.
- Movimientos de paso a áreas locales. (Colonias, de legaciones).
- Pocos semáforos.
- Con separaciones entre 500 y 700 m.
- Circulación de transporte público.
- Volúmenes de 150 vehículos/hora-carril o más.
- De dos a cuatro carriles en cada dirección.
- Con 3.00 m. de ancho por carril.
- Con derecho de vía de 18-24 m.
- Sistema de vías locales.
- De acceso directo a los límites de propiedades co-

lindantes.

- Movimiento de tránsito local.
- Distribución y recolección del tránsito de vías ar
teriales.
- Distancia entre intersecciones de 100-200 m.
- Bajos volúmenes de vehículos.
- De uno a dos carriles en cada dirección.
- Con 3.00 m. como mínimo de ancho/carril.
- Con derecho de vía de 15-18 m.

6.3.2. Determinación de la red vial básica.

La red vial básica definida para la realización de - este estudio queda determinada por las vías de acceso controlado, vías principales y algunas vías arteriales de gran impor-- tancia en cuanto volumen de tránsito. Figura 6.2.

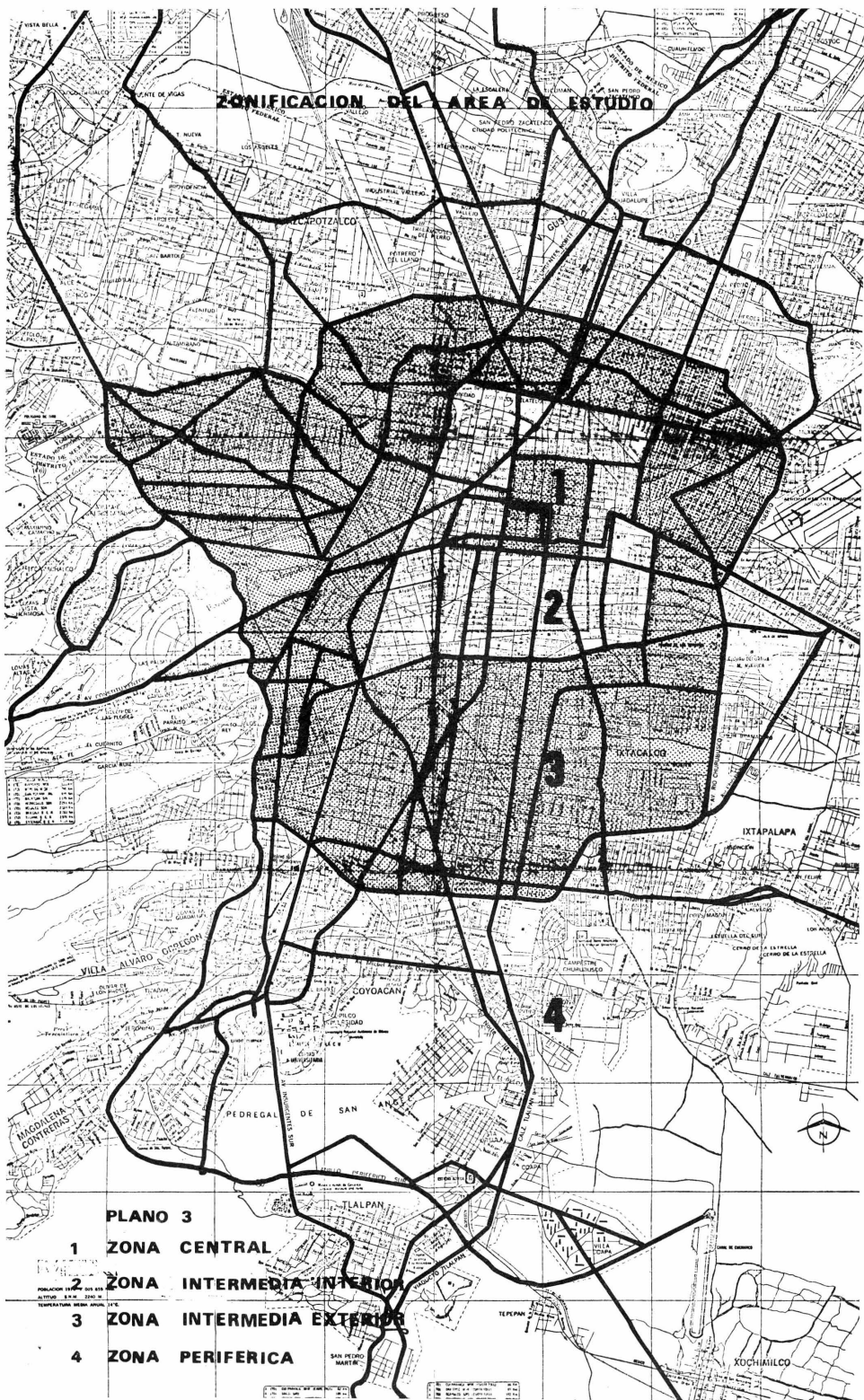
6.4. CONDICIONES DE TRANSITO.

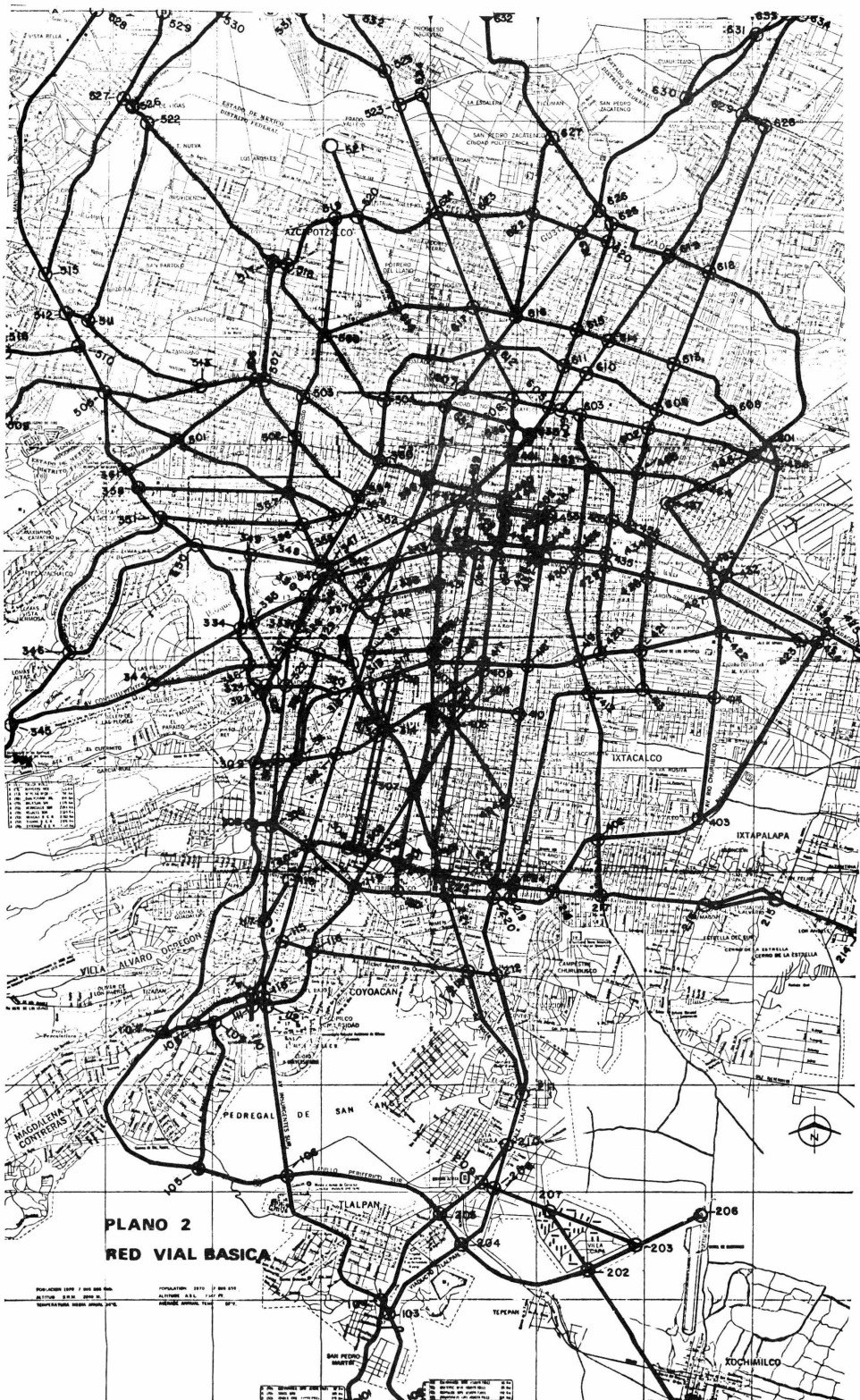
El universo de vehículos y la red vial propios de la zona de estudio originan situaciones específicas de tránsito - que se reflejan en los volúmenes y velocidades promedio de re-- corrido de los vehículos.

6.4.1. Volúmenes de tránsito.

Considerando que uno de los objetivos de este estu--

ZONIFICACION DEL AREA DE ESTUDIO





**PLANO 2
RED VIAL BÁSICA**

POBLACION 1970 7 000 000 HAB.
ALTITUD 2 500 M.
TEMPERATURA MEDIA 20°C

TIPO DE CARRETERA	ANCHO DE CARRETERA (M)	TIPO DE CARRETERA	ANCHO DE CARRETERA (M)
1	12	5	12
2	10	6	10
3	8	7	8
4	6	8	6
5	4	9	4
6	3	10	3
7	2	11	2
8	1	12	1

dio es determinar los niveles críticos de emisión de contaminantes vehiculares, el período seleccionado para la definición de volúmenes es el de 8.00-9.00 hrs., en el cual se presenta la máxima demanda y las emisiones se incrementan debido a un gran porcentaje de vehículos que operan sin alcanzar su temperatura estable de funcionamiento. Tabla 6.5.

6.4.2. Velocidades promedio de recorrido.

Considerando que las velocidades de recorrido dependen de la zona y tipo de vía en las que el vehículo circula, es necesario realizar una zonificación del A.M.V.M., de forma tal que las zonas determinadas presenten características de circulación específicas.

La zonificación propuesta se presenta en el plano 6.3., y sus combinaciones posibles con las diferentes vías, así como su valor de velocidad asignado se indican en la siguiente tabla.

T A B L A 6.4.

ZONIFICACION TIPOS DE VIAS	CENTRAL	INTERMEDIA		PERIFERICO
		INTERIOR	EXTERIOR	
ACCESO CONTROLADO	20 K.P.H.	30 K.P.H.	40 K.P.H.	50 K.P.H.
PRINCIPALES	15 K.P.H.	20 K.P.H.	30 K.P.H.	40 K.P.H.
ARTERIALES	10 K.P.H.	15 K.P.H.	20 K.P.H.	30 K.P.H.
LOCALES	5 K.P.H.	10 K.P.H.	15 K.P.H.	20 K.P.H.

6.5. CARACTERISTICAS FISICAS Y DE TRANSITO DE LA ZONA DE ESTUDIO

SEGMENTO (nodo-nodo)	TIPO DE VIA (1,2,3 ó 4)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (vehículos h ⁻¹)	ZONA (1,2,3 ó 4)	VELOCIDAD (km h ⁻¹)
102-103	2	2400	3000	4	40
103-104	2	350	3000	4	40
104-106	2	3725	3075	4	40
106-112	2	3700	3075	4	40
112-113	2	100	3300	4	40
113-115	2	1300	3300	4	40
101-104	2	2600	2100	4	40
105-106	1	2000	2380	4	50
105-107	1	4200	2380	4	50
107-108	3	600	1500	4	30
108-109	3	450	1500	4	30
109-111	3	800	1500	4	30
111-113	3	300	1500	4	30
108-114	3	1550	1500	4	30
112-116	2	2000	3200	4	40
116-119	2	1600	3200	4	40
110-111	2	400	2500	4	40
111-114	2	200	2500	4	40
114-117	2	1700	2500	4	40
117-118	3	1050	2500	4	30
119-120	2	950	3200	4	40
115-116	2	700	2000	4	40
105-109	3	3000	2000	4	30
103-204	1	2200	2100	4	50
104-205	1	2350	2800	4	50
106-205	1	3500	1100	4	50
116-213	2	3500	2120	4	40
120-221	2	1100	3200	4	40
204-208	1	1500	2800	4	50
208-210	1	1100	2800	4	50
210-211	1	1100	6835	4	50
211-212	1	2500	4000	4	50
212-220	1	1800	7600	4	50
220-223	1	350	7600	3	40
205-209	1	1100	2100	4	50
209-210	1	1100	2100	4	50
211-213	2	2800	2485	4	40
213-221	2	1800	2350	4	40
221-222	2	500	4000	3	30
205-204	1	800	1500	4	50
204-202	1	3000	1500	4	50
202-203	1	1200	1500	4	50
203-206	1	1400	1500	4	50
209-208	2	300	1000	4	40
208-207	2	1250	1000	4	40
207-203	2	2100	1000	4	40

SEGMENTO (nodo-nodo)	TIPO DE VIA (1,2,3 ó 4)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (vehículos h ⁻¹)	ZONA (1,2,3 ó 4)	VELOCIDAD (km h ⁻¹)
201-202	2	3600	1500	4	40
202-207	2	1600	1500	4	40
213-212	2	600	2645	4	40
221-220	2	1000	3200	4	40
220-219	2	350	3200	4	40
219-218	2	1000	3200	4	40
222-223	2	1200	3000	3	30
223-224	2	350	3000	3	30
224-218	2	900	3000	3	30
218-217	2	1000	3450	4	40
217-216	2	2200	3450	4	40
216-215	2	1500	2500	4	40
216-215 (')	2	1750	1000	4	40
215-214	2	2000	2500	4	40
219-224	2	300	2650	3	30
362-345	2	1100	2000	4	40
345-346	2	2100	1650	4	40
346-351	2	4500	2760	4	40
346-350	2	4000	3250	4	40
345-344	2	3200	1550	4	40
344-334	2	2200	2070	4	40
334-335	2	300	1260	3	30
335-336	2	1600	1260	3	30
344-326	2	2000	1760	4	40
326-327	2	550	1500	3	30
361-358	1	400	12900	3	40
358-351	1	1000	12900	3	40
351-350	1	900	12900	3	40
350-334	1	2300	13100	3	40
334-326	1	1000	13100	3	40
326-324	1	500	13100	3	40
324-323	1	100	9000	3	40
323-309	1	1900	8250	3	40
309-308	1	1400	8250	3	40
308-107	1	5800	10440	4	50
349-335	2	1600	3000	3	30
335-327	2	1050	3000	3	30
357-356	2	750	3500	3	30
356-348	2	950	3000	3	30
360-354	2	950	3800	3	30
354-353	2	350	3800	3	30
353-348	2	1300	3800	3	30
347-340	2	300	4000	3	30
340-341	2	500	4000	3	30
341-333	2	600	4000	3	30
333-328	2	350	4000	3	30

