



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES *ZARAGOZA*

CARRERA DE BIOLOGIA

PROYECTO DE TESIS

"DISTRIBUCION DE LAS EMISIONES POR FUENTES MOVILES DE MONOXIDO DE CARBONO
Y OXIDOS DE NITROGENO EN UNA ZONA PILOTO, COMO PRIMERA APROXIMACION A UN
INVENTARIO DE EMISIONES"

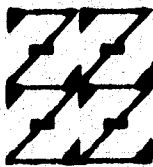
ÁREA: CONTAMINACIÓN.

PRESENTA: PATRICIA CARBAJAL ROMERO.

DIRECTOR DE TESIS: ING. AMB. EMMANUEL GONZÁLEZ ORTIZ
GERENCIA DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

ASESOR INTERNO: BIOL. MARICELA ARTEAGA MEJIA
LAB. DE INVESTIGACION Y DESARROLLO TECNOLÓGICO, FES-Z.

U N A M
F E S
Z A R A G O Z A



LO MUY BUENO. P. 28
DE NUESTRA REFLEXION

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México, D.F.

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICO ESTA TESIS A MI MADRE:

Sra. Concepción Romero Hernández

A quién debo todo lo que soy.

Gracias a su apoyo, amor y comprensión pude lograr uno de mis objetivos primordiales. Su confianza y dedicación lograron gran parte de mi desarrollo personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

En especial quiero agradecer a los Ingenieros Emmanuel González Ortiz por su asesoría, colaboración e incondicional respaldo por quien obtuve gran parte de mi formación profesional; y al Ing. Rogelio Ajuria Garza por sus consejos y ayuda personales para no dejarme vencer en los momentos más críticos de mi desarrollo.

Agradezco al Instituto Mexicano del Petróleo las facilidades prestadas para el feliz término de la presente tesis, en especial al Dr. Francisco Guzmán Lopez-Figueroa, Subdirector de Protección Ambiental y a la Dra. Ma. Esther Ruiz Santoyo, Gerente de Ciencias del Ambiente por su apoyo, atenciones y consejos.

Así mismo, agradezco a mis compañeros de trabajo Enedina del Carmen y Víctor Armando por su constante respaldo y ánimo para llegar a término mi trabajo de tesis, al igual que a Julio y José Luis por su comentarios e impulso.

También agradezco a todas las personas que de alguna u otra forma colaboraron en la realización de éste trabajo.

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
CAPITULO I.-ANTECEDENTES.	4
CAPITULO II.-MARCO TEORICO.	6
II.a.- Composición del aire y lista de contaminantes.	6
II.b.- Contaminación de ecosistemas en la ciudad de México.	7
II.c.- Fuentes de emisión de contaminantes del aire.	9
II.c1.- Contaminantes primarios a partir de fuentes fijas.	11
II.c2.- Contaminantes primarios a partir de fuentes móviles.	12
II.d.- Inventario de emisiones.	13
II.d1.- Inventario total.	14
II.d2.- Inventario de reconocimiento rápido.	14
II.d3.- Inventario integral.	15
II.e.- Factores de emisión.	16
II.e1.- Pruebas en laboratorio de dinamómetro.	17
II.e2.- Modelos para factores de emisión.	20
II.e2.i.-Mobile-4.	20
II.e2.ii.-Mobile-MCMA.	21
II.f.- Efecto de los contaminantes primarios en la salud.	23
II.f1.- El monóxido de carbono (CO).	23
II.f1.i.- Efectos provocados por el CO.	24
II.f2.- Los óxidos de nitrógeno (NOx).	25
II.f2.i.- Efectos provocados por los NOx.	27
II.f3.- Los óxidos de azufre (SOx).	28
II.f3.i.- Efectos provocados por los SOx, en plantas.	29
II.f3.ii.- Efectos provocados por los SOx, en el hombre.	29
II.f3.iii.- Efectos provocados por los SOx, en materiales.	30
II.f4- Las partículas suspendidas totales (PST).	30
II.f4.i.- Efectos provocados por las PST.	31

II.f5.- Los hidrocarburos y oxidantes fotoquímicos.	32
II.f5.i.- Efectos provocados por los HC.	34
II.g.- Normatividad de la calidad del aire.	35
CAPITULO III.- OBJETIVOS.	36
CAPITULO IV.- METODO.	37
IV.a.- Desarrollo.	37
IV.a1. Recopilación bibliográfica.	37
IV.a2. Determinación de la zona piloto.	37
IV.a3. Descripción de la zona piloto.	37
IV.a3.i. Reconocimiento de la zona.	37
IV.a3.ii. Area de las vías de tránsito.	37
IV.a4. Variables vehiculares.	38
IV.a5. Cálculo de emisiones.	38
IV.a6. Distribución.	38
IV.b.- Resultados.	39
IV.b1. Recopilación bibliográfica.	40
IV.b2. Determinación de la zona piloto.	43
IV.b3. Descripción de la zona piloto.	44
IV.b3.i. Reconocimiento de la zona.	44
IV.b3.ii. Area de las vías de tránsito.	47
IV.b4. Variables vehiculares.	48
IV.b5. Cálculo de emisiones.	49
IV.b6. Distribución.	50
CAPITULO V- ANALISIS DE RESULTADOS.	53
V.1. Recopilación bibliográfica.	53
V.2. Determinación de la zona piloto.	55
V.3. Descripción de la zona piloto.	55
V.3.i. Reconocimiento de la zona.	55
V.3.ii. Area de las vías de tránsito.	56
V.4. Variables vehiculares.	56

Inventario de emisiones

V.5. Cálculo de emisiones.	57
V.6. Distribución.	58
CONCLUSIONES.	60
RECOMENDACIONES.	61
REFERENCIAS.	62
ANEXO 1.- DESCRIPCION GRAFICA DE LA ZONA PILOTO.	65
ANEXO 2.- CARACTERISTICAS DE LA ZONA PILOTO.	74
ANEXO 3.- MEMORIA DE CALCULO.	78
ANEXO 4.- COMPARACIÓN DE LAS EMISIONES DE VEHÍCULOS MEXICANOS CONTRA LOS VEHÍCULOS DE ESTADOS UNIDOS OBTENIDOS CON EL MODELO MOBILE-MCMA.	81

RESUMEN

En la Zona Metropolitana de la ciudad de México (ZMCM) se encuentran concentradas más de 30 mil industrias, 12 mil establecimientos de servicio y más de 3.5 millones de vehículos automotores (PICCA, 1990), con emisiones significativas al aire lo cual deteriora la calidad de su aire y de sus ecosistemas. Para remediar estos problemas es necesario, en primer lugar, evaluar la cantidad de emisiones hacia la atmósfera y detectar las fuentes principales o de mayor contribución, ya sean fijas o móviles.

En la presente tesis se actualiza la distribución de emisiones de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno en la delegación Iztacalco como zona piloto porque es la que resultó más representativa del Distrito Federal. La metodología empleada se tomó del informe presentado en 1988 por la Agencia Internacional de Cooperación Japonesa (agencia oficial responsable de implantar planes de cooperación técnica del Gobierno Japonés, referida con abreviaturas en inglés como JICA), para estimar las emisiones en la zona piloto.

Se realizó un estudio socioeconómico de la zona de estudio, se determinaron las características viales y se identificaron en un mapa a escala que fue dividido por Km²; por otro lado se determinaron las variables necesarias para determinar el volumen de emisión por Km² para finalmente distribuirlo de acuerdo con el mapa enrejillado.

La distribución de emisiones resultante fue comparado con el presentado por JICA encontrando diferencias significativas, tanto en el volumen de emisiones como en la distribución. Con esto se pudo concluir que es necesario tomar en cuenta las zonas socioeconómicas, en especial las áreas verdes.

INTRODUCCION.

La intensidad sobre el uso del suelo y las diferentes actividades que se realizan con más de 3.5 millones de vehículos automotores (PICCA, 1990), mantienen un incremento en la contribución de contaminantes; lo cual deteriora, día con día, la calidad del aire y de los ecosistemas que componen la Ciudad de México.^(Mexico City Government, 1991)

Para poder mejorar la calidad del aire y en consecuencia reducir la concentración de los contaminantes en él; así como tomar las medidas pertinentes a éste propósito es necesario, en primer lugar, evaluar la cantidad de emisiones hacia la atmósfera y detectar las fuentes principales o de mayor contribución, ya sean fijas o móviles, por medio de los llamados inventarios de emisiones.

Los inventarios de emisión son evaluaciones que se realizan para identificar el volumen y la distribución de las emisiones tanto por fuentes fijas como por fuentes móviles. Estas evaluaciones toman en consideración las características propias de la fuente tales como ubicación, tipo de contaminante y las características típicas de la zona que se quiera estudiar. Dentro de éstas se incluyen: división de zonas socioeconómicas, principales vías de tránsito y densidad poblacional.^(Siem, 1980)

Hay tres tipos de inventarios de emisiones contaminantes que se sustentan en la producción de éstas. Los estudios que incluyen las emisiones en promedio anual son la estimación total (GROSS) y el reconocimiento rápido; el inventario integral engloba la producción anual, estacional, diaria u horaria del promedio de emisiones. Sin embargo, la inversión para desarrollar los inventarios de emisiones es alta cuando se contrata a empresas extranjeras; la asimilación de la tecnología es lenta y por lo tanto su aplicación es tardía. Se requiere pues, una metodología relativamente barata, de fácil entendimiento y manejo.

Al establecer un método propio para el inventario de emisiones permite reducir los costos al no tener que recibir ayuda de otros países, así como poder aplicar criterios sustantivos que faciliten la caracterización de la zona en estudio y llevar a cabo su evaluación en corto o mediano plazo.

En los estudios para evaluar la contaminación atmosférica^(Bahlmann, 1992; JICA, 1988) el tipo de inventario usado es la estimación total (GROSS).

Esta estimación total se utiliza en la presente tesis con el fin de actualizar y comparar el inventario de emisiones, ahora disponible, de la Agencia Internacional de Cooperación Japonesa (JICA). Por consiguiente; se realiza en primer lugar una revisión de lo que es el aire, la contaminación de éste, las fuentes de emisión contaminante, los inventarios de emisiones, los factores de emisión, y los efectos de los contaminantes primarios, que incluye al monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx), el dióxido de azufre, las partículas suspendidas totales, los hidrocarburos así como la Normatividad en la Ciudad de México.

Después, se lleva a cabo un seguimiento de las actividades de la JICA que incluye; una revisión bibliográfica para determinar y describir la zona de estudio (zona piloto); un ajuste de las variables vehiculares que reportó la JICA a la zona piloto y el cálculo de las emisiones. Finalmente se realiza la distribución de las emisiones por kilómetro cuadrado en la zona piloto, para compararlo con el que reportó la JICA.

CAPÍTULO I.-ANTECEDENTES.

Hasta 1987, en México, los inventarios de emisión generalmente se hacían comparando el tipo de combustible y el tipo de fuente (industrias, automóviles y natural), con relación al gasto de combustible.^(SEDUE, 1988)

A raíz de la creación de "Las 21 medidas de Febrero de 1986", "Las 100 acciones en materia de ecología" publicada en 1987 y "La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente"^(Leyes y Códigos de México, 1986) se hizo necesario contar con una evaluación de la contaminación en México y principalmente de un inventario confiable y continuo de las emisiones, tanto por fuentes móviles y fijas, en especial para la ZMCM.

Por esta razón y con la creación de la Comisión Nacional de Ecología (integrada por SEDUE, DDF, Estado de México y PEMEX), el DDF solicitó a la Agencia Internacional de Cooperación Japonesa (abreviado en inglés como JICA), la conducción de un estudio para evaluar la calidad del aire en el Distrito Federal.^(JICA, 1988)

En respuesta, en 1987, la JICA inició una serie de estudios dentro de los cuales incluyó el desarrollo de un inventario de emisiones (para fuentes fijas y móviles). En el informe "The Study on Air Pollution Control Plan in the Federal District" se incluyó un inventario que fue realizado distribuyendo las emisiones dentro del área metropolitana para cada uno de los siguientes contaminantes: monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos (HC) y partículas suspendidas totales (PST); según el tipo de fuente de emisión.^(op. cit.)

Para 1990 el DDF preparó un inventario de emisiones, que se fundamentó en los resultados expuestos por JICA, con los factores de emisión del Manual de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos -USEPA (AP/12)- para las fuentes (fijas y móviles), utilizando la información que se obtiene de los censos relacionada al tipo de actividad, las emisiones y la producción.^(PICCA, 1990) Se estimaron las emisiones anuales de los cinco contaminantes de forma global para el Distrito Federal. Hasta ahora éste último inventario se ha utilizado en diversos estudios.^(Banco Mundial, 1990; PICCA, 1990) sin modificación alguna.

Finalmente, en 1992 el D.D.F., dentro de un Programa a Corto Plazo, solicitó al TÜV Rheinland de Alemania, ^(Bahmann, 1992) (Instituto para la Protección Ambiental y Tecnología de la Energía) la realización de un estudio detallado sobre inventario de emisiones por fuentes móviles para la ZMCM que actualmente se encuentra en proceso final. En esta tarea se realizan varias actividades que no se incluyen en trabajos anteriores: descripción explícita del tránsito por zonas, impresión y delineación gráfica de las zonas enrejilladas y un censo detallado de los vehículos por zonas.

CAPÍTULO II.- MARCO TEORICO

II.a.- Composición del aire y lista de contaminantes.

El aire es una serie de componentes gaseosos y partículas que se presentan en la atmósfera de forma natural y como parte integral de ésta^(Lacy, 1993). Wark, 1992 reporta que el aire puro seco está constituido por una mezcla de componentes gaseosos vistos en el cuadro 1.

Cuadro 1. Composición química del aire atmosférico seco.

Sustancia	Volumen (en porcentaje)	Concentración (ppm*)
Nitrógeno (N ₂)	78.08%	780,900
Oxígeno (O ₂)	20.95%	109,400
Argón (Ar)	0.93%	9,300
Dióxido de carbono (CO ₂)	0.033%	315
Neón (Ne)		18
Helio (He)		5.2
Metano (CH ₄)		1.2
Criptón (Kr)		0.5
Hidrógeno (H ₂)		0.5
Xenón		0.08
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)		0.02
Ozono (O ₃)		0.01 - 0.04

Fuente: Wark y Warner 1992. Tomado de Handbook of air Pollution, Publicaciones PHS AP-44 (190-247), 1968

* ppm es una abreviatura de partes por millón.

Pero además señala que: "El aire atmosférico contiene también de 1 a 3 por ciento en volumen de vapor de agua y trazas de dióxido de azufre, formaldehído, yodo, cloruro de sodio, amoníaco, monóxido de carbono, metano y un poco de polvo y polen." ^(Wark, 1992)

Se considera aire contaminado cuando toda materia y/o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, altere o modifique la composición y condición natural de la atmósfera, de manera que puedan provocar efectos nocivos a la salud humana y/o deterioro de los bienes de uso y el paisaje^(Schindler, 1978). La contaminación del aire se produce principalmente por la combustión de carburantes fósiles como gasolina, diesel, gasóleo, gas natural. Cuando ocurre la combustión perfecta o teórica, el hidrógeno y el carbono de éstos se combinan con el oxígeno del aire para producir calor, luz, bióxido de azufre y vapor de agua; pero las impurezas del combustible, por una incorrecta combustión y/o temperaturas demasiado altas o demasiado bajas producen compuestos, todos ellos contaminantes primarios del aire, tales como: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), y partículas suspendidas totales (PST)^(Wark y Warner, 1992)

Los contaminantes secundarios se producen a partir de reacciones fotoquímicas entre dos o más contaminantes primarios, en especial óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. Los principales son: el ozono (O_3), uno de los promotores de los llamados radicales libres* en la atmósfera, que conllevan a más reacciones fotoquímicas; los oxidantes fotoquímicos como el nitrato de peroxiacetilo (PAN) y el nitrato de peroxibencilo (PBN) tienen la capacidad de retener en su estructura, moléculas de NO_2 y dispersarlas hasta lugares donde antes no se encontraban. (Astigarraga, et al., 1995).

Seinfeld (1978), menciona que: "Se ha reconocido que la contaminación del aire producida por fuentes naturales; como las erupciones volcánicas, los incendios forestales, la descomposición de biomasa y tormentas de polvo; son mucho mayores que las producidas por el hombre.

La atmósfera se puede limpiar por sí sola mediante la precipitación, oxidación y absorción en los océanos y el suelo, si se le da el tiempo suficiente. Sin embargo, los contaminantes antropogénicos se concentran en regiones relativamente pequeñas y densamente pobladas donde la tasa a la que se descargan los contaminantes excede a veces la capacidad de limpieza de la atmósfera".

II.b.- Contaminación de ecosistemas en las ciudades

Hay diferentes tipos de contaminación atmosférica, la cual es producida por las industrias y los vehículos automotores, que son de gran importancia para la vida de las plantas, y mucho se ha escrito sobre los efectos perjudiciales para el hombre. La lluvia limpia el aire de estas sustancias, pero esto sólo transfiere las sustancias contaminantes al suelo, arroyos, lagos y estuarios. La vegetación ejerce un efecto muy apreciable en la purificación del aire, ya que absorbe dichas sustancias, pero esto conduce a la sustitución de las plantas de cultivo y ornamentales por especies cuyo principal valor sea la tolerancia a la contaminación. (Daubechire, 1986).

De acuerdo con Riva, Valverde y Aguilar; el ecosistema de la cuenca de México ha sido alterado por el crecimiento demográfico y urbano. El crecimiento industrial y de transportes, la deforestación inmisericorde, la desecación de sus lagos y la explotación de materiales de construcción, entre otros factores, que lo han transformado en lo que algunos autores han denominado ecosistema urbano negativo o antiecosistema. (ODF, 1990).

* Radicales libres: Son moléculas con alta cantidad de energía y que contienen un electrón libre

Factor importante para la ecología de la cuenca de México es el sistema montañoso que la rodea: La ciudad de México se localiza en la porción meridional de la aliplanicie mexicana, en la región denominada cuenca de México.^(DDF, 1990).

La cuenca es una región geográfica rodeada de sierras, constituye una cuenca cerrada o endorréica*. Esta se encuentra limitada hacia el norte por las sierras de Tezontlalpan, Tepotzotlán y Pachuca que se caracteriza por ser las menos elevadas, pues solo alcanzan alturas máximas de 3000 msnm.^(DDF, 1990).

Al sur se elevan las sierras del Ajusco y de Chichinautzin que tienen una altitud de 3800 y 3900 msnm. En el oriente, el límite está constituido por la sierra Nevada, en donde sobresalen, por su altitud, los picos nevados del Popocatepetl y del Iztaccihuatl con 5747 y 5286 msnm, respectivamente. Por último, al poniente, se localizan las sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo de hasta 3600 msnm. Todas estas sierras tienen en común su origen volcánico.^(DDF, 1990) A pesar que en el interior de la cuenca el relieve es básicamente suave, presenta algunas elevaciones de relativa altura, entre las que destacan las sierras de Guadalupe, al norte del Distrito Federal y Santa Catarina en la porción sudoriental de esta misma entidad federativa.^(DDF, 1990).

Para poca fortuna de los habitantes de la urbe dominan los vientos del noroeste que entran por el corredor Tula-Mixcoac, área altamente industrializada y con bancos de extracción de materiales de construcción, jalando después las emisiones de los giros industriales localizados en Naucalpan, Atizapán, Tlalnepantla, Cuautitlán, Azcapotzalco, Coacalco y San Cristobal Ecatepec. Otro aspecto natural que más consecuencias ha tenido en la vida de la ciudad es que se comporta como una olla que impide la salida de los contaminantes.^(DDF, 1990).

En los meses de febrero a agosto, los vientos alcanzan tal velocidad que son capaces de expulsar los contaminantes de la cuenca. Sin embargo, el problema se resuelve momentáneamente, ya que las fuentes de contaminación siguen actuando.^(DDF, 1990) Además de esta contaminación temporal se considera que buena parte de la contaminación del aire en el D. F. proviene de fuentes móviles; constituido por 3.3 millones de vehículos que generan en mayor cantidad óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, seguidos por monóxido de carbono, dióxido de azufre y partículas.^(PICCA, 1990).