SEGMENTO (nodo-nodo)	TIPO DE VIA (1,2,3 ó 4)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (vehículos h ⁻¹)	ZONA (1,2,3, ó 4)	VELOCIDAD (Km h ⁻¹)
328-327	2	550	4000	3	30
327-325	2	500	2000	3	30
325-323	2	100	2000	3	30
340-336	3	500	1200	3	20
336-333	3	600	1200	3	20
328-322	2	900	2100	3	30
322-310	2	1600	2100	3	30
310-306	2	1400	2500	3	30
306-117	2	2150	2500	4	40
329-321	2	700	2000	3	30
321-311	2	1650	2500	3	30
311-306	2	1600	2500	3	30
343-339	2	1000	2000	3	30
339-337	2	100	2000	3	30
337-330	2	1500	3500	3	30
330-319	2	500	3500	3	30
319-315	2	900	3500	3	30
315-314	2	200	3500	3	30
314-307	2	1400	2500	3	30
307-401	2	1700	1800	3	30
359-352	2	1100	4500	2	20
352-343	2	850	5000	2	20
343-338	2	750	5000	2	20
338-332	2	600	5000	2	20
332-331	2	700	5000	2	20
331-319	2	700	5000	2	20
319-312	2	1550	5500	3	30
312-305	2	2150	4100	3	30
305-115	2	2200	3300	4	40
318-315	3	850	1600	3	20
317-315	3	1000	1000	3	20
315-313	3	400	1600	3	20
313-304	3	2800	1600	3	20
316-314	3	2400	1200	3	20
314-303	3	2650	1000	3	20
406-307	2	2000	1850	3	30
307-301	2	1700	1850	3	30
301-120	2	700	1850	3	30
405-307	2	1700	2800	3	30
307-302	2	1700	2400	3	30
302-119	2	900	3000	3	30
307-401	2	1400	2300	3	30
358-357	2	3200	2900	3	30
357-355	2	1200	3000	3	30
351-356	2	2950	2400	3	30
356-355	2	800	4000	3	30

SEGMENTO (nodo-nodo)	TIPO DE VIA (1,2,3 ó 4)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (vehículos h ⁻¹)	ZONA (1,2,3 ó 4)	VELOCIDAD (km h ⁻¹)
355-353	2	300	4000	3	30
350-349	2	1200	4300	3	30
349-348	2	1550	4300	3	30
348-347	2	250	4800	3	30
347-352	2	1900	5500	3	30
352-447	2	1200	5500	2	20
340-342	2	300	4000	3	30
342-343	2	1250	4000	3	30
343-442	2	1000	4500	2	20
339-338	2	500	1600	2	20
338-431	2	1150	1700	2	20
328-329	3	650	1500	3	20
329-330	3	750	1500	3	20
331-458	2	1250	1200	2	20
324-325	1	100	5800	3	40
325-322	1	400	6100	3	40
322-321	1	500	6100	3	40
321-320	1	550	6100	3	40
320-319	1	600	6500	3	40
319-318	1	300	7000	2	30
318-317	1	500	7000	2	30
317-316	1	200	7000	2	30
316-415	1	700	7000	2	30
320-311	1	2000	3500	3	40
309-310	3	500	2000	3	20
310-311	3	400	2000	3	20
311-312	3	850	1800	3	20
312-313	3	1000	1200	3	20
313-314	3	250	1200	3	20
314-406	3	1100	1200	3	20
308-306	2	400	2300	3	30
306-305	2	900	2000	3	30
305-119	2	1350	2200	3	30
305-304	2	1000	1250	3	30
304-303	2	150	1250	3	30
303-302	2	300	1250	3	30
302-301	2	600	1250	3	30
301-222	2	950	1250	3	30
347-342	3	250	1800	3	20
342-337	3	700	1800	3	20
337-332	3	600	1800	3	20
360-359	2	1000	3500	3	30
461-459	2	1100	4300	2	20
459-447	2	400	5480	2	20
447-442	2	1100	2000	2	20
442-431	2	750	4000	2	20

SEGMENTO (nodo-nodo)	TIPO DE VIA (1,2,3 ó 4)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (vehículos h ⁻¹)	ZONA (1,2,3 ó 4)	VELOCIDAD km h ⁻¹)
431-458	2	1500	2500	2	20
458-415	2	200	2500	2	20
415-406	2	850	2000	3	30
449-443	3	850	1500	2	15
443-441	3	200	1500	2	15
440-416	2	2400	2000	2	20
416-407	3	650	1420	3	20
407-411	3	350	1420	3	20
411-405	3	350	1420	3	20
405-401	3	2800	2000	3	20
461-460	2	900	2900	1	15
460-448	2	150	2900	1	15
448-450	2	100	2900	1	15
450-444	2	850	2900	1	15
444-439	2	200	2900	1	15
439-417	2	2500	3000	2	20
417-409	2	100	2500	3	30
409-408	2	1000	2500	3	30
408-405	2	550	2000	3	30
405-307	2	1700	2800	3	30
452-451	2	250	4000	1	15
451-445	2	650	4000	1	15
445-438	2	250	4000	1	15
454-453	2	150	5000	1	15
453-446	2	650	5000	1	15
446-437	2	250	5900	1	15
437-418	1	2300	9370	2	30
418-410	1	1100	10000	3	40
410-404	1	1900	10000	3	40
404-223	1	1650	8420	3	40
462-436	3	3000	1100	1	10
436-430	3	200	2000	1	10
430-419	2	2300	4200	2	20
419-412	2	700	3590	3	30
412-402	2	3300	3590	3	30
402-217	2	1250	3590	4	40
462-455	3	1400	1500	2	15
455-435	2	850	3000	2	20
435-429	2	200	4000	2	20
429-420	2	2000	3000	2	20
463-456	2	1200	2300	2	20
434-428	2	850	2500	2	20
428-421	2	1600	2500	2	20
421-413	2	850	3500	3	30
465-464	2	1400	3680	3	30
464-457	2	950	3680	3	30
457-433	2	1650	2000	3	30

SEGMENTO (nodo-nodo)	TIPO DE VIA (1,2,3 ó 4)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (vehículos h ⁻¹)	ZONA (1,2,3 ó 4)	VELOCIDAD (km h ⁻¹)
433-427	3	600	1000	3	20
466-432	1	2500	6200	3	40
432-427	1	450	6200	3	40
427-422	1	900	3500	3	40
422-414	2	1500	3500	3	30
414-403	2	2600	3500	3	30
403-402	2	2400	3500	3	30
402-218	2	1500	2500	3	30
424-403	2	4500	2500	4	40
465-466	2	550	3000	3	30
461-462	3	1700	1000	1	10
462-463	3	1000	1000	2	15
463-464	3	1400	1000	3	20
359-459	2	1000	3500	2	20
459-460	2	650	2000	2	20
447-449	2	700	2000	2	20
449-448	2	200	2000	2	20
448-452	2	1900	2000	1	15
452-454	2	200	2000	1	15
450-451	2	900	1500	1	15
451-453	2	200	4000	1	15
443-444	2	750	2000	1	15
444-445	2	800	2000	1	15
445-446	2	1500	1900	1	15
446-435	3	700	1000	1	10
435-455	3	600	1000	2	15
455-456	2	400	3000	2	20
456-434	2	550	3370	2	20
434-433	2	1350	3370	2	20
433-432	2	450	3370	3	30
432-426	1	2500	6840	4	50
426-425	1	1000	7360	4	50
442-441	2	450	4000	2	20
441-440	2	350	4000	2	20
440-439	2	400	4000	2	20
439-438	2	850	4000	1	15
438-437	2	150	4000	1	15
437-430	2	450	6200	1	15
430-429	2	600	4200	2	20
429-428	2	900	4200	2	20
428-427	2	1500	3000	3	30
427-423	3	2100	1900	4	30
415-416	1	550	7000	2	30
416-417	1	550	7000	2	30
417-418	1	950	7000	2	30
418-419	1	1200	7000	2	30
419-420	1	500	5000	2	30

SEGMENTO (nodo-nodo)	TIPO DE VIA (1,2,3 ó 4)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (vehículos h ⁻¹)	ZONA (1,2,3 ó 4)	VELOCIDAD (km h ⁻¹)
420-421	1	450	3370	2	30
421-422	1	1800	3300	3	40
422-423	1	1350	3300	4	50
423-424	1	350	3300	4	50
424-426	1	300	3300	4	50
406-407	3	600	1400	3	20
407-409	3	650	1400	3	20
406-411	3	500	1200	3	20
411-408	3	250	1200	3	20
408-410	3	1100	1500	3	20
406-405	3	650	1500	3	20
405-404	3	2000	2000	3	20
414-413	2	1500	2550	3	30
413-412	2	1200	2550	3	30
412-224	2	4400	2650	3	30
401-222	2	650	3000	3	30
509-505	3	3000	2000	4	30
505-513	3	2100	1000	3	20
513-506	2	1400	1000	3	30
506-507	2	100	3800	3	30
507-503	2	1100	3800	3	30
503-360	2	2250	2200	3	30
505-501	2	1750	3400	3	30
501-357	2	2650	3400	3	30
506-501	2	2150	2100	3	30
501-361	2	1300	2100	3	30
506-502	2	1550	2000	3	30
502-354	2	1950	2000	3	30
519-508	2	2500	2100	4	40
508-503	2	1400	2400	3	30
503-502	2	850	4200	3	30
502-357	2	1200	4200	3	30
360-504	2	900	4000	3	30
504-612	2	3000	3500	3	30
516-510	2	1750	2500	4	40
528-515	1	6750	6500	4	50
515-512	1	900	8900	4	50
512-510	1	850	10100	4	50
510-505	1	1000	10100	4	50
505-361	1	1700	12900	3	40
512-511	3	500	2500	4	30
511-513	3	3600	2500	4	30
529-527	2	2300	2500	4	40
527-515	2	4000	2500	4	40
530-526	3	3100	1000	4	30
522-511	3	4300	1000	4	30
517-507	3	2600	1300	4	30

SEGMENTO (nodo-nodo)	TIPO DE VIA (1,2,3 ó 4)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (vehículos h ⁻¹)	ZONA (1,2,3 ó 4)	VELOCIDAD (km h ⁻¹)
518-508	2	1750	2000	4	40
508-504	2	2000	2000	3	30
504-637	3	1250	2000	3	20
521-520	3	1500	1000	4	30
520-514	3	1800	1000	4	30
531-525	2	2400	3260	4	40
532-525	3	1800	1550	4	30
525-523	2	700	3260	4	40
523-624	2	4650	4640	4	40
524-623	2	5200	2400	4	40
527-526	3	250	2500	4	30
526-522	3	500	2500	4	30
522-517	3	4000	2500	4	30
517-518	3	300	1500	4	30
518-519	3	1500	1750	4	30
519-520	3	450	1750	4	30
520-624	3	1900	1750	4	30
523-524	3	550	2400	4	30
508-514	2	1650	2930	3	30
514-617	2	1650	2930	3	30
632-627	3	3250	1900	4	30
627-626	3	1900	2500	4	30
626-625	2	450	2500	4	40
625-620	2	450	2500	4	40
620-615	2	2000	2500	4	40
615-611	2	850	2500	3	30
611-605	2	1000	2700	3	30
605-635	2	700	4300	2	20
635-461	2	700	4300	2	20
627-622	2	1900	2200	4	40
622-616	2	2200	1810	4	40
623-616	2	2400	3600	4	40
624-617	2	2200	4650	4	40
617-612	2	950	4650	3	30
612-606	2	1250	3700	3	30
606-636	2	550	2600	2	20
636-461	2	700	2600	2	20
633-631	1	1000	2000	4	50
631-630 (')	3	2500	1000	4	30
631-630	1	2500	1700	4	50
630-626	1	3000	2720	4	50
626-621	2	650	4500	4	40
621-616	2	2300	6060	4	40
616-612	2	800	6060	3	30
612-607	2	1250	6060	3	30
607-637	2	500	4000	2	20
637-359	2	1700	3500	2	20

SEGMENTO (nodo-nodo)	TIPO DE VIA (1,2,3 ó 4)	LONGITUD (m)	VOLUMEN (vehículos h ⁻¹)	ZONA (1,2,3 ó 4)	VELOCIDAD (km h ⁻¹)
634-629	2	2300	1500	4	40
629-619	2	3500	2180	4	40
619-614	2	2250	2900	4	40
614-610	2	850	2900	3	30
610-604	2	1000	2920	3	30
628-618	2	3400	1650	4	40
618-613	2	2150	2100	4	40
613-609	2	1050	2100	3	30
609-602	2	450	2300	3	30
602-463	2	1000	2300	2	20
624-623	3	800	2000	4	30
623-622	3	1200	2000	4	30
622-621	3	1100	1750	4	30
621-620	3	500	1750	4	30
625-619	2	1600	1600	4	40
619-618	2	1000	1600	4	40
618-601	2	5000	1600	4	40
601-465	2	400	3680	3	30
617-616	2	1000	2930	3	30
616-615	2	1350	2100	3	30
615-614	2	700	2100	3	30
614-613	2	1550	2500	3	30
613-608	2	1800	2700	3	30
608-601	2	1000	5900	3	30
601-466	2	500	3700	3	30
629-628	3	600	1000	4	30
612-611	2	1600	2800	3	30
611-610	2	500	3200	3	30
610-609	2	1800	3200	3	30
609-608	2	1750	3200	3	30
607-606	3	1100	2100	2	15
606-605	3	800	2100	2	15
605-604	2	200	3000	2	20
604-603	2	450	3000	2	20
603-602	2	1750	3000	2	20
602-465	2	2300	3000	3	30
603-462	3	1100	1200	2	15
637-636	3	1500	1600	2	15
636-635	3	350	1500	2	15

7

**modelo
de emisión del
monóxido de carbono**

7.1. MODELO MATEMATICO DE EMISION DE MONOXIDO DE CARBONO.

7.2. EMISIONES EN EJES PRINCIPALES.

7.3. EMISIONES EN VIAS DE ACCESO CONTROLADO.

7.4. EMISIONES POR SEGMENTOS DE VIAS.

7.5. EMISIONES POR AREAS.

La magnitud de las emisiones contaminantes producidas por vehículos de combustión interna es función del porcentaje de tiempo en que el vehículo es operado en cada uno de los diferentes modos de manejo, (aceleración, desaceleración, punto muerto y velocidad de crucero).

Estos modos de operación dependen de los hábitos del conductor, del tipo de calle y grado de densidad de circulación de la zona en la que el vehículo transita. Las emisiones están afectadas también por la presencia o ausencia de dispositivos de control, del estado y del tamaño del vehículo.

La distribución de los vehículos en el área urbana, a cualquier hora del día, están afectados en forma similar por otros factores, tales como: distribución de centros de trabajo, compras, residenciales y diversión, por la topografía y por la ocurrencia de eventos especiales.

Una gran cantidad de estudios han sido elaborados en los últimos años para determinadas áreas urbanas, con el propósito de desarrollar modelos de emisión de gases producidos por vehículos de combustión interna.

G.P. Larson (10), en 1955 desarrolló un inventario de emisiones para Los Angeles, Cal. En 1966, G. Ozolins y R. -

Smith (11), publicaron un estudio basado en ventas de combustible, promedios de emisión de gases y distribuciones de tránsito para determinar emisiones diarias de vehículos. En 1968, C. R. Rehman (12) desarrolló un modelo de emisión de gases producidos por automóviles y presentó la distribución geográfica de éstas en la ciudad de Gary, Indiana, basándose en investigaciones realizadas por A.H. Rose (13), de las que se concluía que las emisiones vehiculares eran función del promedio de velocidad de recorrido. R.G. Lamb (14), en 1968, realizó un inventario de emisiones para Los Angeles, Cal., similar al elaborado por Rehman, aplicando una distribución temporal del flujo de tránsito, pero sin presentar la distribución geográfica de los gases contaminantes.

El modelo desarrollado en ésta tesis, está basado en los anteriores estudios y principalmente en el propuesto por P.M. Roth y colaboradores en 1974 (15).