* Cuenca endorréica es aquella en que los ríos y arroyos se escurren desde las partes altas de las sierras y desaguan en una llanura lacustre dando lugar a una serie de ciénegas.

Aunado a las características físicas también se presenta el fenómeno de inversión de temperatura por lo menos 200 días del año, el cual concentra los contaminantes hasta el mediodía, cuando el calor del sol permite la difusión vertical de las capas más superficiales.

También la altura de la ciudad de México hace que los procesos de combustión sean deficientes en oxígeno, por lo que se generan mayores cantidades de monóxido de carbono e hidrocarburos. (DDF, 1980)

II.c.- Fuentes de emisión de contaminantes del aire

En las zonas urbanas, la presencia de los diferentes compuestos contaminantes atmosféricos se debe a la conjunción de una variedad de peculiaridades tales como: el acelerado aumento de población, condiciones meteorológicas y, en especial, a la emisión de contaminantes por fuentes fijas y móviles.

Los compuestos contaminantes producidos por las diversas actividades del hombre, también llamados antropogénicos, son descritas por Perkins (1974):

"Las partículas son generadas por la combustión de carbón, combustóleo en hornos estacionarios, gasolina, aceite diesel, combustible para motores con turbina y; por fundición, trituración y molienda de granos.

Los óxidos de azufre provienen del consumo y pérdidas de combustibles que contengan este compuesto en los procesos industriales.

El monóxido de carbono es producido en su totalidad por la combustión incompleta de combustibles en motores de automóviles y unidades de calefacción.

Los hidrocarburos no quemados son el resultado de la combustión incompleta de los combustibles y durante la refinación del petróleo, también de operaciones como la limpieza en seco, la evaporación de capas industriales y la limpieza de piezas manufacturadas.

Los óxidos de nitrógeno se forman en procesos de combustión cuando el nitrógeno del aire o del combustible se combina con el oxígeno a elevadas temperaturas; también, por el empleo o fabricación de ácido nítrico".

Sobre los atributos de las emisiones contaminantes en la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM); Quadri (1992) señala que: "El volumen y las características de las emisiones atmosféricas se explican debido a cuatro factores que, contrariamente, contribuyen al desarrollo económico:

1) El uso de energía, cuando se consume por algún tipo de economía (nacional o regional) refleja la eficiencia productiva de la misma. Sin embargo, la economía mexicana requiere de mayores cantidades de energía primaria para producir una misma cantidad de bienes y servicios que otros países, esto provoca que al crecer la economía, el gasto de energía sea mayor y, por tanto, también las emisiones contaminantes.

Considerando la densidad del consumo energético en las diferentes regiones del país, se encuentra una explicación al problema de emisiones y deterioro en la calidad del aire que caracteriza a la ZMCM. En el cuadro 2 se aprecia como la ciudad supera en casi 150 veces el consumo energético promedio nacional por unidad de superficie.

Cuadro 2.- Consumo de energía regional.

Región	Área Km. ²	Consumo de Energía	
		KcalX10 ¹² /año	KcalX10 ⁸ /Km ²
Noroeste	414,437	83,952	2.02
Norte	366,735	24,048	0.65
Noreste	295,955	152,124	5.14
Centro - Norte	143,477	17,028	1.18
Centro - Pacífico	143,456	67,140	4.61
Centro - Golfo	72,813	64,128	8.80
Centro	126,683	133,382	10.54
ZMCM	2,396	121,350	507.30
Pacífico Sur	233,045	19,896	0.85
Peninsular	166,184	19,585	1.17
Total	2'039,988	703,033	3.45 prom.nal.

Fuente: SEMI^a. Balance de energía, 1986 (DDF, 1991)

Por su parte, para 1991, el uso de gasolina en el sector transporte representó el mayor gasto relativo de energía y la mayor aportación de contaminantes con respecto al volumen total (CO, HC y Pb). Las mayores emisiones de SO₂, PST y NO_x encontraron su contraparte proporcional en la industria, la generación de electricidad y los servicios cuyos insumos energéticos son el combustóleo, gasóleo, gas natural y diesel.

2) Calidad de los combustibles. De acuerdo con su naturaleza y destino, cada combustible presenta especificaciones distintas. Aunque el contenido de azufre y el poder calorífico son variables indicadoras de la calidad de los combustibles, su rendimiento en términos de energía es directamente proporcional a su precio. En especial, es importante incorporar en los datos del análisis de cada combustible su contenido de nitrógeno debido a que éste puede desempeñar un papel determinante en las emisiones de NO_x.

No obstante, debe mencionarse la insuficiencia de la normatividad de combustibles que pudieran establecerse sus especificaciones oficialmente y con carácter obligatorio.

3) *Tecnología de combustión y de control de emisiones.* Se ha implantado en todos los vehículos, a partir de 1991, el convertidor catalítico de tres vías. Para vehículos a diesel, la tecnología consiste en el empleo de motores turbocargados.

En establecimientos industriales no se cuenta con información sobre equipos de control de emisiones y el control de gases en calderas. Mas aún, la infraestructura de combustión instalada en los establecimientos comerciales y de servicios es antigua, presenta un deterioro significativo y es operada en forma generalmente inadecuada.

4) *Uso del suelo.* En la ZMCM, los actuales patrones de uso obligan a sus habitantes a recorrer distancias considerables y a invertir gran parte de su tiempo para transportarse y; en general, los tiempos de traslado seguirán aumentando en la medida en que la mancha urbana se expande. Por otra parte, las zonas industriales se encuentran localizadas viento arriba de la ZMCM, este hecho magnifica la exposición de la población a las emisiones industriales" (Quadri y

Sánchez, 1992).

II.c1.- Contaminantes primarios a partir de fuentes fijas.

Según la Ley General del Equilibrio Ecológico (1983), se define como fuente fija a: "Toda instalación establecida en un solo lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones industriales" (Leyes y Códigos de México, 1986).

Dentro de este concepto se encuentran más de 12,000 establecimientos mercantiles y de servicios así como las industrias ubicadas en el Distrito Federal. Entre los establecimientos mercantiles y de servicios hay comercios relacionados a alimentos, baños, deportivos, hospitales, hoteles, molinos, panaderías, tintorerías y tortillerías. (DDF, 1991)

Dentro de las actividades industriales asentadas en el D.F. y en los 17 municipios del Estado de México, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1991), las agrupó en diversas ramas mencionadas en el cuadro 3. Las industrias que tienen poca importancia a nivel regional fueron colocadas dentro del rubro denominado OTRAS INDUSTRIAS, junto con las empresas no identificadas hasta ahora. La industria cementera no se incluye debido a que solo existe una en la ZMCM (INEGI, 1991).

Cuadro 3.- Grupos de industrias en la ZMCM.

Celulosa y Papel Industria Textil Industria Química	Industria Del Vidrio Alimentos y Bebidas Cerámica y Otros	Minerales no Metálicos Metálica Ferrosa Maquinaria y Equipo	Industria del Hule Metálica no Ferrosa Otras Industrias
---	---	---	---

Fuente: D.D.F., Balance ambiental de la industria, 1991

II.c2.- Contaminantes primarias a partir de fuentes móviles.

Las fuentes móviles están definidas como: "El equipo y maquinaria no fijos con motores de combustión y similares que por su operación generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera, entre los que se encuentran: aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, autobuses integrales, camiones, automóviles, motocicletas, y embarcaciones." (Leyes y Códigos de México, 1986)

El crecimiento acelerado de la ciudad y una política orientada a impulsar las obras viales y fortalecer el uso de automóviles privados, desalentando a los sistemas de transporte colectivo; sentó las bases para una demanda exacerbada de transporte. Actualmente se indica una cifra de 3.3 millones de automóviles, de los cuales 2'476,528 se encuentran registrados en el D.F. (Quadri y Sánchez, 1992)

Se ha observado que el 85% del parque vehicular del D.F. son autos privados, sin embargo un 45% de estos tienen más de 10 años de uso. A pesar de su uso intensivo, solo cubren el 16% de la demanda viajes-persona-día (vpd); por otro lado los vehículos de servicio público, con aproximadamente el 7% del parque vehicular, absorben el 84% restante. (SEDOE, 1988)

Quadri y Sánchez (1992) describen la situación actual del sector transporte en la ciudad: "Un fuerte consumo energético y una baja proporción en la demanda de viaje-persona-día (vpd) satisfecha por los autos privados, se asocia con una elevada carga contaminante emitida al aire. Por cada vpd, los vehículos privados consumen alrededor de 19 veces más energía que el sistema de autotransporte urbano de pasajeros "R-100" con servicio en 83 rutas directas y 130 alimentadoras y un total de 3000 unidades; nueve veces más que los taxis colectivos con ruta fija y libre.

Los taxis colectivos con ruta fija y libre tienen un total de 155 mil vehículos, cubriendo el 34% de la demanda total de la ciudad; 62 veces más que el sistema de transporte colectivo "metro" con sus nueve líneas y más de 140 km. de vías férreas los cuales transportan a un promedio diario de 4'800,000 vpd; y 94 veces más que el transporte eléctrico en una red de 21 líneas con una longitud aproximada de 450 km. cubierta por 300 trolebuses.

En cuanto a la carga contaminante por cada viaje-persona-día (vpd), los autos privados emiten 4.3 veces más que los colectivos (sin convertidor catalítico), 38 veces más que los autobuses suburbanos que cuenta con un parque de 4,700 unidades y 65 veces más que la "R-100" (cuadro 4)" (Quadri y Sánchez, 1992).

Cuadro 4.- Consumo energético, sector transporte.

Medio de transporte	vpd	Consumo de energía	
		KcalX10 ¹⁰ /año	Kcal/VPD
Autos privados	4'000,000	8.0	20,000.0
Transporte colectivo, ruta fija y libres	10'020,000	2.3	2,186.3
R-100	4'200,000	0.5	1,071.5
Autobuses suburbanos	5'500,000	1.0	1,872.5
Metro	4'800,000	0.2	319.2
Trolebús y tren ligero	535,000	0	212.8

Fuente: Quadri, G. "La ciudad de México y la contaminación atmosférica", 1992

II.d.- Inventario de emisiones.