7.1. MODELO MATEMATICO DE EMISION DE MONOXIDO DE CARBONO.

El presente modelo considera exclusivamente como fuente de emisión de monóxido de carbono a los vehículos impulsados mediante motor de gasolina, debido a que el universo de estos representa más del 90% del total registrado en el área de estudio y, además, que las relaciones de emisión de CO en

motores diesel, comparadas con los de gasolina son considerablemente menores.

Es conveniente tratar en forma separada las emisiones producidas por vehículos que transitan en vías rápidas o de acceso controlado y las de aquellos que circulan en otros tipos de vías, debido principalmente a sus características de operación y a los factores que se indican a continuación:

- Las relaciones de emisión en vías de acceso controlado son función de la velocidad promedio de recorrido. Todos los vehículos han alcanzado su temperatura estable de funcionamiento.
- Las relaciones de emisión en ejes principales, arteriales y locales se basan en un ciclo de manejo, en donde además de la velocidad de cruce, son predominantes las aceleraciones, desaceleraciones y funcionamiento en punto muerto. Un gran porcentaje de vehículos empiezan a operar sin alcanzar su temperatura estable funcionamiento.

La masa del contaminante, en este caso monóxido de carbono, estará expresada en función del tiempo (gramos/hora) y será igual a la suma de masas de CO emitidas por hora en ---

vías rápidas o de acceso controlado y en ejes principales, arteriales y locales, $E_{CO}^A(t)$ y $E_{CO}^P(t)$, respectivamente.

$$E_{CO}(t) = E_{CO}^A(t) + E_{CO}^P(t) \quad (1)$$

Las relaciones de emisión en vías de acceso controlado son función del tiempo y de la velocidad.

$$E_{CO}^A(t) = A_{CO}(\bar{v}, t) d_p^A K_p^A \quad (2)$$

donde:

\bar{v} : Promedio de velocidad en la vía considerada (km h⁻¹).

$A_{CO}(v)$: Relación de emisión de CO en gramos por vehículo-kilómetro recorrido a la velocidad \bar{v} .

d_p^A : Fracción diaria de tránsito en vías de acceso controlado para un período (p) de una hora.

K_p^A : Kilómetros recorridos en vías de acceso controlado en el eje considerado.

Los valores de A_{CO} se calculan a partir de la siguiente correlación, basada en el estudio realizado por A.H. Rose en 1965 (13), (16), en la que se establece que las emisiones expresadas en masa por vehículo-kilómetro recorrido son --

función del promedio de velocidad en la ruta designada y que puede representarse por una función potencial.

$$Y = a X^{-b} \quad (3)$$

donde:

$$Y = A_{CO} \quad (4)$$

$$X = \bar{v} \quad (5)$$

a, b = constantes

La relación de emisión de CO ($g h^{-1}$) de vehículos -- que operan en ejes principales, arteriales o locales, está dada por:

$$E_{CO}^P(t) = Q_{CO}^P(\bar{v}, t) d_p^P K^P \quad (6)$$

donde:

$Q_{CO}^P(t)$: Relación de emisión de CO en gramos por vehículo -kilómetro recorrido en el tiempo (t).

\bar{v} : Promedio de velocidad en la vía considerada ($km h^{-1}$).

d_p^P : Fracción diaria de tránsito en ejes principales, arteriales o locales para un período (p) de una - hora.

K_p^P : Kilómetros recorridos en ejes principales, arteriales o locales considerados.

El valor de $Q_{CO}^P(t)$ se obtiene de la suma ponderada - de las emisiones de los vehículos que empiezan a operar dentro y fuera de su temperatura estable de funcionamiento en el tiempo (t) .

$$Q_{CO}^P(t) = y(t)Q_{CO}^F + (1-y(t))Q_{CO}^C \quad (7)$$

donde:

$y(t)$: Fracción de vehículos que empiezan a funcionar en el tiempo (t) con el motor en frío.

Q_{CO}^F, Q_{CO}^C : Relaciones de emisión de CO ($g\ km^{-1}$) determinada mediante pruebas de medición de gases de escape, de acuerdo a un ciclo de manejo para vehículos que funcionan sin alcanzar la temperatura adecuada y para aquellos que si la han alcanzado, respectivamente.

7.2. EMISIONES EN VIAS PRINCIPALES, ARTERIALES Y/O LOCALES.

El parámetro clave para el cálculo de las emisiones en vías principales, arteriales y/o locales, es la determinación de los valores de Q_{CO}^F y Q_{CO}^C .

Varias pruebas de medición de emisiones producidas - en los escapes de vehículos que circulan en estos tipos de --- ejes han sido propuestas. Estos procedimientos tienen como pun

to común la simulación de recorridos mediante el uso de dinámmetros de chasis, en los que se simulan condiciones de tránsito, hábitos de manejo, fricciones fluídas y mecánicas.

El viaje simulado está compuesto de una serie de modos de operación, (aceleración, desaceleración, punto muerto y velocidad de crucero) a los que se les asigna determinada duración y secuencia.

En este estudio se ha adoptado el ciclo de manejo -- FDC 1972 (Federal Driving Cycle), (17), para la estimación de los factores de emisión.

El ciclo de manejo adoptado tiene una duración de 23 minutos y simula un recorrido típico urbano a una velocidad -- promedio de 31.5 km h^{-1} , la secuencia y duración de los modos de operación de éste ciclo se presenta en la figura 7.1, las condiciones de medición de emisiones de acuerdo a este ciclo de manejo incluye funcionamiento en frío del vehículo y funcionamiento a temperatura estable.

El equipo necesario para el desarrollo de pruebas de medición de emisiones basados en este ciclo se muestra en el diagrama de la figura 7.2.

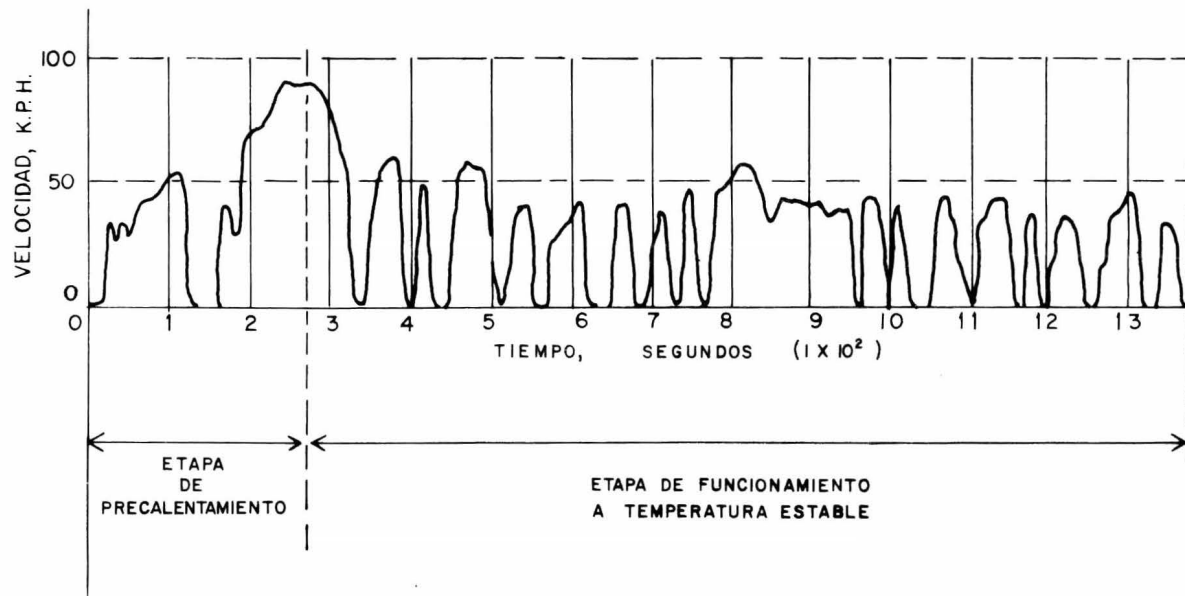
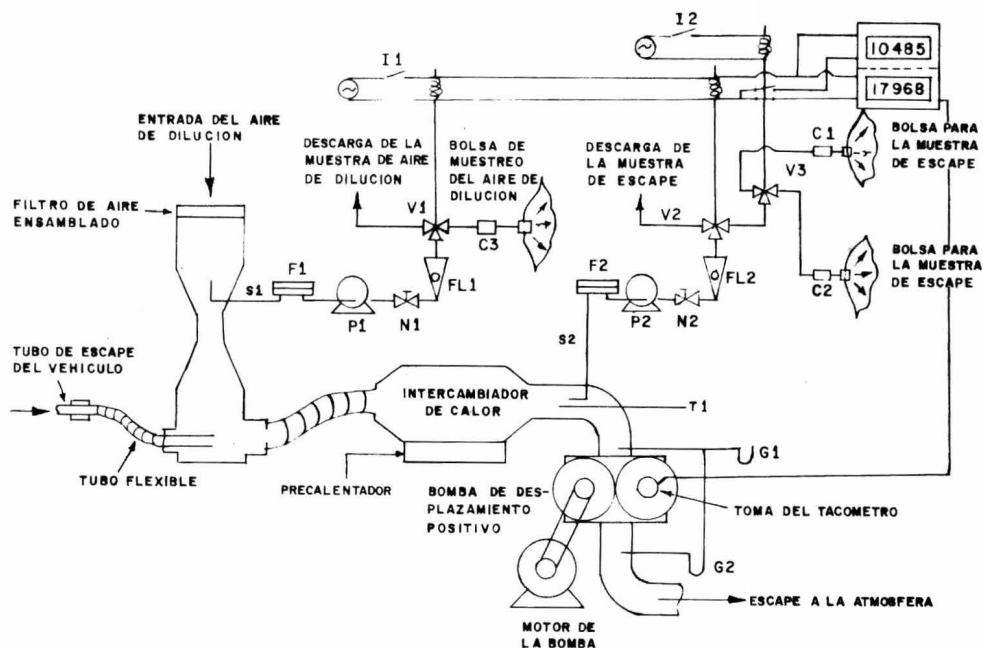


FIG. 7.1. CICLO DE MANEJO FDC 72 CEDULA DE MANEJO PARA EL DINAMOMETRO



SIMBOLOGIA

- T1 SENSOR DE TEMPERATURA
- G1,G2 VACUOMETROS
- S1,S2 TUBOS DE MUESTREO
- F1,F2 FILTROS PARA PARTICULAS SOLIDAS
- P1,P2 BOMBAS
- N1,N2 VALVULAS DE CONTROL
- FL1,FL2 MEDIDORES DE FLUJO
- V1,V2,V3 VALVULAS DE SOLENOIDE
- C1,C2,C3 CONECTORES DE SELLO HERMETICO
- I1, I2 INTERRUPTORES

FIG. 7.2 SISTEMA DE MUESTREO DE GASES DE ESCAPE UTILIZANDO EN LA DETERMINACION DE EMISIONES DE ACUERDO AL CICLO DE MANEJO FDC. 1972

Las relaciones de emisión utilizadas en este estudio han sido estimadas basándose en el Ciclo de Manejo Federal, figura 7.3.

La proporción de las relaciones de emisión de vehículos que funcionan a temperatura estable a vehículos que funcionan con el motor frío, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{Q_{CO}^C}{Q_{CO}^F} = \frac{G P^C + (1-G) T}{G P^F + (1-G) T} \quad (8)$$

donde:

- G : Fracción de automóviles registrados (suponiendo la igual a la fracción de automóviles que transitan).
- P^C, P^F : Relación de emisión para automóviles que funcionan en frío y a una temperatura estable ($g \text{ km}^{-1}$).
- T : Relación de emisión para camiones y autobuses ---- ($g \text{ km}^{-1}$).

Del universo de vehículos del área de estudio se tiene que:

Automóviles	0.87
Camiones de carga	0.11
Autobuses de pasajeros	0.01

Según Springer (1969), (18)

$$T_{CO} = 93.22 \text{ g km}^{-1}$$

Martínez (1973), (19) determino los valores de p^C y p^F para CO.

$$p^C = 51.26 \text{ g km}^{-1}$$

$$p^F = 72.46 \text{ g km}^{-1}$$

Estos valores son aplicables sólo para modelos anteriores a 1970, lo cual es aceptable para el universo de vehículos del área de estudio, ya que este está constituido por más de 75% de vehículos de estos modelos.

$$\frac{Q_{CO}^C}{Q_{CO}^F} = \frac{0.87(51.26) + (1-0.87)(93.22)}{0.87(72.46) + (1-0.87)(93.22)}$$

$$\frac{Q_{CO}^C}{Q_{CO}^F} = 0.754 \quad (9)$$

Los factores de emisión de CO para vehículos en general que circulen en zonas de baja altitud son los siguientes:

$$Q_{CO}^C = 42.63 \text{ g km}^{-1}$$

$$Q_{CO}^F = 56.55 \text{ g km}^{-1}$$

Las condiciones fisiográficas del área de estudio -- producen un incremento en las relaciones de emisión de CO debido a la gran altitud propia de la zona que origina un enriquecimiento de la mezcla combustible-aire por la baja densidad -- del aire.

Los factores de emisión estimados para regiones con una altitud mayor a 1500 metros sobre el nivel del mar son los siguientes: (figura 7.4).

$$Q_{CO}^C = 69.83 \text{ g km}^{-1}$$

$$Q_{CO}^F = \frac{Q_{CO}^C}{0.754}$$

$$Q_{CO}^F = 92.61 \text{ g km}^{-1}$$

Para el cálculo de $Q_{CO}^P(t)$ es necesario determinar -- los valores de $y(t)$. A continuación se presenta una estima--- ción aproximada del porcentaje de vehículos que empiezan a fun cionar con el motor en frío para diferentes horas del día.

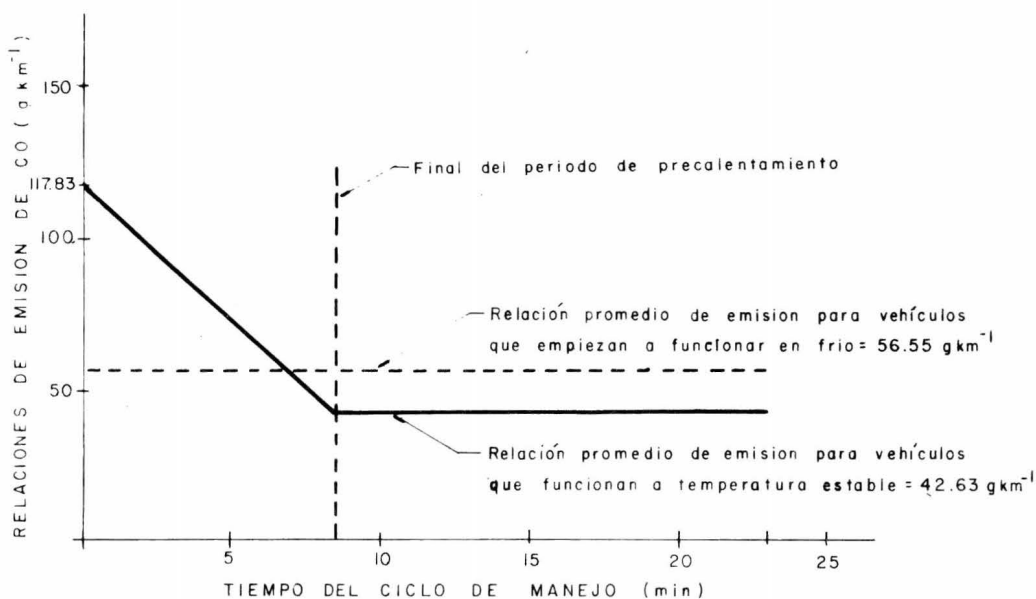


FIG. 7.3 RELACIONES DE EMISION DE ACUERDO AL CICLO DE MANEJO FDC PARA REGIONES DE BAJA ALTITUD

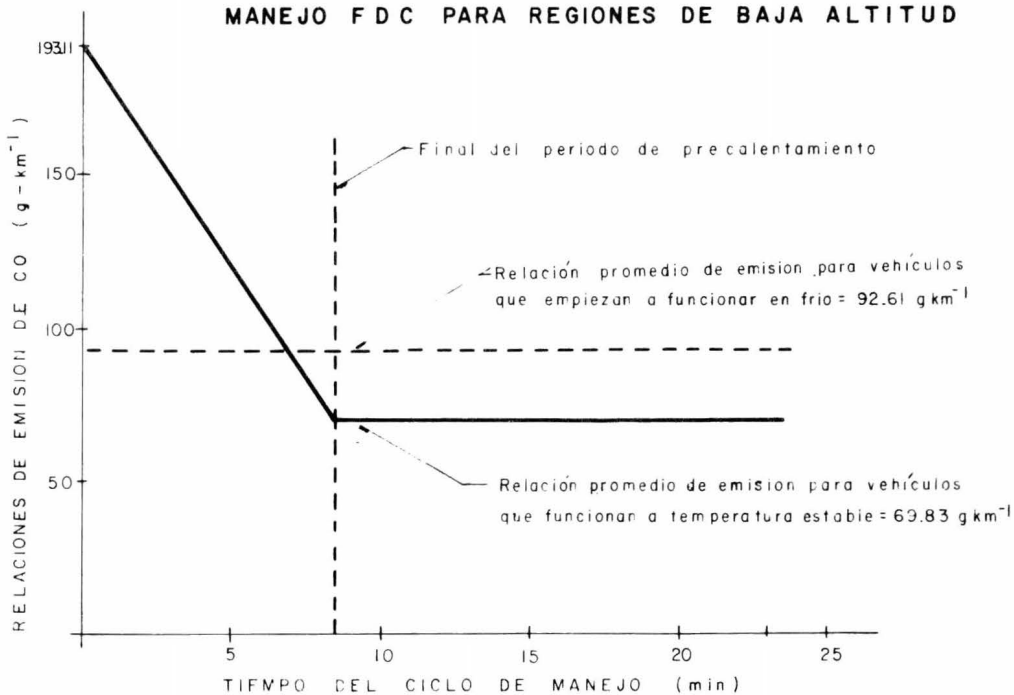


FIG. 7.4 RELACIONES DE EMISION DE ACUERDO AL CICLO DE MANEJO FDC PARA REGIONES DE GRAN ALTITUD

TABLA 7.1. PORCENTAJE DE VEHICULOS QUE EMPIEZAN A FUNCIONAR EN FRIO EN DIFERENTES HORAS DEL DIA.

Período (h)	y
00:00 - 06:00	0.90
06:00 - 09:00	0.85
09:00 - 11:30	0.25
11:30 - 13:30	0.30
13:30 - 16:30	0.20
16:30 - 18:30	0.50
18:30 - 21:00	0.15
21:00 - 24:00	0.20

De la ecuación (7).

$$Q_{CO}^P(t) = y(t) Q_{CO}^F + (1-y(t)) Q_{CO}^C$$

Período de tiempo seleccionado 08:00 - 09:00 para el A.M.V.M.

$$Q_{CO}^P = (0.85)(92.61 \text{ g km}^{-1}) + (1-0.85)(69.83 \text{ g km}^{-1})$$

$$Q_{CO}^P = 89.19 \text{ g km}^{-1} \quad (\text{a } 31.5 \text{ km h}^{-1})$$

Considerando que la velocidad promedio del ciclo de

manejo adoptado no es representativa de todas las vías y zonas en que los vehículos transitan, se presentan los factores de ajuste para velocidades desarrollado por The Environmental Protection Agency en 1973, (20), en la figura 7.5.

El modelo matemático de emisión de CO producido por vehículos de combustión interna que circulan en vías principales, arteriales y/o locales en el A.M.V.M. se basa en el valor de Q_{CO}^P (determinado para el período de 08:00 - 09:00) y en los factores de ajuste para velocidades, el resultado del ajuste de los datos mediante el método de mínimos cuadrados, proporciona la siguiente ecuación (figura 7.6):

$$Y = 1514.8 * X^{**} (-0.82) \quad (10)$$

7.3. EMISIONES EN VIAS DE ACCESO CONTROLADO.

A.H. Rose (1965), (13), (16), demostró que las variaciones de emisión atribuibles a factores, tales como: condiciones de la ruta, duración y secuencia de los diferentes modos de manejo, están reflejados en el volumen de tránsito y velocidad promedio de recorrido y que por lo tanto, las correlaciones de emisión-velocidad son suficientes para lograr una estimación de las emisiones en vías de acceso controlado.

Estas correlaciones están basadas en una relación li

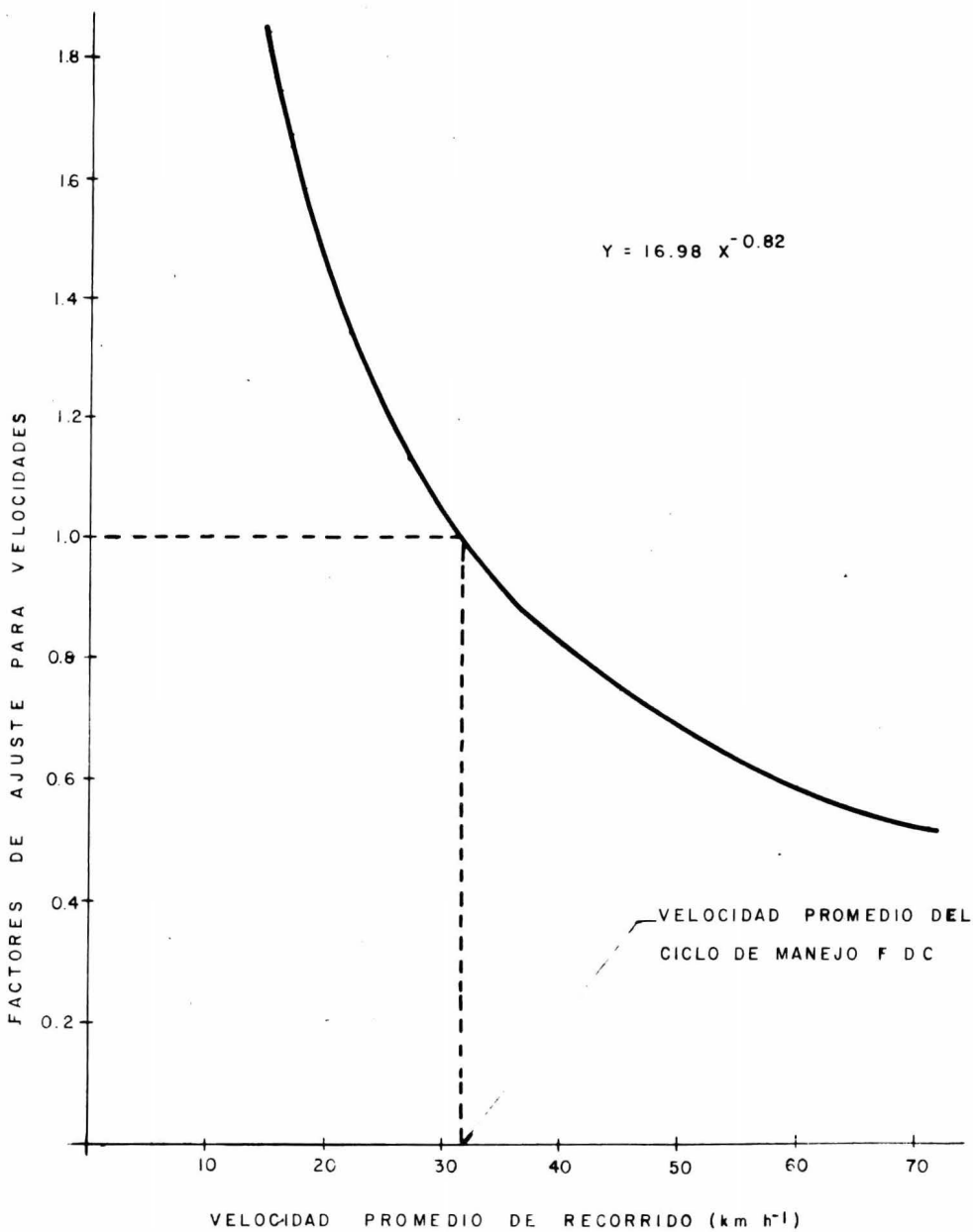


FIG. 7.5 FACTORES DE AJUSTE PARA VELOCIDADES PROMEDIO DE RECORRIDO.

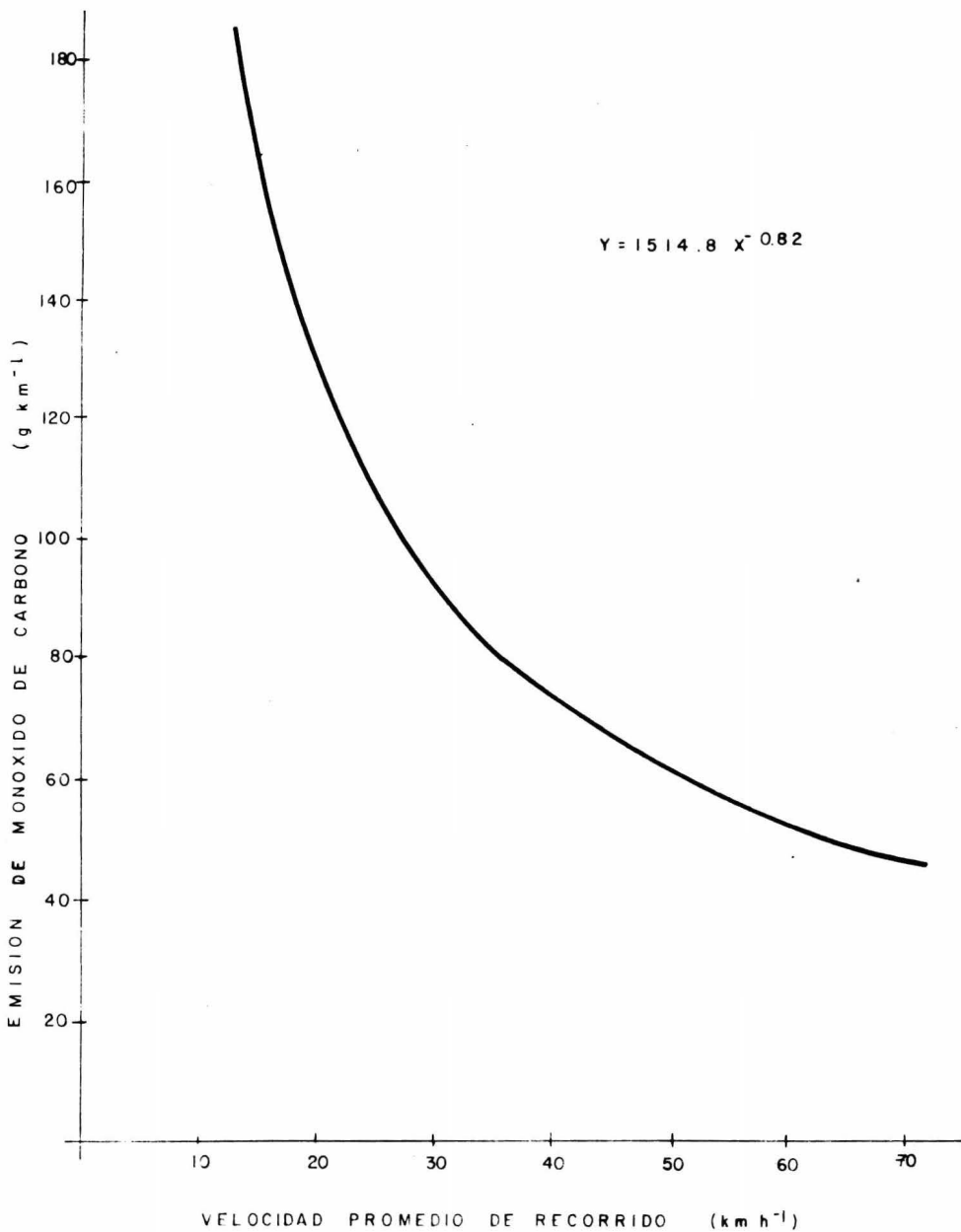


FIG. 7.6 RELACIONES DE EMISION PARA DIFERENTES VELOCIDADES PROMEDIO BASADAS EN EL CICLO DE MANEJO FDC,

neal entre el logaritmo de la relación promedio de emisión y - el logaritmo del promedio de velocidad de ruta; y en base a es to se han desarrollado las correlaciones de este estudio.

En 1965, Rose determinó la correlación existente entre emisión y velocidad para regiones de baja altitud.

$$Y = 983 * X ** (-0.83) \quad (11)$$

Y la correlación existente entre emisión y velocidad para regiones de gran altitud sobre el nivel del mar:

$$Y = 2193 * X ** (-0.92) \quad (12)$$

Los incrementos en las emisiones debidos a la alti-- tud se presentan en la siguiente tabla para diferentes prome-- dios de velocidad.

TABLA 7.2. COMPARACION DE LAS EMISIONES DE MONOXIDO DE CARBONO (g km⁻¹) PARA DIFERENTES ALTITUDES.