Un inventario de emisiones comprende el listado y descripción de las fuentes de emisión. En principio deben definirse las áreas con sus características, situación geográfica y tipo de límite. Una zona geográfica con emisiones puede clasificarse como: -antropogénico y/o natural;- controlable y/o no controlable- (Stern, 1980).

Las emisiones controlables son de principal interés porque constituyen la mayor parte del total de emisiones, situación muy generalizada en diversos estudios realizados (EICA, 1988; Banco Mundial, 1990; PICCA, 1990; Bahmani, 1992; Quadri y Sánchez, 1992). Las emisiones se clasifican de acuerdo con el tipo de fuente, fija o móvil (cuadro 5).

Cuadro 5. Tipo de fuentes de emisión totales.

Fuentes Móviles			Fuentes Fijas			
De Línea	De Área (vehículos)		Puntual		De Área	
Vías de tren vías marítimas vías rápidas	light-duty medium-duty	heavy-duty Aeroplucos	Plantas de energía proc. indust. dep. de basura	comb. indust. carbón, aceite, gas Otros	Residencial cal. comerciales saurerros luciferación	calefactores de carbón, oilite, gas otros
Otro método de clasificar las fuentes de emisión es:						
-por fuente puntual (grandes fuentes fijas)						
-por fuentes de área (pequeñas fuentes fijas y fuentes móviles con rutas indefinidas)						
-por fuentes de línea (fuentes móviles con rutas definidas)						

Fuente: Stern, C. "Air Quality Management", 1980

En Stern (1980), Hammerle menciona que: "Hay tres clases de inventarios basadas en la precisión y la información deseada; estimación total (GROSS), reconocimiento rápidos e inventario integral. La estimación total y el estudio rápido son métodos que incluyen la producción de emisiones en promedio anual, mientras que en el inventario integral engloba la producción anual, estacional, diaria u horaria del promedio de emisiones".

II.d1.- Inventario total.

Esta estimación habitualmente considera una gran área geográfica con resúmenes estadísticos anuales del consumo de combustible, uso de solventes, incineraciones y procesos industriales.

Por medio del uso de los procedimientos de estimación como consumo de combustible o recorrido de un vehículo por galón o litro de combustible; cantidad de emisiones por cantidad procesada, peso de basura incinerada (per capita) y cantidad de emisiones por cantidad de combustible quemado (factor de emisión; ver Cap. IIc), las emisiones pueden ser resumidas en varias categorías según su fuente.

Básicamente, es una estimación que se realiza en la oficina con uso de documentos o comunicación con las entidades responsables de las estadísticas sobre uso de combustibles, si es para toda la nación, estatal, provincial, o local.

Así, la cantidad total de combustibles o materiales consumidos o procesados pueden ser relativamente precisos, el factor de conversión para calcular emisiones de estos es mucho menos exacto por las muchas variables con respecto a combustiones y procesos.

Las fuentes de información sobre el consumo de combustible provienen en general de las entidades estadísticas gubernamentales. Los factores de conversión deben determinarse de forma individual para las categorías de fuentes específicas ya sobre el estudio. Este método es susceptible a error, su uso puede ser limitado y se podrían usar métodos más precisos.

II.d2.- Inventario de reconocimiento rápido.

Este inventario se utiliza para áreas donde se localizan grandes industrias, y que sus respectivas referencias sean accesibles. La localidad a estudiar debe incluir entre 50 y 100 fuentes de emisión; las cuales serán contactadas por medio de cuestionarios o por vía telefónica.

Al identificar las áreas con emisiones altas, se puede estimar el patrón de distribución. Las categorías básicas para identificar las fuentes están en el cuadro 6; sin embargo, las fuentes individuales puntuales se agrupan dentro de una apropiada categoría, mientras que las emisiones residuales se identifican como fuentes de área.

Cuadro 6.- Categorías de las fuentes fijas para el inventario de emisiones.

Fuentes Puntuales	Fuentes de Área
Plantas con generadores Procesos industriales Dispositivos para desechos (incineradores municipales y alietos) Combustión industrial de carbón, gas y aceite Otros.	Calentadores residenciales Calderas comerciales o institucionales Incineración "in situ" Combustión abierta Desechos evaporativos.

Fuente: Stern, C. "Air Quality Management" 1980

El método de reconocimiento rápido se designó para un presupuesto limitado y con recursos humanos propios. Utiliza información que involucra el mínimo contacto con las principales fuentes puntuales; sin embargo, es razonablemente preciso y requiere de un mínimo de tiempo.

Los puntos que involucra la preparación de un mapa zonificado con este método (Stern, 1980) se resume como sigue:

1) Obtener o dibujar un mapa del área de estudio. En éste se muestran características tales como ríos, lagos, vías rápidas, calles y fronteras legales.

2) Indicar los censos regionales originales en el mapa. Se debe subdividir las regiones con base en sus características comunes como uso del suelo, patrones de uso de combustibles, etc. En casos particulares subdividir las zonas dependiendo de la densidad de población.

3) Colecta y distribución de la información. Los datos del uso de combustible deben colectarse directamente con los usuarios y localizarlos en los mapas enrejillados por zonas.

II.d3.- Inventario Integral.

Este se desarrolló para colectar la información que se necesita en los modelos de dispersión atmosférica. El valor mínimo para la recopilación de datos en fuentes fijas debe ser de 100 toneladas(británicas)/año. Se incluyen, dentro del área de estudio, todas las fuentes de área y todas las fuentes puntuales que entren dentro de este valor. Con las zonas reportadas se podrá construir un mapa enrejillado que contenga la distribución de las fuentes.

Para cada fuente puntual se incluyen parámetros tales como: Altura de la fuente (chimenea), diámetro de la misma, flujo de escape del vehículo, temperatura del gas y flujo, coordenadas de localización, contenido de cenizas o sulfuros del combustible, horario de operación diario y el equipo de control de contaminantes existente.

A diferencia del inventario anterior, éste recolecta una mayor cantidad de información para cada fuente puntual por separado, lo cual permite una variedad de usos que se puede aplicar a un inventario por fuentes fijas.^(Stern, 1980)

H.e.- Factores de emisión.

El factor de emisión es un valor que representa un grupo de fuentes en un área o sitio de prueba; indica la cantidad de contaminantes emitidos por unidad de tiempo (g/día) o de distancia (g/km), dependiendo si son fuentes fijas o móviles respectivamente. Este se puede obtener por medio de pruebas "in situ", en laboratorio o por medio de un software* de cálculo de emisiones.^(Kim, Cohen and Mele, 1978)

Con relación al factor de emisión para fuentes móviles; éste se puede definir como el valor promedio de las emisiones del escape que se obtiene de una flotilla de vehículos a partir de pruebas con dinamómetro en el laboratorio (operación de la rueda trasera con rodillos que son accionados para simular el desplazamiento por la vía de tránsito) o con software en computadora que se describen más adelante (ver Cap. II.2).

En ambos casos se toman en cuenta las características particulares del vehículo, las del área de la zona estudio y su patrón de conducción (distancia de viaje, velocidad promedio, proporción de tiempo de viaje esperado y la velocidad del vehículo, o sea, la aceleración/desaceleración).

El patrón de conducción de los vehículos es una variable determinante para el cálculo del factor de emisión. Este patrón se determina de acuerdo con la forma de conducir en un área determinada. En general el patrón de conducción se compone de los siguientes modos: encendido del motor; parado (calentamiento); aceleración; crucero**; desaceleración; estos modos se continúan a lo largo de un trayecto. Este patrón varía de ciudad en ciudad y según el tipo de área socioeconómica (residencial, industrial, comercial, etc.) y de la hora del día.

* Software: Es un programa o conjunto de programas que son ejecutados en un procesador de computadora para un fin determinado.
** Crucero: se refiere a la velocidad constante que adquiere el vehículo durante su recorrido sin tener paradas espontáneas.

II.e1.- Pruebas en laboratorio con dinamómetro.

Dada la dificultad de medir las emisiones de escape de un vehículo automotor cuando está en circulación, se usa un dinamómetro (Fig. 1). Este equipo consiste de un juego de rodillos fijos, sondas de colección de gases de escape, sistema de adquisición de muestra y analizadores, y monitor para el despliegue gráfico de ciclos específicos de recorrido ^(Grad and Rosenthal, 1975). Las ruedas delanteras del vehículo de prueba se ponen en los rodillos fijos que están sobre el piso y que permiten determinar el peso vehicular en libras (lb) así la fricción debida al peso del vehículo en caballos de fuerza (HP).

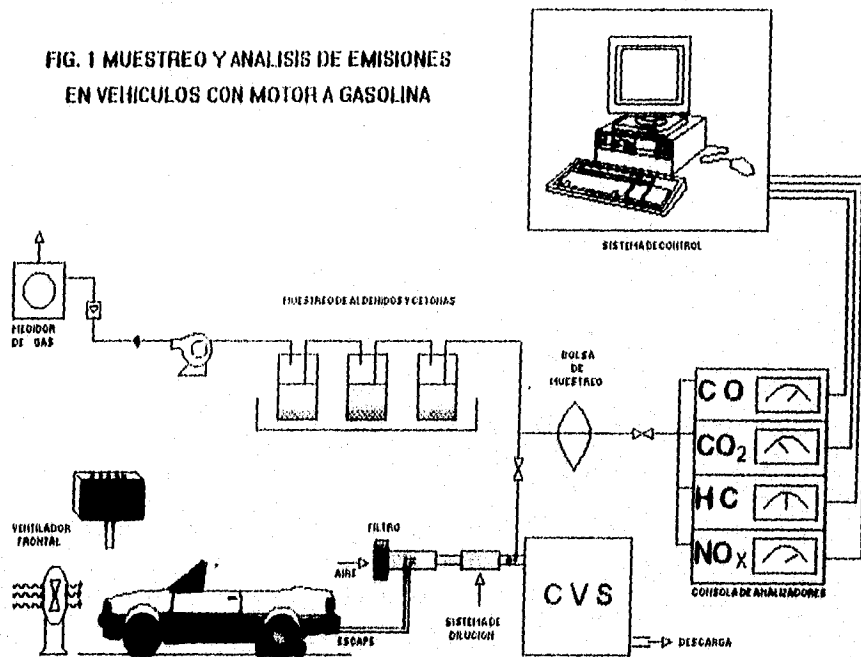
En el monitor se recrean distintas características del camino que obligan al conductor a modificar las condiciones de manejo de acuerdo a ellas, lo que constituye un ciclo de recorrido. Este reproduce distintos períodos de manejo: encendido de la máquina, reposo, aceleración desde el reposo hasta determinada velocidad, un tiempo a velocidad constante (condición de cruce), desaceleración hasta el reposo y dependiendo del ciclo empleado se continúa con aceleraciones y desaceleraciones para reproducir las distintas fases de emisión en un vehículo. El dinamómetro registra la distancia recorrida correspondiente, el tiempo de conducción, la velocidad promedio y la velocidad máxima.

En cada fase de emisión los gases de escape pasan a través de una sonda de colección hasta un muestreador a volumen constante donde se diluyen con aire limpio y una alícuota de esta mezcla se envía a una bolsa de muestreo. El gas es retenido en las bolsas hasta finalizar el ciclo completo y de ahí se llevan al sistema de análisis donde se determinan las concentraciones de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno en partes por millón (ppm). Además se determina dióxido de carbono en % en volumen para calcular el rendimiento del combustible.

Finalmente las concentraciones (en ppm) se relacionan con el kilometraje recorrido sobre el dinamómetro y las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa y presión) para determinar los g/km. de cada uno de los contaminantes.

En México no se tiene un ciclo de manejo propio pero se usan los establecidos por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (EPA). Hasta 1974 se utilizó el ciclo de manejo conocido como FTP-72 que consistía en una fase fría y una fase estabilizadora. Desde 1975 éste se actualizó para incluir una etapa de 10 minutos de reposo con el motor apagado y una fase caliente, este ciclo tomó el nombre de FTP-75 (fig. 2).

FIG. 1 MUESTREO Y ANALISIS DE EMISIONES EN VEHICULOS CON MOTOR A GASOLINA



II.e2.- Modelos para factores de emisión.

Este tipo de modelos son programas que se utilizan como herramientas de trabajo para poder calcular los factores de emisión, según las especificaciones de la zona de estudio.^(Stern, 1980)

II.e2.i.- Mobile-4.

Los factores de emisión de los contaminantes se estiman utilizando un modelo desarrollado por una compañía llamada Radian Corporation denominado MOBILE-MCMA, el cual está basado en el modelo MOBILE4 creado por la Environmental Protection Agency (EPA). Este modelo calcula las emisiones de escape y evaporativas para todo tipo de vehículos con diferente año/modelo.^(Kron, Cohen and Metc. 1978)

El MOBILE-4 determina el factor de emisión tomando en cuenta las emisiones del escape después de haber llevado a cabo modificaciones en características como: velocidad, temperatura, contenido de plomo, etc.

Lacy (1993) también describe los mecanismos para calcular el factor de emisión. "Este modelo inicia calculando las emisiones de escape denominadas como *Basic Emission Rate (BER)* para los vehículos con año/modelo de los últimos 20 años que contribuyen con las emisiones para algún año calendárico.

El BER se calcula a partir de una ecuación que describe el aumento de las emisiones al aumentar el millaje en los vehículos.

$$BER = ZML + [(DET)(CUMMIL/10,000)]$$

donde ZML: Emisiones a la milla 0.0 (intersección)
DET: Grado de deterioro cada 10,000 millas (pendiente)
CUMMIL: Millaje acumulado para el año/modelo y año calendárico seleccionado.

Sin embargo, cuando CUMMIL. excede las 50,000 millas, el modelo emplea un cálculo de BER diferente:

$$BER = ZML + 5(DET) + [(DET^2)(CUMMIL - 50,000/10,000)]$$

donde DET2: Grado de deterioro cada 10,000 millas, después de exceder 50,000 millas.

Después de calcular el BER, el modelo incorpora a los cálculos cinco factores de corrección con los cuales se obtiene el factor de emisión básico para un año/modelo (BEF):

$$\text{BEF} = [(\text{BER}) (\text{OMTCF}) (\text{PCLEFT})] + \text{OFFCO} + \text{OMTTAM}$$

donde *OMTCF*: Para poder incluir vehículos que no operan dentro de las normas de procedimientos federal (FTP), las cuales son:

- Temperatura ambiente de 24°C (75°F).
- Presión de vapor RHD de 9.0 psi.
- Modos de operación encendido frío, tiempo de estabilización, encendido caliente.
- Fracción de vehículos con sistemas anticontaminantes en mal funcionamiento predeterminados.

PCLEFT: Si el área o zona, al que se le aplique el modelo, cuenta con programas de inspección/mantenimiento (IM); se incluyó este factor para corregir el BER como un porcentaje de reducción, mediante subrutinas que simulan la inspección y reparación de vehículos bajo el programa IM.

OFFCO: Debido a que los valores de CO son regulados por la temperatura y por la fracción de ciclo frío/caliente; se realizan así algunos ajustes para corregir el BER ya que las emisiones por CO aumentan por las bajas temperaturas.

OMTTAM: Efectos provocados por trampas en los vehículos. Estas incluyen: bombas de aire, restrictores de combustible, desconexión de los sistemas anticontaminantes, remoción del convertidor catalítico, descompensadores, etc. El modelo contiene coeficientes predeterminados de estos efectos, sin embargo el usuario puede modificarlos dependiendo del área de estudio, grado del efecto y programas anticontaminantes*.

Sin embargo, para la ciudad de México es necesario aplicar algunas modificaciones ya que los valores resultantes de cada contaminante estudiado no siempre coincide con los datos que puedan ser aplicables a la ciudad de México porque alguno de ellos puede estar sobrestimado.

II.e2.ii.-Mobile-MCMA.

Lacy (1993) detalla los mecanismos para calcular el factor de emisión específicamente para México. La información y funciones internas del modelo MOBILE-4 se sustituyeron para estimar los factores de emisión específicos para los vehículos de México (cuadro 7). Dentro de los contextos que se modificaron se encuentra:

1) Factores de emisión básico. En el MOBILE-4 éstos se cambiaron para adecuarse a los vehículos mexicanos. Por ejemplo los vehículos cuyo año-modelo es 1989 se consideran vehículos con características similares al año-modelo 1974 de Estados Unidos.

2) Tipo de vehículos y sus edades. Se sustituyeron los valores dentro del modelo, con la información que facilitó el Registro Federal de Vehículos.

3) Presión y temperatura. Se modificó la presión y la temperatura a una apropiada para la altitud de la zona metropolitana de la ciudad de México (585 mmHg y 25°C.

4) Trampas en los vehículos. Incluyen la remoción del convertidor catalítico, desconexión de los sistemas anticontaminantes, la utilización de bombas de nitrógeno, etc. De acuerdo con las autoridades mexicanas, se cambió la contribución por trampas de 20% a 50%.

El MOBILE-MCMA calcula los factores de emisión de acuerdo con diversas variables que incluyen los efectos de velocidad de vehículos, kilometraje, temperatura ambiente, humedad, modo de operación, presión de vapor del combustible, trampas en los sistemas de control de emisiones, contenido de plomo y programas de inspección/mantenimiento (Lacy, 1993).

Cuadro 7. Lista de modificaciones al modelo mobile-4 para generar el MOBILE-MCMA.

Parámetro	Modificación
1 Taza básica de emisiones de escape para HC, CO, y NOx; emisiones evaporativas de HC.	1 Se cambiaron para adecuarse a los vehículos mexicanos.
2 Registros de distribución.	2 Basado en datos mexicanos.
3 Fracciones diesel.	3 Basado en datos mexicanos.
4 Porcentaje VMT para cada tipo de vehículo.	4 Basado en datos mexicanos.
5 Trampas comunes y su contribución	5 Créditos basados en vehículos con tecnología mexicana
6 Créditos por programas I/M.	6 Créditos basados en vehículos con tecnología mexicana
7 Correcciones en la temperatura y la RPV para emisiones de escape.	7 Créditos basados en vehículos con tecnología mexicana
8 Fracciones de vehículos con carburadores o fuel injection	8 Créditos basados en vehículos con tecnología mexicana
9 Velocidad, aire acondicionado, contenido de plomo, empuje.	9 Créditos basados en vehículos con tecnología mexicana
10 Correcciones por altitud: emisiones evaporativas, y del escape, modo de operación, distribución del kilometraje acumulado, emisiones del cigüeñal, relación entre bajas velocidades y la temperatura y RPV, kilometraje diario y viajes por día, programas antitrampas, emisiones diversas.	10 MOBILE-4 refaccionado con vehículos tecnología mexicana.

Fuente: Lacy R. "Revision of the MOBILE-MEXICO model", 1993.

II.f.- Efecto de los contaminantes primarios en la salud.**II.f1.- El monóxido de carbono (CO).**

El CO es el contaminante del aire más abundante en la baja atmósfera. Es un gas, incoloro, inodoro e insípido. Presenta una densidad del 96.5 por ciento superior a la del aire, y no es apreciablemente soluble en agua. Es inflamable y arde con llama azul pero no mantiene la combustión.^(Stoker y Spencer, 1981)

Las emisiones artificiales de CO superan en cantidad la masa de las emisiones antropogénicas del resto de los contaminantes atmosféricos combinados.^(PEMEX, 1990) La mayor fuente artificial de CO es la combustión incompleta de carburantes fósiles.^(Scientific, 1978)

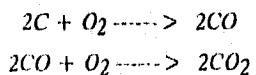
Debido a lo anterior, la producción en zonas urbanas sigue una evolución paralela al volumen de circulación, con una permanencia media en la atmósfera de aproximadamente un mes. En períodos prolongados de masas estacionarias de aire, los niveles de CO han alcanzado niveles peligrosamente altos.^(Perkins, 1974)

Stoker y Spencer, (1981) señalan que: "La liberación de CO es el resultado de los diferentes procesos químicos, como:

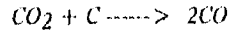
- 1) Combustión incompleta de compuestos de carbono. Este proceso tiene lugar cuando el oxígeno disponible es inferior a la cantidad necesaria para una combustión completa, de la que se desprende bióxido de carbono (CO₂).
- 2) Tiene lugar una reacción a elevada temperatura entre el CO₂ y materiales que contienen carbono.
- 3) A temperaturas altas, el CO₂ se disocia con el CO y O₂.