REGIONES	V E L O C I D A D (K.P.H.)							
	10	20	30	40	50	60	70	80
Baja altitud	145.60	81.94	58.54	46.12	38.33	32.95	28.99	25.95
Gran altitud	262.98	138.88	95.60	73.34	59.72	50.49	43.80	38.73
Incremento	1.81	1.69	1.63	1.59	1.56	1.53	1.51	1.49

P.M. Roth (1973), (15), modificó los valores estimados por A.H. Rose, debido a que los modelos considerados por éste eran de 1955-1963, la correlación desarrollada por Roth es válida para modelos 1970 y anteriores, lo que es representativo del 75% de la población vehicular del A.M.V.M. La correlación estimada es aplicable a zonas de baja altitud:

$$Y = 231 * X ** (-0.49) \quad (13)$$

La estimación de la correlación válida en regiones de gran altitud para modelos 1970 y anteriores, se realizó modificando la ecuación (12) con los porcentajes de incremento de emisión a distintas velocidades que se presentan en la tabla 7.1. El resultado del ajuste de los datos por el método de mínimos cuadrados proporciona la siguiente ecuación:

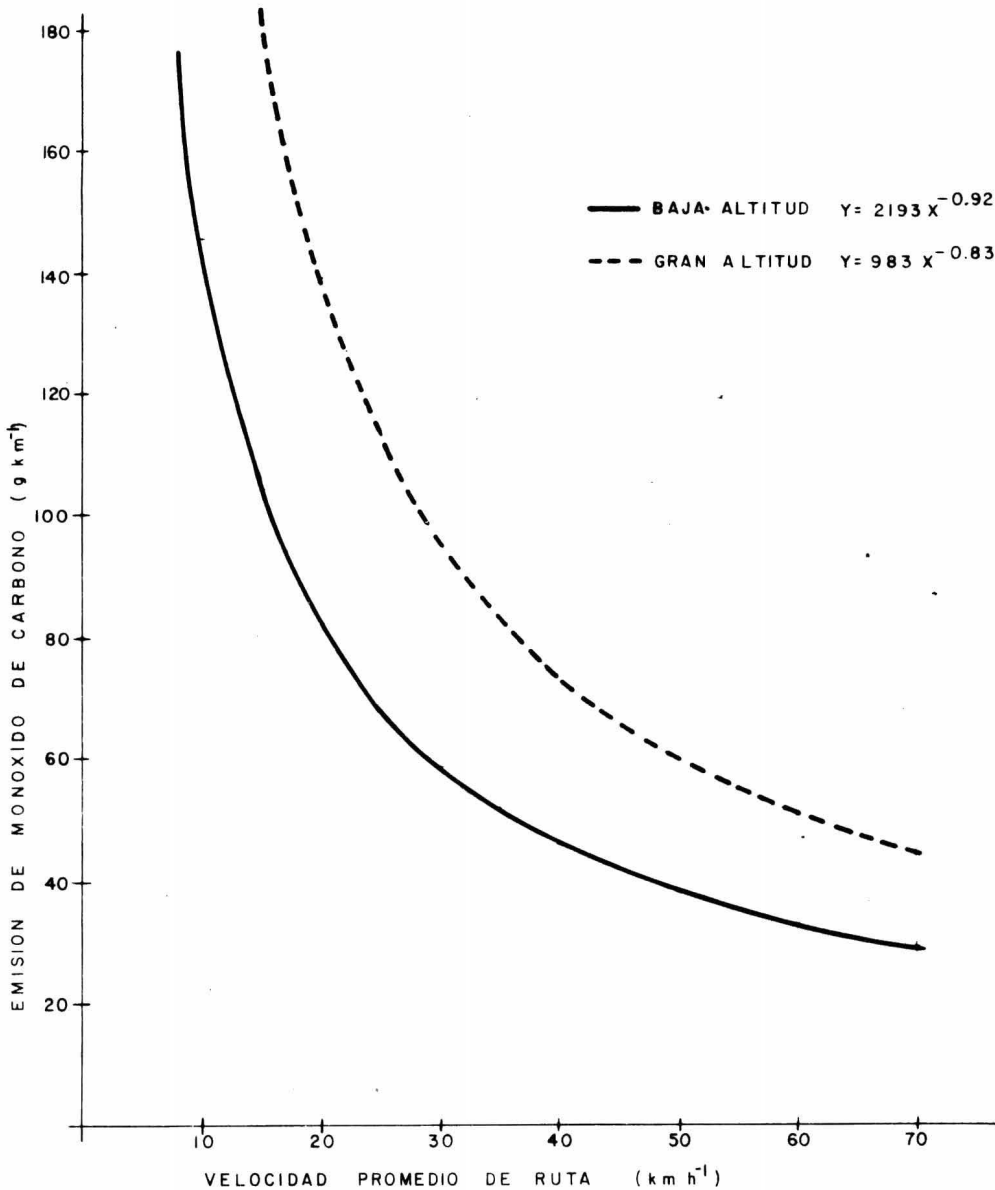
$$Y = 516.5 * X ** (-0.58) \quad (14)$$

La representación gráfica de éstas correlaciones se presentan en las figuras 7.7 y 7.8.

Las correlaciones de emisión-velocidad determinadas para el área de estudio son:

- Para vehículos que circulan en vías de acceso controlado.

De las ecuaciones (2), (3), (4), (5) y (13)



**FIG.7.7 RELACION DE EMISION DETERMINADAS PARA
 VEHICULOS 1955-63 .**

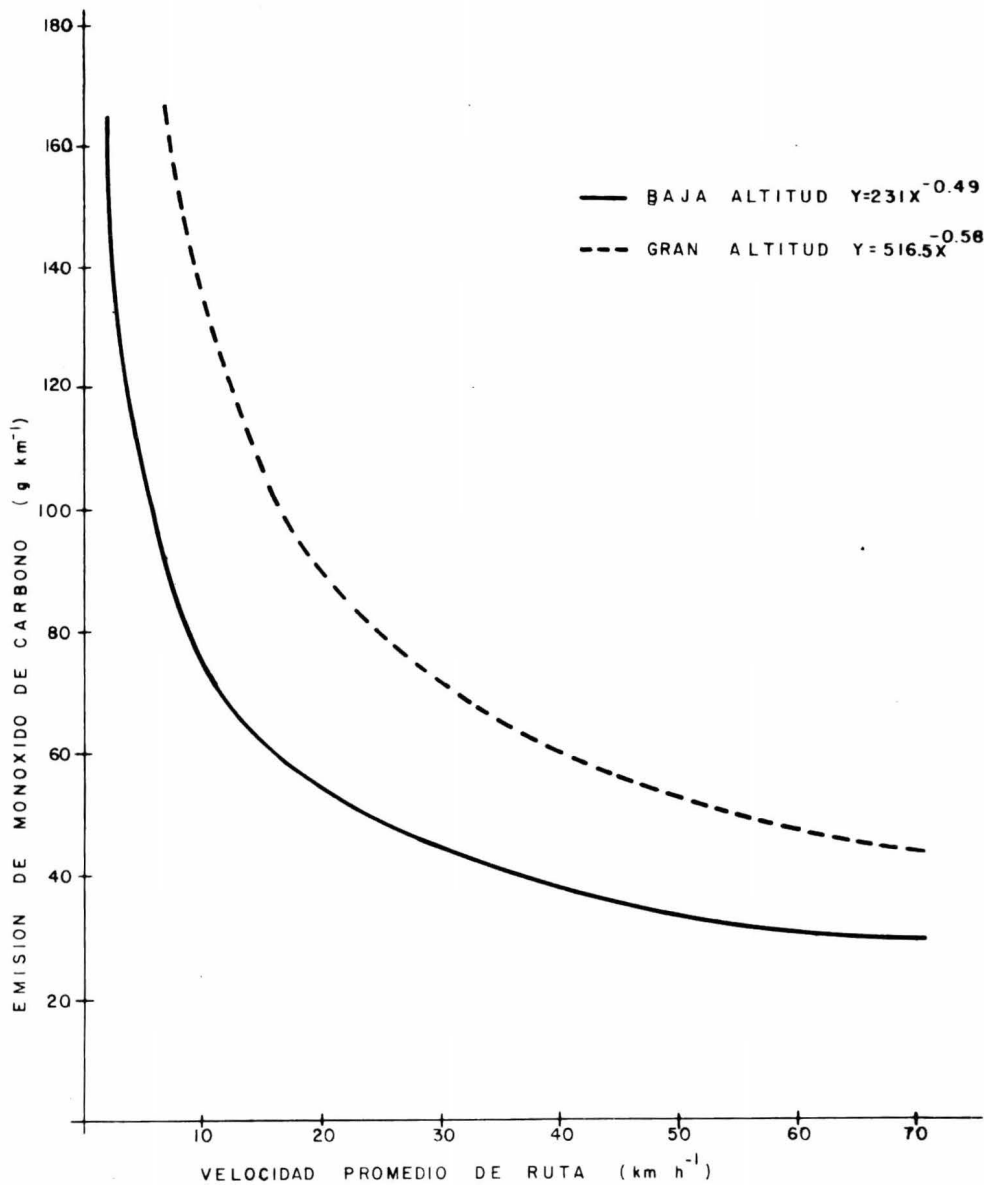


FIG. 7.8 RELACION DE EMISION DETERMINADAS PARA VEHICULOS ≤ 1970

$$E_{CO}^A(t) = 516.5 (\bar{v})^{-0.58} (d_p^A) (K_p^A) \quad (15)$$

- Para vehículos que circulan en vías principales, arteriales y locales.

$$y = 1515 * x ** (-0.82)$$

De la ecuación (6).

$$E_{CO}^P(t) = 1515 (\bar{v})^{-0.82} (d_p^P) (K_p^P) \quad (16)$$

A partir de estas correlaciones y de las velocidades promedio de recorrido estimadas para las diferentes vías y zonas de circulación (Tabla 6.4), se presentan los valores de -- emisión independientes de los volúmenes de tránsito y de los - kilómetros de recorrido.

TABLA 7.3

EMISIONES DE MONOXIDO DE CARBONO (g/km-vehículo) CALCULADAS PARA LAS DIFERENTES ZONAS Y TIPOS DE VIAS A LAS VELOCIDADES ESTIMADAS.

VIAS DE ACCESO CONTROLADO

ZONA CENTRAL	90.88	a	20	km h ⁻¹
ZONA INTERMEDIA INTERIOR	71.84	a	30	km h ⁻¹
ZONA INTERMEDIA EXTERIOR	60.80	a	40	km h ⁻¹
ZONA PERIFERICA	53.42	a	50	km h ⁻¹

VIAS PRINCIPALES

ZONA CENTRAL	164.44	a	15	km h ⁻¹
ZONA INTERMEDIA INTERIOR	129.89	a	20	km h ⁻¹
ZONA INTERMEDIA EXTERIOR	93.15	a	30	km h ⁻¹
ZONA PERIFERICA	73.57	a	40	km h ⁻¹

VIAS ARTERIALES

ZONA CENTRAL	229.30	a	10	km h ⁻¹
ZONA INTERMEDIA INTERIOR	164.44	a	15	km h ⁻¹
ZONA INTERMEDIA EXTERIOR	129.89	a	20	km h ⁻¹
ZONA PERIFERICA	93.15	a	30	km h ⁻¹

VIAS LOCALES

ZONA CENTRAL	404.82	a	5	km h ⁻¹
ZONA INTERMEDIA INTERIOR	229.30	a	10	km h ⁻¹
ZONA INTERMEDIA EXTERIOR	164.44	a	15	km h ⁻¹
ZONA PERIFERICA	129.89	a	20	km h ⁻¹

7.4. EMISIONES POR SEGMENTOS DE VIAS.

Las emisiones de monóxido de carbono por segmentos de vías, se efectúa en base a las ecuaciones (15) y (16), de acuerdo a la relación de segmentos resultantes de la unión de nodos que se presentan en el resumen de las características físicas y de tránsito del área de estudio (6.5).

Los resultados de las emisiones por segmentos de vías consideradas, se presentan en la siguiente tabla:

EMISIONES DE MONOXIDO DE CARBONO POR SEGMENTO DE VIA

SEGMENTO (nodo-nodo)	EMISIONES Kg. CO km ⁻¹	SEGMENTO (nodo-nodo)	EMISIONES Kg. CO km ⁻¹
102-103	220.69	201-202	110.34
103-104	220.69	202-207	110.34
104-106	226.20	213-212	194.57
106-112	226.20	221-220	235.40
112-113	242.76	220-219	235.40
113-115	242.76	219-218	235.40
101-104	154.48	222-223	279.40
105-106	127.12	223-224	279.40
105-107	127.12	224-218	279.40
107-108	139.70	218-217	253.79
108-109	139.70	217-216	253.79
109-111	139.70	216-215	183.91
111-113	139.70	216-215 (')	73.56
108-114	139.70	215-214	183.91
112-116	235.40	219-224	246.80
116-119	235.40	362-345	147.12
110-111	183.91	345-346	121.38
111-114	183.91	346-351	203.03
114-117	183.91	346-350	239.08
117-118	232.83	345-344	114.02
119-120	235.40	344-334	152.27
115-116	147.10	334-335	117.35
105-109	186.27	335-336	117.35
103-204	112.17	344-326	129.47
104-205	149.56	326-327	139.70
106-205	58.75	361-358	784.26
116-213	155.95	358-351	784.26
120-221	235.40	351-350	784.26
204-208	149.56	350-334	796.42
208-210	149.56	334-326	796.42
210-211	365.09	326-324	796.42
211-212	213.66	324-323	547.16
212-220	405.95	323-309	501.56
220-223	462.05	309-308	501.56
205-209	112.27	308-107	557.65
209-210	112.27	349-335	279.40
211-213	182.80	335.327	279.40
213-221	172.87	357-356	325.97
221-222	372.54	356-348	279.40
205-204	80.12	360-354	353.91
204-202	80.12	354-353	353.91
202-203	80.12	353-348	353.91
203-206	80.12	347-340	372.54
209-208	73.56	340-341	372.54
208-207	73.56	341-333	372.54
207-203	73.56	333-328	372.54

SEGMENTO (nodo-nodo)	EMISIONES Kg. CO km ⁻¹	SEGMENTO (nodo-nodo)	EMISIONES Kg. CO km ⁻¹
328-327	372.54	355-353	372.54
327-325	186.27	350-349	400.48
325-323	186.27	349-348	400.48
340-336	155.84	348-347	447.05
336-333	155.84	347-352	512.24
328-322	195.58	352-447	714.28
322-310	195.58	340-342	372.54
310-306	232.83	342-343	372.54
306-117	183.91	343-442	584.41
329-321	186.27	339-338	207.79
321-311	232.83	338-431	220.70
311-306	232.83	328-329	194.80
343-339	186.27	329-330	194.80
339-337	186.27	331-458	155.84
337-330	325.97	324-325	352.61
330-319	325.97	325-322	370.85
319-315	325.97	322-321	370.85
315-314	325.97	321-320	370.85
314-307	232.83	320-319	395.17
307-401	167.64	319-318	502.84
359-352	584.41	318-317	502.84
352-343	649.35	317-316	502.84
343-338	649.35	316-415	502.84
338-332	649.35	320-311	212.78
332-331	649.35	309-310	259.74
331-319	649.35	310-311	259.74
319-312	512.24	311-312	233.76
312-305	381.85	312-313	155.84
305-115	242.76	313-314	155.84
318-315	207.79	314-406	155.84
317-315	129.87	308-306	214.21
315-313	207.79	306-305	186.27
313-304	207.79	305-119	204.89
316-314	155.84	305-304	116.41
314-303	129.87	304-303	116.41
406-307	172.30	303-302	116.41
307-301	172.30	302-301	116.41
301-120	172.30	301-222	116.41
405-307	260.77	347-342	233.76
307-302	223.52	342-337	233.76
302-119	279.40	337-332	233.76
307-401	214.21	360-359	325.97
358-357	270.09	461-459	558.44
357-355	279.40	459-447	711.69
351-356	223.52	447-442	259.74
356-355	372.54	442-431	519.48