Los procesos implicados en la formación de CO incluyen:

Proceso I.- La formación de óxidos de carbono es simple solo cuando los elementos que reaccionan son carbono puro y oxígeno. En la combustión de materiales carbonados en aire, el proceso es complicado y desarrolla las siguientes reacciones:

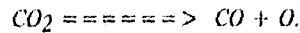


Proceso II.- La reacción implicada en este proceso es:



El CO desprendido de ésta reacción es beneficioso y necesario en ciertas aplicaciones, como en los altos hornos, donde actúa como agente reductor del hierro a partir de minerales de óxidos de hierro. No obstante, puede escapar cierta cantidad de CO a la atmósfera y actuar como contaminante.

Proceso III.- El CO₂ y el CO se encuentran en equilibrio a elevadas temperaturas según la ecuación:



Temperaturas superiores favorecen la producción de CO y O. Si se enfría súbitamente, el CO presente persiste debido al prolongado tiempo requerido para el establecimiento de un nuevo equilibrio a baja temperatura" (Stokes y Spencer, 1981)

II.1.1.- Efectos provocados por el CO

El monóxido de carbono produce diversos efectos sobre la salud humana; está demostrado que la exposición del hombre a elevadas concentraciones de CO puede conducir a la muerte; como lo explica Wark y Warner (1992):

"Este contaminante representa una amenaza a la salud por su capacidad de reaccionar con la hemoglobina (Hb) de la sangre. La hemoglobina funciona normalmente en la sangre como un sistema de transporte, que lleva oxígeno en forma de oxihemoglobina (O₂Hb) desde los pulmones hasta las células somáticas, y CO₂ desde estas hasta aquellos (como CO₂Hb)".

La hemoglobina forma junto con el CO un compuesto, la carboxihemoglobina (COHb), reduciendo la capacidad de la sangre para transportar oxígeno. Los efectos del CO sobre la salud se estudian generalmente en términos de porcentaje de COHb en sangre (cuadro 8) (Leyes y códigos de México, 1986)

Cuadro 8.- Efectos sobre la salud de los niveles de COHB en sangre.

% CO Sangre	Efectos
Menos de 1.0	Sin efectos aparentes.
De 1.0 a 2.0	
De 2.0 a 5.0	
Más de 5.0	Algunas pruebas de efectos sobre la eficacia del comportamiento. Efectos sobre el sistema nervioso central. Deterioro de la discriminación de los intervalos de tiempo, agudeza visual, discriminación del brillo y algunas otras funciones psicomotrices. Cambios funcionales cardíacos y pulmonares.
De 10 a 80	

Fuente: Wark, K. "Contaminación del aire. Origen y control", 1992

Los niveles de COHb en sangre dependen de la cantidad de CO en la atmósfera, de la duración de la exposición y del tipo de actividad física; en el cuadro 9 se encuentra en relación del porcentaje de COHb en el torrente sanguíneo con la exposición a CO en el aire, inferior a 100 ppm_(Wark y Warner, 1992).

Cuadro 9. Equilibrio de COHB en sangre y del CO en el aire.

[CO] Aire (ppm)	%[COHb]Sangre	[CO] Aire (ppm)	%[COHb]Sangre
10	2.1	50	8.5
20	3.7	70	11.7
30	5.3		

Fuente: Wark, K. "Contaminación del aire. Origen y control", 1992

En la fig. 3 se representan los efectos provocados en las personas dedicadas a una fuerte actividad y expuestas al contaminante. El fumar, la localización geográfica, la ocupación laboral y las condiciones meteorológicas son factores importantes que influyen en los niveles de COHb_(Sennick, 1978).

II.f2.- Los óxidos de nitrógeno (NOx).

Una razón importante por la cual se estudian los NOx y su origen es que los compuestos de nitrógeno son contaminantes que desempeñan un papel importante en las reacciones químicas y fotoquímicas que ocurren en la atmósfera. Bajo condiciones atmosféricas normales el NO es oxidado lentamente a NO₂, el cual es muy reactivo; absorbe la luz UV y la visible que penetra en las capas bajas de la atmósfera. Tanto el NO como el NO₂ son gases tóxicos de olor irritante y color amarillo verdoso_(Junich, 1970).

Seinfeld (1978), describe algunos mecanismos químicos que se generan en el aire:
 "Por oxidación pueden formar NO_3 , N_2O_4 y N_2O_5 ; éstos últimos, en disolución acuosa, dan lugar al ácido nitroso (HNO_2) y el ácido nítrico (HNO_3). Por oxidación en el esmog fotoquímico podría formar los llamados nitrosos de peroxiacetilo (PAN).

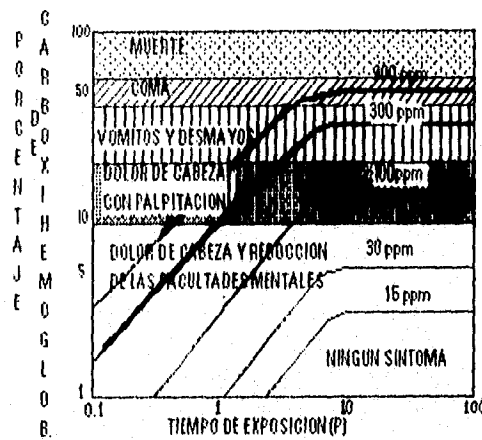
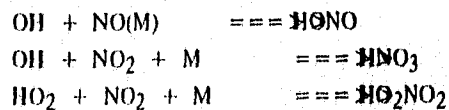


Fig. 3. Efectos causados en el hombre por exposición a CO.

Tomada de Seinfeld J. "Contaminación atmosférica", 1978

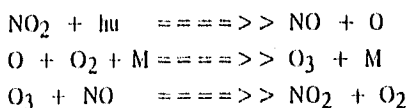
Las emisiones de NO_x pueden convertirse en partículas respirables y más aún generar ácidos y, por lo tanto, lluvia ácida a partir de las siguientes reacciones:



donde: M = Cualquier molécula receptora de energía

Así mismo participa en la formación de ozono y oxidantes fotoquímicos que son contaminantes secundarios; es decir, no son descargados directamente a la atmósfera sino que se forman a través de una serie de reacciones químicas catalizadas por la radiación solar.

El ciclo fotoquímico (figura 4) muestra la interacción del monóxido y dióxido de nitrógeno con moléculas disociadas de oxígeno por medio de las siguientes reacciones" (Seinfeld, 1978):



Donde: M = Cualquier molécula receptora de energía.
O = Átomo libre de oxígeno

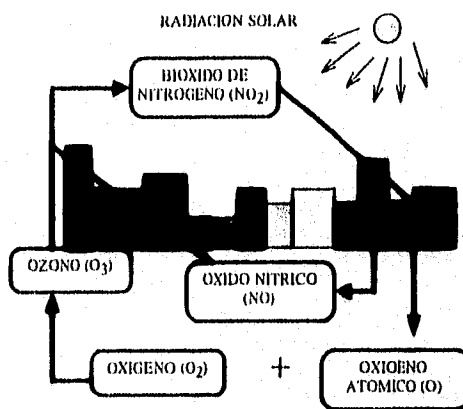


Figura 4. Ciclo fotoquímico atmosférico de los óxidos de nitrógeno

II.2.1.- Efectos provocados por los NOx

Aún a bajas concentraciones, el NO2 irrita los tejidos de los seres vivos (cuadro 10). Los vehículos con motor de combustión interna son fuentes importantes de los NOx (JICA, 1988):

Cuadro 10. Efectos provocados por la exposición a óxidos de nitrógeno.

Contaminante	Concentración	Efectos a la Salud
DIOXIDO DE NITRÓGENO (NO2)	100 µg/m³ prom anual (0.15 ppm) (0.25 ppm)	A un nivel medio superior de una hora, se han observado efectos en animales de laboratorio; produce también decoloración de la atmósfera.
OXIDANTES FOTOQUÍMICOS (PAN)	1. Arriba de 130µg/m³ (0.07 ppm) 2. Máximo diario de 200 µg/m³ (0.1 ppm) 3. Máximo diario de 490 µg/m³ (0.25 ppm)	1. Peor rendimiento de los atletas. 2. Irritación de los ojos. 3. Agravación de ataques de asma.

Fuente: Seinfeld J. "Contaminación atmosférica", 1978

El dióxido de nitrógeno es más dañino que el NO a iguales concentraciones. Sin embargo, a concentraciones encontradas en la atmósfera, el NO₂ es sólo potencialmente irritante y está relacionado con la fibrosis pulmonar crónica. Se ha observado un aumento en la bronquitis de los niños a concentraciones por debajo de 0.01 ppm_(Wark y Warner, 1992).

En combinación con hidrocarburos no quemados, los óxidos de nitrógeno reaccionan con la luz solar y forman el neblumo fotoquímico.

Debido a esta reactividad química se ha establecido la norma primaria de calidad del aire, en los Estados Unidos, para los óxidos de nitrógeno y fijado en 100 µg/m³ de promedio anual_(Wark y Warner, 1992).

II.3.- Los óxidos de azufre (SO_x).

Seinfeld (1978) menciona que: "El dióxido de azufre (SO₂) es un gas incoloro y no flamable, con puntos de fusión y ebullición de -75.5°C y -10°C respectivamente. Presenta un olor acre e irritante a concentraciones superiores a 3 ppm. Generalmente lo acompaña un porcentaje de trióxido de azufre (SO₃) que no rebasa el uno o dos por ciento de SO₂; es un gas incoloro y muy reactivo que forma ácido sulfúrico con la humedad del aire. Los SO_x, en combinación con los NO_x producen el fenómeno llamado lluvia ácida.