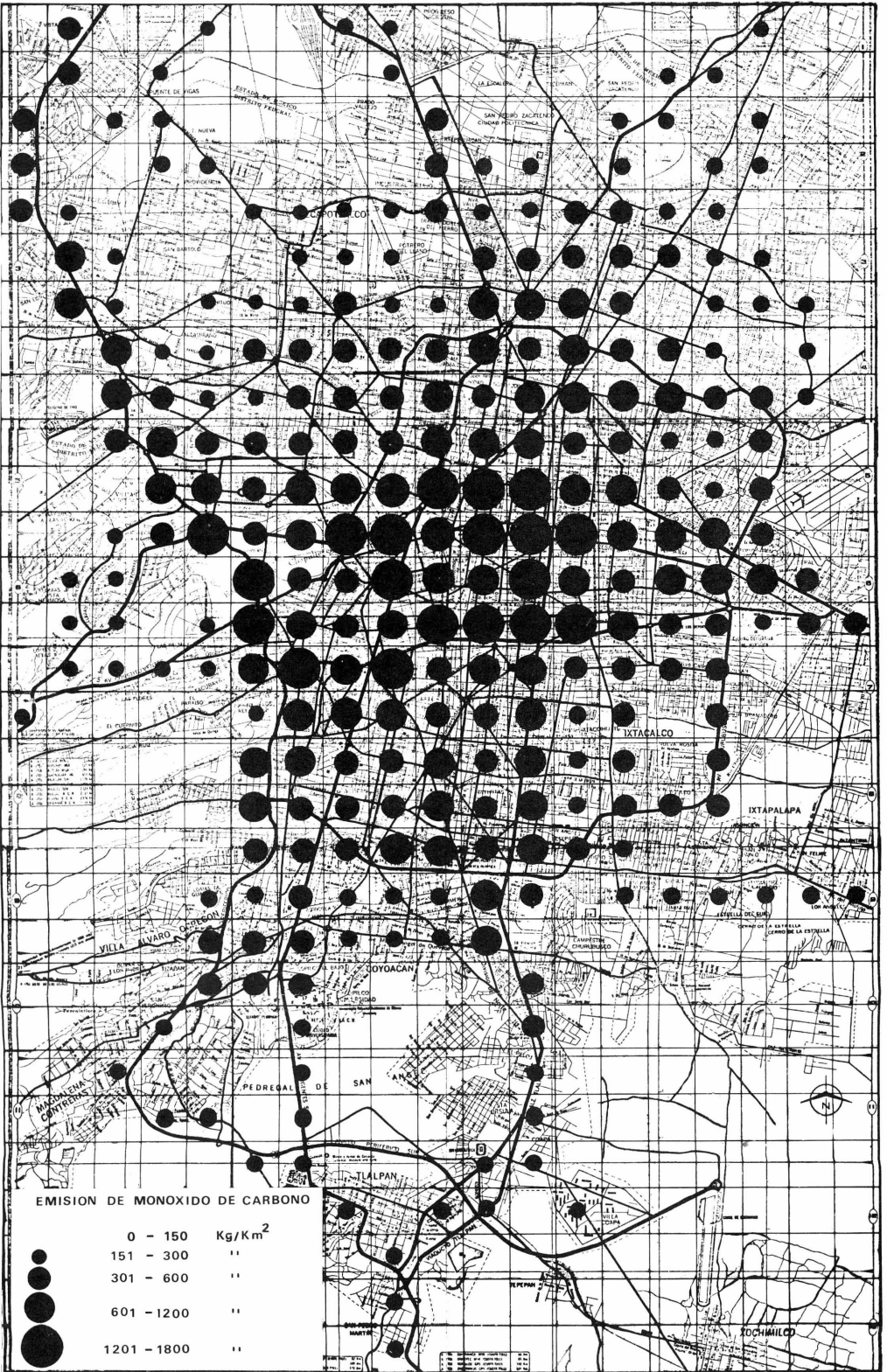
SEGMENTO (nodo-nodo)	EMISIONES kg. CO km ⁻¹	SEGMENTO (nodo-nodo)	EMISIONES kg. CO km ⁻¹
431-458	324.67	433-427	129.87
458-415	324.67	466-432	376.93
415-406	186.27	432-427	376.93
449-443	246.63	427-422	212.78
443-441	246.63	422-414	325.97
440-416	259.74	414-403	325.97
416-407	184.41	403-402	325.97
407-411	184.41	402-218	232.83
411-405	184.41	424-403	232.83
405-401	259.74	465-466	279.40
461-460	476.82	461-462	229.27
460-448	476.82	462-463	164.42
448-450	476.82	463-464	129.87
450-444	476.82	359-459	454.54
444-439	476.82	459-460	259.74
439-417	389.61	447-449	259.74
417-409	232.83	449-448	259.74
409-408	232.83	448-452	328.84
408-405	186.27	452-454	328.84
452-451	657.68	450-451	246.63
451-445	657.68	451-453	657.68
445-438	657.68	443-444	328.84
454-453	822.11	444-445	328.84
453-446	822.11	445-446	312.40
446-437	970.09	446-435	229.27
437-418	673.09	435-455	164.42
418-410	607.96	455-456	389.61
410-404	607.96	456-434	437.66
404-223	511.90	434-433	437.66
462-436	252.20	433-432	313.86
436-430	458.54	432-426	365.36
430-419	545.45	426-425	393.13
419-412	334.35	442-441	519.48
412-402	334.35	441-440	519.48
402-217	334.35	440-439	519.48
462-455	246.63	439-438	657.68
455-435	389.61	438-437	657.68
435-429	519.48	437-430	1019.41
429-420	389.61	430-429	545.45
463-456	298.70	429-428	545.45
434-428	324.67	428-427	279.40
428-421	324.67	427-423	176.95
421-413	325.97	415-416	502.84
465-464	342.73	416-417	502.84
464-457	342.73	417-418	502.84
457-433	186.27	418-419	502.84

SEGMENTO (nodo-nodo)	EMISIONES kg. CO km ⁻¹	SEGMENTO (nodo-nodo)	EMISIONES kg. CO km ⁻¹
419-420	359.17	515-507	121.07
420-421	242.08	518-508	147.12
421-422	200.62	508-504	186.27
422-423	176.27	504-637	259.74
423-424	176.27	521-520	93.13
424-426	176.27	520-514	93.13
406-407	181.81	531-525	239.81
407-409	181.81	532-525	144.36
406-411	151.84	525-523	239.81
411-408	151.84	523-624	341.33
408-410	194.80	524-623	176.55
406-405	194.80	527-526	232.83
405-404	259.74	526-522	232.83
414-413	237.49	522-517	232.83
413-412	237.49	517-518	139.70
412-224	246.80	518-519	162.98
401-222	279.40	519-520	162.98
509-505	186.27	520-624	162.98
505-513	129.87	523-524	223.52
513-506	129.87	508-514	272.88
506-507	353.91	514-617	272.88
507-503	353.91	632-627	176.95
503-360	204.89	627-626	232.83
505-501	316.66	626-625	183.91
501-357	316.66	625-620	183.91
506-501	195.58	620-615	183.91
501-361	195.58	615-611	232.83
506-502	186.17	611-605	251.46
502-354	186.17	605-635	558.44
519-508	154.48	635-461	558.44
508-503	223.52	627-622	161.84
503-502	391.16	622-616	133.15
502-357	391.16	623-616	264.83
360-504	372.54	624-617	342.07
504-612	325.97	617-612	433.08
516-510	183.91	612-606	344.60
528-515	347.20	606-636	337.66
515-512	475.39	636-461	337.66
512-510	539.49	633-631	106.83
510-505	539.49	631-630 (')	93.13
505-361	784.26	631-630	90.80
512-511	232.83	630-626	145.29
511-513	232.83	626-621	331.03
529-527	183.91	621-616	445.79
527-515	183.91	616-612	564.40
530-526	93.13	612-607	564.40
522-511	93.13	607-637	519.48

SEGMENTO (nodo-nodo)	EMISIONES kg. CO km ⁻¹
637-359	454.54
634-629	110.34
629-619	160.36
619-614	213.33
614-610	270.09
610-604	271.95
628-618	121.38
618-613	154.48
613-609	195.58
609-602	214.21
602-463	298.70
624-623	186.27
623-622	186.27
622-621	162.98
621-620	162.98
625-619	117.70
619-618	117.70
618-601	117.70
601-465	342.73
617-616	136.22
616-615	195.58
615-614	195.58
614-613	232.83
613-608	251.46
608-601	549.50
601-466	344.60
629-628	93.13
612-611	260.77
611-610	298.03
610-609	298.03
609-608	298.03
607-606	345.28
606-605	345.28
605-604	389.61
604-603	389.61
603-602	389.61
602-465	279.40
603-462	197.30
637-636	263.07
636-635	246.63

8

**estrategias
de control del
monóxido de carbono**



8.1. INSPECCION-MANTENIMIENTO.

8.1.1. Inspección Visual.

8.1.2. Medición de emisiones en el escape en punto muerto.

8.1.3. Medición de las emisiones en el escape simulando -
un recorrido.

8.1.4. Inspección de los parámetros del motor.

8.1.5. Afinación.

8.2. TECNICAS PARA MEJORAR LA COMBUSTION.

8.2.1. Calibración del carburador.

8.2.2. Alteración del tiempo de ignición.

8.2.3. Sistemas de inyección de aire.

8.2.4. Sistemas de combustión secundaria.

8.2.5. Sistemas de oxidación catalítica.

8.2.6. Limitación de potencia en los motores.

8.2.7. Correctores altimétricos.

8.3. DESARROLLO DE OTROS SISTEMAS DE PROPULSION.

8.3.1. Turbina de gas.

8.3.2. Máquina Rankine o de vapor.

- 8.3.3. Vehículo eléctrico.
 - 8.3.4. Vehículo híbrido.
 - 8.3.5. Máquina Stirling.
- 8.4. SISTEMAS DE COMBUSTIBLE GASEOSO.
- 8.4.1. LPG.
 - 8.4.2. LNG-CNG.
- 8.5. TECNICAS DE FLUJO DE TRANSITO.
- 8.5.1. Modificaciones en el uso de calles.
 - 8.5.2. Modificación de las características físicas de la red vial.
 - 8.5.3. Controles para peatones.
 - 8.5.4. Regulación del flujo vehicular.
- 8.6. DESVIACION DEL TRANSITO.
- 8.6.1. Rutas periféricas.
 - 8.6.2. Anillos internos.
 - 8.6.3. Signos y señales directivas.
 - 8.6.4. Permisos especiales.
 - 8.6.5. Cuotas de acceso.

8.7. MEJORAMIENTO DEL TRANSPORTE PUBLICO.

8.7.1. Sistemas de transporte colectivo.

8.7.2. Sistema de autobuses de pasajeros.

8.7.3. Sistema de vehículos de alquiler.

8.7.4. Sistema de aventón organizado.

8.8. RESTRICCIONES A VEHICULOS DE MOTOR.

8.8.1. Regulación de estacionamiento.

8.8.2. Estacionómetros.

8.8.3. Cuotas de acceso.

8.9. CAMBIO EN LOS HORARIOS DE TRABAJO.

8.9.1. Escalonamiento de horas de trabajo.

8.9.2. Semanas de trabajo de cuatro días.

El propósito fundamental de este capítulo es señalar y evaluar diversas estrategias o técnicas de control que podrían reducir considerablemente las emisiones de monóxido de carbono producidas por vehículos de combustión interna en el Area Metropolitana del Valle de México en los próximos años.

8.1. INSPECCION-MANTENIMIENTO.

Gran diversidad de métodos de inspección-mantenimiento han sido propuestos para el control de las emisiones de monóxido de carbono. A continuación se presentan los más importantes:

8.1.1. Inspección Visual.

Este método tiende a ser muy subjetivo, pero proporciona una evaluación preliminar del vehículo inspeccionado. Se deben revisar que los dispositivos o sistemas de control están funcionando y verificar si existen emisiones visibles.

8.1.2. Medición de las emisiones en el escape en punto muerto.

En esta prueba se miden las emisiones cuando el motor está operando en punto muerto. Los vehículos que resulten con emisiones excesivas de monóxido de carbono requerirán de mantenimiento.

8.1.3. Medición de las emisiones en el escape simulando un re-

corrido.

Las emisiones son medidas durante la simulación de un recorrido del vehículo sobre un dinamómetro de chasis. Este método proporciona mayor información que el anterior, ya que registra el aumento de emisiones producido por explosiones falsas, por aceleraciones y desaceleraciones.

8.1.4. Inspección de los parámetros del motor.

Los componentes de la máquina y los parámetros que afectan las emisiones son inspeccionadas por un mecánico. La inspección incluye: revoluciones por minuto, tiempo, bujías, distribuidor, filtros de aire, carburador y sistemas de inyección de aire. Posteriormente los vehículos se afinan o reparan de acuerdo al diagnóstico derivado de la inspección.

8.1.5. Afinación.

Los vehículos se afinan de acuerdo a las especificaciones de los fabricantes en un taller privado. Este paso sólo es aceptable para vehículos precontrolados.

La afinación para el control de las emisiones debe cubrir principalmente las siguientes unidades:

- Compresión.
- Ignición.
- Carburación.

Los métodos anteriores de inspección-mantenimiento tienen una gran similitud en la reducción de emisiones de monóxido de carbono. El método (8.1.2) es el más económico y el que menos tiempo requiere, el método (8.1.3) es aproximadamente un 10% más costoso que el (8.1.2), los métodos (8.1.4) y (8.1.5) son los que necesitan mayor tiempo y resultan más costosos.

La aplicación de estos métodos de inspección-mantenimiento, además de reducir las emisiones de monóxido de carbono proporcionan un ahorro considerable de combustible.

Para establecer el intervalo de tiempo conveniente en el que se deban efectuar los servicios de inspección-mantenimiento, es necesario realizar programas pilotos que proporcionen relaciones de deterioro de los vehículos con relación al tiempo.

Un ejemplo de velocidades de deterioro supuestas para servicios de inspección-mantenimiento se presenta en la figura 8.1.

Mediante el servicio de inspección-mantenimiento se reducen las emisiones de e_3 a e_1 en el tiempo t_1 , dependiendo de la velocidad de deterioro (d_1, d_2, d_3) el intervalo entre -

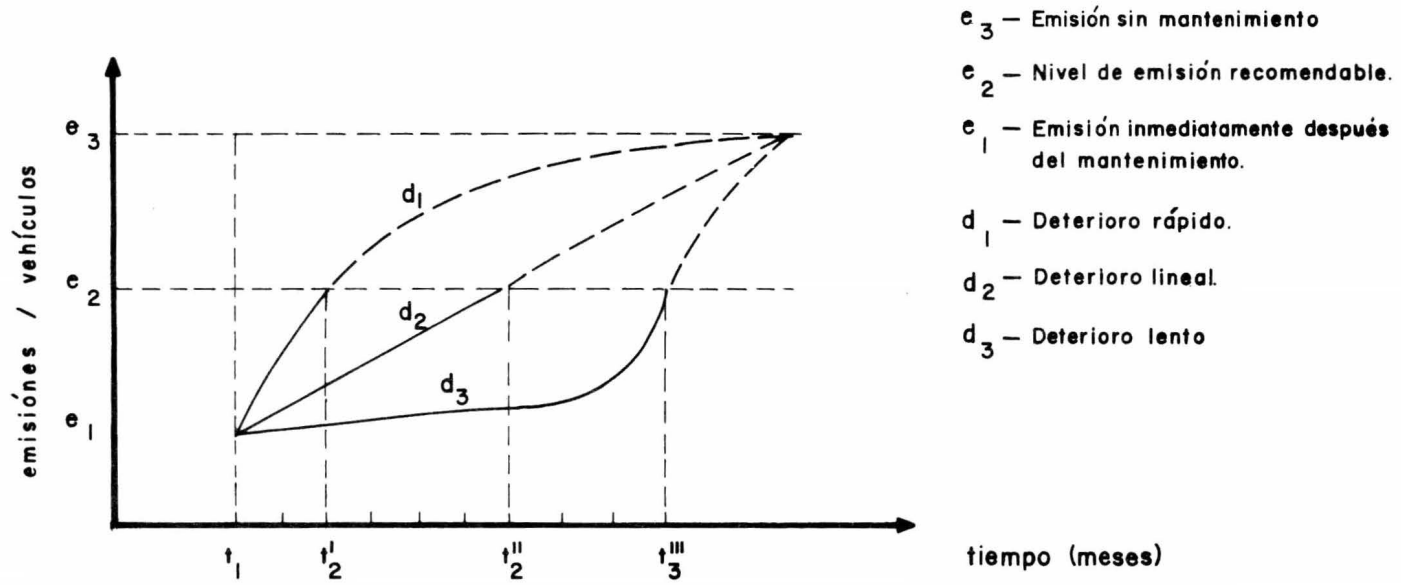


FIG. 8.1 RELACIONES DE DETERIORO SUPUESTAS PARA EL SERVICIO DE INSPECCION-MANTENIMIENTO.

inspecciones-mantenimiento (t_1-t_2 , t_1-t_2' , t_1-t_2'') será el -- apropiado para mantener las emisiones bajo el nivel de emisión fijado.

8.2. TECNICAS PARA MEJORAR LA COMBUSTION.

Dado que las emisiones de monóxido de carbono en el escape son producto de una combustión incompleta, la reducción de este contaminante depende fundamentalmente de la aplicación de dispositivos y/o ajustes al motor con objeto de mejorar la combustión.

8.2.1. Calibración del carburador.

Debido a que las emisiones de CO en el escape son dificiles de controlar, especialmente durante los modos de operación del motor en punto muerto y desaceleración, un ajuste del carburador para que provea de mezclas pobres de combustible, - produce una mayor eficiencia en la combustión y por consiguiente minimiza las emisiones en estos períodos.

8.2.2. Alteración del tiempo de ignición.

Junto con el ajuste del carburador, la alteración -- del tiempo de ignición produce una considerable reducción de - las emisiones, primero: provocando un aumento en la temperatu- ra de los gases de escape, produciéndose así una combustión --

adicional, y segundo: que el retardo del tiempo de ignición requiere de una apertura mayor del papalote del carburador lo -- que implica un incremento en la carga de combustible y aire -- que reduce la concentración de las emisiones durante el período de desaceleración.

8.2.3. Sistemas de inyección de aire.

Los sistemas de inyección de aire disminuyen las emisiones de CO mediante el suministro de una relación controlada de aire a baja presión en cada válvula de escape. El oxígeno - del aire reacciona con los gases calientes del escape resultando, posteriormente, una combustión adicional del CO.

8.2.4. Sistemas de combustión secundaria.

En este sistema, una mezcla rica de combustible es - quemada y una corriente secundaria de aire se agrega en el múltiple de escape para promover una oxidación del CO. Técnicamente la alta temperatura en el reactor del múltiple de escape -- ofrece un excelente control del CO. Los problemas asociados al uso de este sistema de control, son: la utilización de materiales resistentes a altas temperaturas que resulten económicos y el uso de controles sensitivos de temperatura para limitar la combustión del aire o para activar un dispositivo que desvie - el gas de escape como una medida de control de temperatura.

8.2.5. Sistemas de oxidación catalítica.

La oxidación catalítica tiene lugar cuando los gases de escape pasan a través de una cama de material catalítico activo. La oxidación del CO empieza a una temperatura mínima que depende del catalizador. Las mezclas ricas de salida conteniendo CO con un suministro secundario de aire mantienen la temperatura de operación más fácilmente que una mezcla pobre de escape que contenga oxígeno pero carezca de CO.

Los sistemas de oxidación catalítica para reducir -- las emisiones de CO están diseñados, actualmente, para tener un éxito regular en cuanto a su potencial técnico de control. La probabilidad de una oxidación catalítica es mayor en combustibles sin plomo, debido al efecto envenenante que éste tiene sobre el catalizador.

8.2.6. Limitación de potencia en los motores.

Considerando que mayor potencia implica mayor flujo de gas de escape y, por lo tanto, mayor contaminación, el limitar el caballaje en función del tipo de vehículo es una buena medida de control.

8.2.7. Correctores altimétricos.

Debido a que la altitud incrementa las emisiones de

CO, es preciso desarrollar y perfeccionar correctores altimétricos para el carburador, debido a que la ciudad de México se encuentra a más de 2000 m sobre el nivel del mar.

8.3. DESARROLLO DE OTROS SISTEMAS DE PROPULSION.

8.3.1. Turbina de gas.

En su forma más simple consiste de un compresor, de una cámara de combustión (combustor) y de una turbina.

El aire inducido es comprimido y enviado bajo presión al combustor, donde se adiciona la energía mediante la combustión directa del combustible que ha sido rociado dentro de la cámara. La combustión se lleva a cabo a presión constante. Parte del trabajo desarrollado por la turbina es utilizado para operar el compresor, siendo el restante el trabajo útil de salida.

Las emisiones de las turbinas de gas son menos densas en comparación a las producidas por motores de gasolina, de las máquinas que queman combustible, la turbina de gas se considera como una de las que tienen menor emisión.

8.3.2. Máquina Rankine o de vapor.

Es una máquina de combustión externa en la que el vapor a una presión elevada es expandido mediante una turbina o

de un expansor de desplazamiento positivo para producir trabajo.

Recientemente, se han desarrollado sistemas en el -- que el vapor de agua ha sido reemplazado por compuestos orgánicos de bajo punto de ebullición, como el freón por ejemplo.

Esta máquina produce aproximadamente el 1% de las -- emisiones que tienen lugar en un motor de gasolina.

8.3.3. Vehículo eléctrico.

Una alternativa al motor de combustión interna de gasolina es utilizar una fuente de potencia eléctrica.

Sin embargo, un automóvil impulsado sólo mediante -- una fuente de poder eléctrica no se considera una proposición práctica en la actualidad, debido a la baja potencia que ten-- dría y a las bajas velocidades que desarrollaría, su uso está limitado solamente a zonas urbanas.

8.3.4. Vehículo híbrido.

Una solución mejor que el vehículo totalmente eléc-- trico es el automóvil híbrido, o sea aquel que tiene una fuente de potencia eléctrica y otra producida por un motor de gasolina. La potencia eléctrica se utiliza en zonas urbanas en las

que el bajo límite de velocidad no es una gran desventaja, además, de que ayudaría a disminuir los altos índices de contaminación debidos a las emisiones producidas por vehículos de gasolina que funcionan a bajas velocidades. Fuera de las zonas urbanas donde se requieren altas velocidades, el vehículo puede ser operado mediante el motor de gasolina, siendo las emisiones en este caso pequeñas, debido a que a medida que se aumenta la velocidad las emisiones de CO decrecen.

8.3.5. Máquina stirling.

Es una máquina de combustión interna, en la cual la energía se suministra o se retira del fluido de trabajo que se encuentra en los cambiadores. El sistema emplea dos pistones, uno que no modifica el volumen del fluido, sino que sólo sirve para transportarlo o desalojarlo de los cambiadores de calor, el otro, permite al fluido tanto expandirse para producir trabajo como comprimirse antes del suministro de energía.

El nivel de emisiones de CO producido por ésta máquina es bajo, pero sin embargo, presenta desventajas en cuanto a volumen y peso, además de que algunos de sus componentes como el cambiador de calor y el radiador son bastante caros.

8.4. SISTEMAS DE COMBUSTIBLE GASEOSO.

La sustitución de la gasolina por hidrocarburos gaseosos ha sido estudiada exhaustivamente, proponiéndose como combustibles gaseosos sustitutos principalmente, el LPG (gas de petróleo licuado), LNG (gas natural licuado) y CNG (gas natural comprimido).

8.4.1. LPG.

El LPG está compuesto por una mezcla que contiene principalmente, propano y butano, en un rango de presión de 100 a 300 lbs/in² (psi) a temperatura ambiente. El uso del LPG como combustible requiere de un depósito presurizado y de un regulador de vaporización del sistema de carburación del LPG. La máquina y la operación de ésta, es comparable a la del motor de gasolina.

La operación con mezclas de combustible LPG ricas en aire, produce emisiones bajas de HC y NOx con un ligero incremento en las de CO pero menores a las del estandar Federal de Los Estados Unidos de 1968.

8.4.2. LNG-CNG.

El hidrocarburo predominante en el gas natural es el metano. Debido a que este gas es muy volátil (p.eb. - 250°F), su almacenamiento requiere de temperaturas bajas (criogénicas)

y de materiales aislantes, por otro lado, grandes cantidades - de metano pueden ser almacenadas mediante compresión a temperaturas ordinarias.

Pruebas realizadas en California demuestran que las emisiones de CO, HC y NOx de vehículos convencionales (encendido por bujías) alimentados con gas natural, son menores a las de cualquier estandar de Los Estados Unidos.

8.5. TECNICAS DE FLUJO DE TRANSITO.

Estas técnicas tienen como objetivo principal incrementar los promedios de velocidad existente en el sistema de - calles y avenidas.

8.5.1. Modificaciones en el uso de calles.

a) Calles de un sólo sentido.

El flujo de tránsito es en una sólo dirección, las - calles paralelas deben ser pareadas, de manera que den servi-- cios en ambas direcciones.

El propósito fundamental es eliminar los problemas - ocasionados por las vueltas a la izquierda y cruce de vehícu-- los en las intersecciones; eliminar los conflictos debidos al tránsito opuesto y hacer posible una mayor eficiencia en la -- progresión de señales. Sin embargo, ésta técnica presenta des-

ventajas, ya que ocasiona a ciertos vehículos recorridos más largos.

b) Carriles y calles reversibles.

Algunos carriles son designados para el movimiento en una dirección durante determinado período del día y en dirección opuesta a otras horas, dependiendo de la demanda de vehículos. Esta técnica es aplicable en puentes, túneles y arterias anchas.

c) Controles de vueltas.

La prohibición de vueltas en horas críticas de tránsito y la existencia de carriles especiales para efectuar vueltas a la derecha o izquierda es una medida que evita demoras en el tránsito.

d) Controles de sentido.

Con el propósito de reducir conflictos originados por el tránsito en dirección opuesta, vueltas a la izquierda y vueltas en U, es recomendable dividir las calles de doble sentido y vías rápidas mediante estructuras o líneas pintadas.

e) Señalización y marcas en el pavimento.

El objetivo de ésta técnica es proporcionar al conductor una información previa que le permita realizar una me---

por selección de los medios de tránsito existentes.

Estas técnicas incluyen: marcas longitudinales y --- transversales en el pavimento, prevención de vueltas y sali--- das, discos que indiquen condiciones de tránsito existentes en vías libres e informen de rutas alternativas en períodos de -- congestión.

f) Canalización.

Direccionar el tránsito en los carriles apropiados - para agilizar las corrientes de entrada y/o salida de vehícu-- los.

8.5.2. Modificación de las características físicas de la red - vial.

a) Control de carriles de estacionamiento.

Para aprovechar al máximo el número de carriles en - una calle es necesaria la existencia de controles que prohíban el uso de carriles de estacionamiento en áreas críticas, perma nentemente o bien, durante determinadas horas día solamente.

b) Ampliación de calles dentro del derecho de vía -- existente.

Esta técnica provee de espacio para ascenso y descenso de pasajeros de autobuses y algunas veces para carga y des-

carga de mercancía.

c) Ampliación de intersecciones.

Facilita el flujo de tránsito en estas zonas, que generalmente son sitios de congestión.

8.5.3. Controles para peatones.

a) Controles de cruce de peatones.

para coordinar el paso de vehículos y peatones.

b) Pasos elevados y subterráneos.

Construcciones permanentes que permiten el paso de peatones a través de la calle.

c) Barreras.

Cercados permanentes en los bordes de las aceras.

8.5.4. Regulación del flujo vehicular.

a) Sincronización de semáforos.

De las técnicas para mejorar el flujo de tránsito es ésta la más importante. En la práctica, la mayoría de los sistemas de semáforos no son controlados por computadora, sino que sus programas de operación se basan en estimaciones de flujo y promedios de velocidad. Debido a los requerimientos de tránsito existentes en la actualidad el mejoramiento de este

sistema mediante una sincronización controlada por computadora sería conveniente.

8.6. DESVIACION DEL TRANSITO.

En la mayoría de las grandes áreas urbanas existe -- una relativa gran proporción de vehículos de motor que no necesitan viajar a través del área central de la ciudad. El propósito de este inciso es proponer y examinar aquellas medidas -- que produzcan una disminución del volumen de vehículos que --- atraviesan esta zona, y por lo tanto, disminuir los niveles de concentración de contaminantes emitidos por éstos.

8.6.1. Rutas periféricas.

Su función principal es desviar el tránsito de la zo na urbana interna y distribuir el tránsito entre orígenes y -- destinos localizados en la periferia de la ciudad.

8.6.2. Anillos internos.

Situados en la periferia de la zona central, tienen como objetivo distribuir y agilizar el tránsito que entra y/o sale de esta área.

8.6.3. Signos y señales directivas.

Cuando las rutas periféricas no son posibles, los -- signos y señales son utilizados como medio para fomentar la --

desviación del tránsito de la zona central o de áreas que se -
espera esten congestionadas a determinadas horas.

8.6.4. Permisos especiales.

Otro medio para desviar el tránsito de zonas de alta
concentración de vehículos es el uso de permisos especiales. -
Los conductores sin este permiso deberán utilizar rutas de des-
viación que no pasen por estas áreas para llegar a su destino.

8.6.5. Cuotas de acceso.

Una posibilidad adicional es la implantación de cuo-
tas de paso a zonas céntricas. El uso de las rutas de desvia--
ción se vería fomentado por ésta medida.

8.7. MEJORAMIENTO DEL TRANSPORTE PUBLICO.

El mejoramiento del transporte público es necesario
pero no una condición suficiente para reducir el tránsito de -
vehículos de motor y por consiguiente las emisiones de monóxi-
do de carbono.

Es necesario, debido a que para disminuir el uso de
vehículos particulares se requiere de otros medios alternati--
vos de transporte substancialmente mejores y no es suficiente
ya que si estas mejoras no están acompañadas de otras medidas
que restringan el uso de vehículos de motor, su acción será re

lativamente moderada.

8.7.1. Sistemas de transporte colectivo.

a) Ampliación de los sistemas existentes (Metro).

Evita el uso de autobuses en gran porcentaje en corredores de alta densidad de producción y atracción de viajes.

b) Construcción de nuevos sistemas de transporte colectivo.

Dependiendo de estudios de factibilidad para su implementación, la construcción de otros sistemas colectivos de transporte como monorriel, tren de sustentación magnética o en colchon de aire podrían utilizarse en viajes interurbanos para trasladar gran cantidad de pasajeros con orígenes y destinos comunes alejados de la ciudad.

c) Utilización de la red férrea existente.

Una técnica sin explotar, no obstante que se tiene establecido el derecho de vía y la vía misma. Esta orientada a transportar grandes volúmenes de pasajeros con orígenes y destinos comunes en largas trayectorias con demanda (10-30 km) y coincidente en ciertas horas del día.

d) Mejoras en el servicio y operación.

El uso de estos sistemas de transporte colectivo se

incrementaría considerablemente adoptando medidas, como: tarifas reducidas, limpieza, frecuencia adecuada y disponibilidad de estacionamientos.

8.7.2. Sistema de autobuses de pasajeros.

a) Reestructuración del sistema existente.

El flujo de tránsito se vería mejorado por una planeación adecuada del transporte que optimizará frecuencia de unidades, velocidad promedio, paradas para ascenso y descenso de pasajeros, etc.

b) Carriles confinados.

Esta técnica produce un considerable aumento en la velocidad promedio de ruta y evita conflictos con vehículos particulares.

8.7.3. Sistema de vehículos de alquiler.

La planeación de las rutas de vehículos de alquiler colectivos, así como la implantación de regulaciones a aquellos que tienen rutas flexibles es una medida necesaria para mejorar las condiciones de tránsito en el área de estudio.

8.7.4. Sistema de aventón organizado. (Carpools).

Sistema mediante el cual se incrementa la densidad de pasajeros por automóvil particular, es factible de realizar

se en personas que tienen orígenes y destinos similares, generalmente viajes al trabajo. La adaptación de este sistema presenta ventajas como: reducir el volumen de vehículos particulares y gastos debidos a estacionamiento y combustible.

8.8. RESTRICCIONES A VEHICULOS DE MOTOR.

En este inciso se analizan varias medidas que tienen como propósito reducir el uso de vehículos de motor en áreas de gran contaminación, el término restricciones, consiste en control de estacionamiento y de acceso.