El fenómeno de lluvia ácida se debe a la transformación de ambos contaminantes en ácidos, al ser absorbidos por el agua de las nubes y las gotas de lluvia. Estos aerosoles ácidos se depositan luego en cantidades significativas sobre la superficie del suelo y de las masas del agua. Dentro de la atmósfera se genera el SO₂ como resultado de la oxidación del sulfuro de hidrógeno (H₂S). La fuente principal de este compuesto en la atmósfera es la descomposición de materia orgánica en los pantanos, turberas y lodazales; en los océanos; y en la actividad volcánica"_(Seinfeld, 1978).

Las emisiones directas del SO₂ proceden casi exclusivamente de fuentes antropogénicas (cuadro 11): la quema de combustibles fósiles; aceite; y la fundición de minerales sulfurados. Todos ellos son emitidos por la pérdida de carburantes en procesos industriales; el transporte y la combustión_(Quadri y Sánchez, 1992).

Cuadro 11.- Porcentaje de emisiones por tipo de vehículos registrados en el D.F. (1992).

Fuente	Porcentaje	Fuente	Porcentaje
Transporte	2.9	Perdidas en procesos industriales	17.7
Vehículos a motor	0.9	Fundición de cobre	10.6
Gasolina	0.6	Fundición de cinc y plomo	2.7
Diesel	0.3	Elaboración de H ₂ SO ₄	1.5
Buques	0.9	Preparación de coque	1.5
Aviones	0.3	Refinado de petróleo	1.2
Ferrocarriles	0.3	Otros	0.3
Carburantes para motores	0.6	Eliminación de residuos sólidos	0.3
Combustión de carburantes en fuentes estacionarias	78.2	Varios	0.9
Carbón	65.5	Cremación de residuos de carbón	0.6
Acetate	12.4	Otros	0.3
Gas natural	-----	TOTAL	100
Madera	0.3		

Fuente: Quadri, G. "La ciudad de México y la contaminación atmosférica", 1992

11.3.i.- Efectos provocados por los SO_x, en plantas

Los daños sobre las plantas debido a la variación de los niveles de SO_x; son el resultado de diversas exposiciones. A elevadas concentraciones, se observan áreas muertas en las hojas cuando son expuestas a corto plazo; se secan y usualmente adquieren un tono blanquecino o marfil. La exposición a menores concentraciones durante períodos más prolongados, ocasiona lesiones crónicas caracterizadas por un amarillamiento gradual de las hojas; causado por la dificultad en el mecanismo sintetizador de clorofila_(Pekim, 1974).

11.3.ii.- Efectos provocados por los SO_x, en el hombre.

La mayor parte de los efectos del SO₂ están relacionados con la irritación del sistema respiratorio. En el cuadro 12 se indican los efectos para algunas concentraciones. Los niveles que se necesitan para producir respuestas detectables en el hombre son muy superiores a las que causan daños en las plantas.

Cuadro 12.- Efectos en el hombre.

Concentración	Efectos a la salud
0.2 ppm	La menor concentración que causa respuesta en el hombre. Umbral para la introducción de reflejos condicionados centrados en el cortex cerebral.
0.3 ppm	Umbral para el reconocimiento de sabores.
0.5 ppm	Umbral para el reconocimiento de olores.
1.6 ppm	Umbral para la introducción de una constricción bronquial reversible en individuos no dañados.
8.0-12.0 ppm	Causa una inmediata irritación a la garganta.
10.0 ppm	Causa irritación en los ojos.
20.0 ppm	Causa los inmediatos.

Fuente: Wark, K. "Contaminación del aire. Origen y control", 1992

Se conocen los efectos a largo plazo que resultan de una prolongada exposición a bajos niveles de SO₂. Los estudios muestran una clara correlación entre la incidencia de infecciones respiratorias entre los niños y el nivel de contaminación por SO₂ de su ambiente. La frecuencia de éstas y una disminución en las funciones respiratorias aumentan según el incremento del tiempo de residencia de un niño en una zona contaminada.^(Wark y Warner, 1992)

II.3.iii.- Efectos provocados por los SO_x, en materiales.

Buena parte de los daños a los materiales debidos a la contaminación por SO_x, son ocasionados por el vapor del ácido sulfúrico altamente reactivo. Con relación a la corrosión de materiales Quadri y Sánchez (1992) mencionan que:

"Se han hallado las siguientes correlaciones en lo referente a la corrosión de los materiales:

- 1) Las crecientes tasas de corrosión se dan en áreas industriales.*
- 2) Las tasas de corrosión son superiores en otoño e invierno, cuando los contaminantes particulados y los óxidos de azufre están más concentrados, debido a la combustión de los carburantes usados en la calefacción.*
- 3) Estudios efectuados con paneles de acero expuestos a la intemperie en diversos puntos de Chicago, pusieron de manifiesto una correlación entre la tasa de corrosión (medida por la pérdida de peso) y las concentraciones de SO₂"*^(Quadri y Sánchez, 1992)

Los ácidos sulfurosos son capaces de atacar gran variedad de materiales de construcción incluyendo; caliza, mármol, pizarras de techo y mortero. Los textiles de nylon, especialmente las medias, presentan debilitamiento a causa del SO₂ o por un aerosol del ácido sulfúrico.^(Wark y Warner, 1992)

II.4- Las partículas suspendidas totales (PST).

Las PST son producidas a partir de procesos naturales, biológicos y antropogénicos. Los de origen natural se componen principalmente de la erosión de suelos y erupciones volcánicas. Las de origen biológico son restos orgánicos de plantas y animales, esporas, virus, etc. Los procesos antropogénicos incluyen la quema y uso de combustibles fósiles.^(Mexico City Government, 1991)

Su deposición y dispersión dependen de sus propiedades fisicoquímicas y las condiciones meteorológicas. Se emplean diversos términos (cuadro 13) para clasificar las partículas arrastradas por el viento. Entre las partículas que presentan un mayor interés están las menores a $10\mu\text{m}$ (PM10), partículas menores a $2.5\mu\text{m}$ (PM2.5) y partículas aerobiológicas.^(Quadri y Sánchez, 1992)

La reducción en la visibilidad es resultado de la absorción y dispersión de las partículas por las reacciones en la fase gaseosa. Esto resulta desagradable para el individuo y puede provocar fuertes efectos psicológicos. La visibilidad depende de la capacidad del ojo para distinguir un objeto que esté en contraste con el fondo y la transmisión de la luz a través de la atmósfera. Los cambios de contraste se deben a la introducción o dispersión de la luz en la línea de mira debido a las condiciones de la atmósfera.^(Wark y Warner, 1992) Cuando el ojo puede distinguir la diferencia entre el objeto y el fondo, se dice que el objeto está fuera del límite de visibilidad.^(Wark y Warner, 1992)

Cuadro 13. Clasificación de partículas.

Partículas	Cualquier material excepto agua no combinada que exista en estado sólido, líquido en la atmósfera o en una corriente de gas en condiciones normales. Varía su tamaño entre 0.001 a $500\mu\text{m}$.
Aerosol	Una dispersión de partículas microscópicas, sólidas o líquidas, en medios gaseosos.
Pulvo	Partículas de 0.001 a $30\mu\text{m}$ (mayor que el coloidal), capaces de estar en suspensión temporal en el aire.
Ceniza Fina	Partículas de ceniza finamente divididas y arrastradas por el gas de la combustión. Las partículas pueden contener combustible no quemado. Tamaño entre 1 y $100\mu\text{m}$.
Niebla	Aerosol visible (entre 0.001 y $10\mu\text{m}$).
Vapores	Partículas formadas por condensación, sublimación o reacción química, predominantemente mayores a $1\mu\text{m}$ (humo o tabaco).
Nebulosa	Dispersión de pequeñas gotas de líquido de suficiente tamaño como para caer desde el aire ($0.001\mu\text{m}$ - $10\mu\text{m}$).
Partícula	Más discreta que materia sólida o líquida.
Humo	Partículas pequeñas arrastradas por los gases, que resultan de la combustión (0.001 - $3\mu\text{m}$).
Hollín	Una aglomeración de partículas de carbón (0.01 - $170\mu\text{m}$).

FUENTE: K. Wark et al (1992). "Contaminación del aire, origen y control"

II.4.i.- Efectos provocados por las PST.

En lo referente a éste tópico Wark y Warner (1992) mencionan que: *"Dependiendo de su composición química y estado físico, las partículas causan grandes daños a los materiales. Las partículas ensucian las superficies, con solo asentarse sobre ellas. Pueden causar daños químicos directos por corrosión y por la acción de sustancias químicas corrosivas absorbidas o adsorbidas."*

En los vegetales se ha visto que las partículas que contienen fluoruro parecen causar daños y el óxido de magnesio ha dado como resultado un insatisfactorio crecimiento de la planta.

Las partículas solas o en combinación con otros contaminantes representan un peligro para la salud. Entran al cuerpo por las vías respiratorias y más del 50% de entre 0.01 y 0.1µm se depositan en las cavidades pulmonares.

Pueden interferir con uno o más de los mecanismos que despejan usualmente al aparato respiratorio o puede actuar como un conductor de una sustancia tóxica absorbida.

En el cuadro 14 se presenta la relación entre la concentración de partículas y los efectos producidos.

Se indica la norma primaria de la calidad del aire para Estados Unidos. Los valores superiores a los indicados se consideran perjudiciales para la salud del hombre".

Cuadro 14.- Efectos de las partículas suspendidas totales.

Conc [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Tiempo de Medición	Efectos
60 - 180	Media geométrica anual con dióxido de azufre y humedad relativa	Acceleración de la corrosión en láminas de acero y cinc.
75	Media anual	Norma de calidad del aire ambiente.
150	Con humedad relativa menor del 70%.	Visibilidad reducida a 5 millas.
100 - 150	=====	Luz solar directa reducida a un tercio.
80 - 100	Con niveles de sulfatos de $30\mu\text{g}/\text{cm}^2$ al mes.	Puede ocurrir un aumento en la tasa de mortalidad de personas mayores de 50 años.
100 - 130	Con $\text{SO}_2 > 120\mu\text{g}/\text{m}^3$.	Es posible que los niños experimenten un aumento en la incidencia de enfermedades respiratorias.
200	Promedio de 24h y SO_2 mayor a $250\mu\text{g}/\text{m}^3$.	La morbilidad de los obreros industriales puede ser causa en el aumento en el ausentismo.
260	Máximo una vez cada 24h.	Norma de calidad del aire ambiente.
300	Máxima de 24h y SO_2 mayor a $630\mu\text{g}/\text{m}^3$.	En los pacientes con bronquitis crónica puede que se presente empeoramiento agudo de los síntomas.
750	Promedio de 24h y SO_2 mayor a $715\mu\text{g}/\text{m}^3$.	Puede ocurrir un número excesivo de muertes y un considerable aumento en las enfermedades.