8.8.1. Regulación de estacionamiento.

Limitación de estacionamiento en calles comprendidas en zonas de alta contaminación y creación de estacionamientos públicos en la periferia de estas zonas.

8.8.2. Estacionómetros.

Implantación de cuotas mediante estacionómetros en arterias que sea factible el estacionamiento.

8.8.3. Cuotas de acceso.

Cobro de cuotas por el acceso a zonas con alto índice de contaminación.

8.9. CAMBIO EN LOS HORARIOS DE TRABAJO.

La modificación de las jornadas de trabajo como una técnica de control, se justifica por las siguientes razones: - distribuye gran cantidad de viajes individuales en diversas horas y además reduce los congestionamientos debidos a viajes en una misma hora por motivos de trabajo.

8.9.1. Escalonamiento de horas de trabajo.

El cambio en el horario de trabajo evitando que la entrada y la salida sean en horas pico provoca una distribución del tránsito en diferentes horas.

8.9.2. Semanas de trabajo de cuatro días.

Sin modificar las horas de trabajo a la semana, esta medida proporciona una reducción de los viajes-trabajo/semana en un 20%. La reducción diaria depende de la rotación en la semana de los cuatro días de trabajo.

La tabla 8.1 resume el impacto de las estrategias de control mencionadas a través de este capítulo, sobre los patrones de viaje de la población y emisiones de monóxido de carbono producido por vehículos de motor ligeros, (peso bruto menor de 6,000 libras o con capacidad máxima de 12 pasajeros).

TABLA 8.1

IMPACTO DE LAS ESTRATEGIAS DE CONTROL DE MONOXIDO DE CARBONO SOBRE LOS PATRONES DE VIAJE DE LA POBLACION Y EMISIONES PRODUCIDAS POR VEHICULOS DE MOTOR				
ESTRATEGIAS DE CONTROL	IMPACTO SOBRE PATRONES DE VIAJE			REDUCCION DE EMISIONES DE MONOXIDO DE CARBONO
	DISTRIBUCION POR MEDIO DE TRANSPORTE	GENERACION DE VIAJES	PATRONES ORIGEN-DESTINO	
INSPECCION-MANTENIMIENTO	NO CAMBIA	NO CAMBIA	NO CAMBIAN	10 a 25 %
TECNICAS PARA MEJORAR LA COMBUSTION	NO CAMBIA	NO CAMBIA	NO CAMBIAN	10 a 25 %
OTROS SISTEMAS DE PROPULSION	NO CAMBIA	NO CAMBIA	NO CAMBIAN	-
SISTEMAS DE COMBUSTIBLE GASEOSO	NO CAMBIA	NO CAMBIA	NO CAMBIAN	15 %
TECNICAS DE FLUJO DE TRANSITO	NO CAMBIA	POSIBLE <u>IN</u> CREMENTO	NO CAMBIAN	20 %
DESVIACION DEL TRANSITO	NO CAMBIA	POSIBLE INCREMENTO	NO CAMBIAN	5 %
MEJORAMIENTO DEL TRANSPORTE PUBLICO	CAMBIA	NO CAMBIA	NO CAMBIAN	5 %
RESTRICCIONES A VEHICULOS DE MOTOR	CAMBIA	POSIBLE REDUCCION	CAMBIAN	5 a 25 %
CAMBIOS DE HORARIO DE TRABAJO	CAMBIA	POSIBLE REDUCCION	CAMBIAN	3 %

9

conclusiones

Algunas ciudades han llegado a ser tan grandes que cualquier vestigio de autosuficiencia que alguna vez hayan tenido ha desaparecido desde hace mucho tiempo. Para funcionar, han confiado exclusivamente en un sistema de transporte muy completo que mueve gente, materias primas, bienes y servicios, pero que también es responsable de muchos de los problemas urbanos que amenazan el sistema que soportan.

El Area Metropolitana del Valle de México presenta las características de este tipo de megalópolis. Gradualmente su capacidad de absorción de vehículos ha sido saturada, ocasionando múltiples problemas de tránsito, y éstos aunados a las condiciones fisiográficas de la zona han provocado un nivel de emisiones de gases bastante elevado, degradando nuestro medio ambiente.

Los resultados proporcionados por el modelo de emisión de monóxido de carbono presentados en la distribución geográfica de las emisiones, nos conducen en forma preliminar a concluir que el problema de la contaminación producida por vehículos de combustión interna radica básicamente en la gran cantidad de automóviles, autobuses y camiones que circulan en el área, y que la solución puede ser:

- Menos vehículos contaminantes, (sustitución por vehículos eléctricos, etc.).
- Reducción de las emisiones de cada vehículo (dispositivos de control).
- Menos vehículos en la misma área a la misma hora - (restricciones al tránsito).
- Combinaciones de éstos.

Sin embargo, el análisis es más difícil que la descripción dada anteriormente, esencialmente debido a que la contaminación del aire y las soluciones propuestas:

- Involucran personas y tecnologías, además de complejas interacciones entre ellos.
- Afectan directamente a gran número de personas en múltiples formas.
- Acarrear costos a consumidores que podrían llegar a ser demasiado elevados.
- Involucran tecnología sobre cuyo funcionamiento y economía no se tiene una certeza total.

La contaminación producida por vehículos de combustión interna, de este modo, resulta debido no sólo a la tecnología sino a una interacción entre factores sociales, económicos y tecnológicos.

Pudiera parecer mas fácil concentrarse en soluciones puramente tecnológicas debido a que la tecnología es mas susceptible de modificar o cambiar en forma más controlable que los factores sociales y económicos, pero debido a la naturaleza del problema, la docilidad de la tecnología es relativa; -- los cambios tecnológicos interaccionan con las consideraciones económicas y sociales.

La tecnología de control de la contaminación esta sujeta, por lo tanto a la evaluación por criterios económicos y sociales, y sujeta también a limitaciones por un complejo de restricciones sociales e institucionales. Más aún, donde las posibilidades tecnológicas de control funcionan los costos y el tiempo de desarrollo son inciertos, esta incertidumbre debe ser interpretada a la luz de sus posibles implicaciones económicas y sociales.

A continuación se ha desarrollado una evaluación de diversas estrategias, desde el punto de vista de sus beneficios, así como de sus dificultades de implementación. Se han considerado para el efecto de los beneficios, de una manera -- global, las bondades que cada estrategia representa en cuanto a la disminución de emisiones. A la factibilidad de implementación se le ha clasificado en técnica, social y económica.

Las estrategias que se proponen a continuación han sido analizadas desde cada uno de los puntos de vista y se les ha calificado gradualmente. La calificación utilizada es positiva, de modo tal que aquella que obtenga mayor calificación será considerada de acuerdo a nuestro criterio, como la mejor.

Las estrategias propuestas para el caso que nos ocupa se orientan a modificaciones en el uso de suelo, de los movimientos de bienes, servicios y personas, de la red vial y de los vehículos.

ESTRATEGIAS

- A. Cambios al uso de suelo eliminando de la zona los principales centros generadores de viajes.
 - A1.- Relocalizar centrales de abastos.
 - A2.- Relocalizar oficinas gubernamentales.
 - A3.- Relocalizar centros educativos.

- B. Conservar dichos centros generadores modificando el uso de medio de transporte y/o la distribución horaria de viajes.
 - B1.- Aumento de la eficiencia de los sistemas de transporte colectivo.
 - B2.- Restricción de acceso a determinadas zonas a los automóviles particulares, dotando de un sistema adecuado -

de estacionamiento en los puntos posibles de transbordo.

B3.- Escalonamiento de los horarios de operación de los diferentes centros generadores.

C. Conservar dichos centros generadores mejorando la fluidez del tránsito.

C1.- Construcción de vías rápidas.

C2.- Vías de uso exclusivo para sistemas de transporte colectivo.

C3.- Regulación del flujo de tránsito.

D. Conservar el sistema actual disminuyendo las emisiones de los vehículos en circulación.

D1.- Inspección - mantenimiento.

D2.- Dispositivos de control.

D3.- Otros sistemas de propulsión.

ESTRATEGIA	BENEFICIOS	FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACION			TOTAL
		TECNICA	SOCIAL	ECONOMICA	
USO DEL SUELO					
A1.	04	04	03	03	14
A2.	03	03	07	04	17
A3.	02	05	02	05	14
MOVIMIENTOS					
B1.	05	07	12	07	31
B2.	07	10	01	09	27
B3.	01	12	08	12	33
RED VIAL					
C1.	06	02	04	02	14
C2.	08	11	06	10	35
C3.	11	08	11	11	41
VEHICULOS					
D1.	09	09	09	08	35
D2.	10	06	10	06	32
D3.	12	01	05	01	19

De la evaluación realizada se observa que existen -- seis estrategias con una calificación mayor a los 30 puntos y que por lo tanto, su desarrollo podría ser favorable. Estas -- son en orden decreciente:

- Regulación adecuada del flujo de tránsito.
- Inspección y mantenimiento mediante afinaciones periódicas a los vehículos.
- Utilización de vías confinadas para transporte pú- blico urbano de superficie.
- Escalonamiento de horarios de trabajo.
- Adaptación de dispositivos de control de emisiones a vehículos.
- Mejoramiento del transporte público urbano.

Es necesario hacer notar que la aplicación de estas estrategias en forma combinada produciría efectos mas favora-- bles que si éstas fueran llevadas a la práctica en forma aislada y que para una mejor determinación de sus beneficios, es necesario simular cada una de estas estrategias y las combinaciones de éstas, utilizando el modelo matemático desarrollado y - un banco de datos más apropiado.

Siempre que la interacción de los factores ambientales sea bien entendida, la tecnología puede facilitar el camino y conducir a la resolución de los conflictos potenciales entre el hombre y su medio ambiente.

El sistema de transporte puede ser ajustado dentro de la naturaleza del medio ambiente con un mínimo de efectos adversos si desarrollamos una sensibilidad ecológica que proporcione al medio ambiente algunos derechos básicos.

Si estos derechos son protegidos y si la tecnología nos -- brinda los medios disponibles, podremos coexistir con la -- naturaleza. Pero si continuamos ignorando las demandas modestas que nuestro medio ambiente nos hace por su uso, entonces toda la tecnología que podamos idear no será suficiente para solucionar los problemas que habremos generado.

bibliografía

1. Fundamental Ecology.
A.S. Boughey.
Intext Educational Publishers.
1972.
2. Man and the Environment.
A.S. Boughey.
The Mac Millan Company.
1972.
3. Environment and Man.
R.H. Wagner.
W.W. Norton.
1974.
4. Air Pollution Primer.
National Air Conservation Commision.
U.S. National Tuberculosis and Respiratory Disease Assoc.
1971.
5. The Automobile and the Regulation of its Impact on the Environment.
F.P. Grad, J.R. Rosenthal, and Others.
University of Oklahoma Press-Norman.
1974.
6. Motor Vehicles, Air Pollution, and Health.
Public Health Service. Division of Air Pollution.
U.S. Department of Health, Education, and Welfare.
1962.
7. Motor Vehicle Air Pollution Control.
The Institution of Mechanical Engineers.
Bird Cage Walk, London.
1968.
8. Air Quality Criteria for Carbon Monoxide.
Public Health Service. Division of Air Pollution.
U.S. Department of Health, Education, and Welfare.
1970.
9. La Industria y la Contaminación del Aire.
R.D. Ross.
Diana.
1974.

10. Distribution and Effects of Automotive Exhaust Gases in Los Angeles.
G.P. Larson.
S.A.E. Technical Progress Series.
1955.
11. Rapid Survey Technique for Estimating Community Air Pollution Emissions.
G.O. Ozolins, and R. Smith.
U.S. Department of Health, Education, and Welfare.
1966.
12. Motor Vehicle Exhaust-Emissions. Gary, Indiana.
C.R. Rehmann.
National Center for Air Pollution Control Publication.
1968.
13. Comparison of Auto Exhaust Emissions in Two Major Cities.
A.H. Rose, Jr., R. Smith, W.F. McMichael, and R.E. Kruse
Journal of the Air Pollution Control Assoc.
1965.
14. An Air Pollution Model of Los Angeles. (Masters Thesis).
R.G. Lamb.
University of California L.A.
1968.
15. Mathematical Modeling of Photochemical Air Pollution. II. A Model and Inventory of Pollutant Emissions.
P.M. Roth, J.W. Roberts, and Mei-KaoLin.
Atmospheric Environment and International Journal.
1974.
16. A Comparison of Automotive Emissions in Cities at Low and High Altitudes.
W.F. McMichael and A.H. Rose, Jr.
Journal of the Air Pollution Control Assoc.
1965.
17. Evaluación de las emisiones de gases por el escape provenientes de vehículos automotores nuevos que usan gasolina como combustible. DGN-AA-11-1975.
Diario Oficial 4 de Julio.
1975.

18. An Investigation of Emissions from Trucks Above 6000 lb-GVW Powered by Spark Ignited Engines.
K.J. Springer.
U.S. Department of Health, Education, and Welfare.
1969.
19. Morning Vehicle-Start Effects of Photochemical Smog.
J.R. Martínez, R.A. Nordsieck, and A.Q. Eschenroeder.
Environmental Science Technology.
1973.
20. Compilation of Air Pollutant Emission Factors.
Office of Air Programs.
U.S. Environmental Protection Agency.
1973.
21. A Method for Estimating and Graphically Comparing the Amount of Air Pollution Emissions Attributable to Automobiles, Buses, Commuter Trains, and Rail Transit.
J.W. Scheel.
Society of Automotive Engineers.
1972.
22. Seminar on Air Pollution from Motor Vehicles.
J.H. Ludwig.
U.S. Environmental Protection Agency.
1972.
23. Automotive Smog Control Manual.
H.T. Gleen.
Cowles Education Corporation.
1968.
24. Control Techniques for Carbon Monoxide, Nitrogen Oxide, and Hydrocarbon Emissions from Mobile Sources.
Environmental Health Service.
U.S. Department of Health, Education, and Welfare.
1970.
25. Proceedings of Symposium on Multiple Source Urban Diffusion Models.
A.C. Stern.
U.S. Environmental Protection Agency.
1972.

26. Carbon Monoxide in the Atmosphere.
R.C. Robbins, K.M. Borg, and E. Robinson.
Journal Air Pollution Control Assoc.
1968.
27. The Composition of Exhaust Gases from Diesel, Gasoline,
and Propane Powered Motor Coaches.
M.A. Elliot, G.J. Nebel, and F.G. Rounds.
Journal Air Pollution Control Assoc.
1968.
28. Engine Variables and Their Effects on Exhaust Gas
Composition.
J.M. Chandler.
Journal Air Pollution Control Assoc.
1955.
29. Lead, Carbon Monoxide and Traffic, A Correlation Study.
R.S. Brief, A.R. Jones, and J.D. Yoder.
Journal Air Pollution Control Assoc.
1960.
30. A Preliminary Study of Modeling the Air Pollution
Effects from Traffic Engineering Alternatives.
F.L. Ludwig, R.C. Sandys, and A.E. Moon.
Journal of the Air Pollution Control Assoc.
31. The Automobile and Air Pollution (Part I & Part II)
Panel on Electrically Powered Vehicles.
U.S. Department of Commerce.
1967.
32. Emissions Prediction and Control Strategy: Evaluation of
Pollution from Transportation Systems.
R.E. Wendel J.E. Norco, and K.G. Croke.
Journal of the Air Pollution Control Assoc.
1973.
33. Evaluating Transportation Controls to Reduce Motor
Vehicle Emissions in Major Metropolitan Areas.
Office of Air Quality Planning and Standards.
U.S. Environmental Protection Agency.
1972.