FUENTE: K. Wark et al (1992). "Contaminación del aire, origen y control"

II.5.- Los hidrocarburos y oxidantes fotoquímicos.

Los hidrocarburos (HC) son contaminantes primarios y precursores de los llamados oxidantes fotoquímicos. De hecho los principales efectos de la contaminación por HC son causados por compuestos resultantes de las reacciones atmosféricas de éstos (cuadro 15) (Wark y Wamer, 1992).

Cuadro 15. Efectos sobre la salud debido al ozono y los oxidantes fotoquímicos.

Concentración		Ozono	
[ppm]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Tiempo de exposición	Efectos
0.02	40	1 hora	Grietas en el hule estirado.
0.03	60	8 horas	Daños en la vegetación.
0.10	200	1 hora	Aumento en la resistencia a la respiración.
0.10	500	Horas continuas de trabajo.	Irritación en la nariz y la garganta, constricción del pecho.
2.00	3,900	2 horas	Tos violenta.

Concentración		Oxidantes fotoquímicos	
[ppm]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Tiempo de exposición	Efectos
0.05	100	4 horas	Daños a la vegetación.
0.10	200		Irritación a los ojos.
0.13	250	Máximo de una hora al día.	Agravación de las enfermedades respiratorias.
0.03		1 hora	Impedimentos en el rendimiento de los atletas.
0.08	160	Máximo de una hora al día.	Norma para la calidad del aire.

Fuente: K. Wark et al. "Contaminación del aire, origen y control" (1992).

Seinfeld (1978) dice que: "En general los HC se encuentran en los tres estados físicos (gas, líquido y sólido) a temperatura ambiente. El estado físico característico de cada uno está relacionado con el número de carbonos que forman la molécula. Los que contienen de uno a cuatro átomos de carbono son gases a temperatura ambiente; aquellos con cinco o más son líquidos o sólidos. La tendencia al estado sólido aumenta con el número de átomos de carbono. Los hidrocarburos más importantes en la contaminación atmosférica son los que se presentan en estado gaseoso. La diversidad de clases de los compuestos se pone de manifiesto cuando se considera su reactividad y su toxicidad".

Para la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM), se han realizado análisis, por medio de cromatografía de gases, en el laboratorio de química de la atmósfera del Instituto Mexicano del Petróleo (Ariaga, et al. 1995), donde se han identificado de 250 a 300 diferentes hidrocarburos de 2 a 13 átomos de carbono. Los compuestos más abundantes se presentan en el cuadro 16.

Cuadro 16. Compuestos más abundantes en la ZMCM presentados en orden decreciente

< < 1. Propano	6. n-Pentano	11. n-Hexano
2. n-Butano	7. Acetileno	12. M+B-Eter (MTBE)
3. Tolueno	8. Etileno	13. Benceno
4. i-Pentano	9. m-p-Xileno	14. Etano
5. i-Butano	10. 2-m-Pentano	> > 15. Propileno

Fuente: Ariaga et al. 1995. "Caracterización de especies atmosféricas e intermedias fotoquímicas"

En el reporte de la CONADE (1989) se aduce que: "Las emisiones antropogénicas de HC proceden de actividades que implican al petróleo, que es una compleja mezcla de los compuestos de carbono.

Las actividades típicas en esta categoría son la refinación y transporte del petróleo y la combustión de sus productos resultantes. El transporte es la principal fuente, con algo más de la mitad del total de emisiones.

La gasolina, compleja mezcla de HCs y ligeras cantidades de aditivos, es muy volátil y se evapora con rapidez. Esta, y los carburantes no quemados que salen del escape de los vehículos; son los dos principales mecanismos de emisión de las fuentes móviles. También, la gasolina se evapora durante el llenado de las cisternas, el de los tanques de las gasolineras y el de los depósitos de automotores.

Otras fuentes importantes incluyen la evaporación de disolventes orgánicos, incineraciones agrícolas y pérdidas en procesos industriales. La evaporación de disolventes orgánicos de pinturas, barnices, lacas, revestimientos y otros productos similares. Los procesos implicados en la fabricación de estos productos constituyen también fuentes potenciales de hidrocarburos”.

H.f5.i.- Efectos provocados por los HC.

La mayoría de los HC no son tóxicos para las plantas a las concentraciones atmosféricas ambientales; sin embargo, son los principales precursores del ozono y los oxidantes fotoquímicos que, para las plantas, son sensiblemente dañinos.^(SEDOE, 1988)

El etileno (C_2H_4) es el único que se sabe causa efectos adversos para la vegetación a concentraciones de 1ppm o menos. El efecto principal es la inhibición del crecimiento, cambios de color en las hojas y la muerte de las partes florales. En el hombre, los vapores son mucho más irritantes para las membranas mucosas, y causan lesiones sistemáticas al ser inhalados.^(Tuck, 1984 y Wark y Warner, 1992)

II.g.- Normatividad de la calidad del aire.

Las políticas de control ambiental establecen las concentraciones máximas permisibles de contaminantes para asegurar la protección de la salud y bienestar de las personas, los animales y los materiales. Además sirve como referencia para evaluar el impacto ambiental (PICCA, 1990).

Quadri y Sánchez (1992) mencionan, con relación a los niveles de la calidad del aire para la ZMCM que: "Se establecieron los criterios de evaluación de la calidad del aire (Diario Oficial del 29 de noviembre de 1982), realizado por el Departamento del Distrito Federal (cuadro 17), en la modalidad del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).

La determinación del IMECA se realiza a partir de promedios horarios ponderados por medio de los valores de referencia que se presentan en el cuadro 18; donde un valor IMECA 100 puntos equivale a la norma para cada contaminante y un valor IMECA 500 representa niveles de contaminación para los cuales existen evidencias de daños significativos a la salud.

CUADRO 17. Criterios de evaluación de la calidad del aire

Contaminante	Tiempo de Exposición	Conc. límite	Notas
BIOXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	24 horas	0.13 ppm	1. Los criterios de evaluación de México no especifican la frecuencia anual con que puede aceptarse que se exceda el límite.
MONOXIDO DE CARBONO (CO)	08 "	13.0 ppm	
OZONO (O ₃)	01 "	0.11 ppm	
BIOXIDO DE NITROGENO (NO ₂)	01 "	0.21 ppm	2. Los criterios de evaluación de plomo y de partículas menores a 10 micrómetros no son oficiales
PLOMO (Pb) ²	03 meses	1.50 ug/m ³	
PARTICULAS SUSP. TOTALES	24 horas	275 ug/m ³	
PARTICULAS S. FRACC. RESP. (PM ₁₀) ²	24 "	150 ug/m ³	

Fuente: Quadri, G. "La ciudad de México y la contaminación atmosférica", 1992

CUADRO 18. Concentraciones límite

IMECA	Calidad del Aire	Contaminante y Tiempo promedio					O ₃ (1h)
		PST (24h)	PM10 (24h)	SO ₂ (24h)	NO ₂ (1h)	CO (8h)	
000 - 100	Satisfactoria	275 *	150 *	0.13 **	0.21 **	13 **	0.11 **
101 - 200	No Satisfactoria	546 *	350 *	0.35 **	0.66 **	22 **	0.23 **
201 - 300	Mala	637 *	420 *	0.56 **	1.10 **	31 **	0.35 **
301 - 500	Muy Mala	1000 *	600 *	1.00 **	2.00 **	50 **	0.60 **

** > ug/m³

** > ppm

Fuente: Quadri, G. "La ciudad de México y la contaminación atmosférica", 1992.

CAPITULO III.- OBJETIVOS

a.- General

Actualización y comparación del inventario de emisiones realizado por la Agencia Internacional de Cooperación Japonesa (JICA), para monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en una zona piloto del Distrito Federal.

b.- Particular

1. Determinar una zona piloto en el Distrito Federal y realizar una descripción socioeconómica de manera que se pueda evaluar la situación actual de sus vías de tránsito.

2. Describir las variables vehiculares definidas por JICA (velocidad de manejo, distancia recorrida al día) para determinar el volumen de recorrido necesario en el cálculo de las emisiones.

3. Precisar los factores de emisión (BER) para CO y NO_x, actualizados a 1990, de acuerdo con el modelo MOBILE-MCMA para vehículos automotores. También necesarios para el cálculo del volumen de emisiones.

4. Calcular y distribuir las emisiones de CO y NO_x obtenida en la zona piloto para compararla con la distribución reportada por JICA.

CAPITULO IV.- METODO

IV.a.- Desarrollo

Para llevar a cabo la actualización y comparación del inventario de emisiones se realizó ésta secuencia de actividades, siguiendo la misma metodología que llevó a cabo JICA en 1988.

IV.a1. Recopilación bibliográfica.

Recopilación de información bibliográfica referente a inventarios de emisión, contaminantes y área de estudios.

IV.a2. Determinación de la zona piloto

Comparación entre información bibliográfica de las delegaciones del Distrito Federal destacando las más importantes en diferentes aspectos que estén relacionados con el problema de la contaminación por fuentes móviles.

IV.a3. Descripción de la zona piloto

Para poder describir de manera detallada y gráfica a la zona piloto se realizaron dos actividades que se detallan adelante.

IV.a3.i. Reconocimiento de la zona.

Realización de un recorrido de inspección por las principales vías de la zona de estudio para determinar el grado en que se encuentra el problema vial de ésta, sus horas pico y las vías con congestionamientos de tránsito más frecuentes.

IV.a3.ii. Área de las vías de tránsito.

Con ayuda de un planímetro se mide el área de la zona piloto en un mapa a escala y se divide en rejillas que midan un kilómetro cuadrado, después se cuantifica la superficie real que ocupan las vías de tránsito (calles y vías rápidas) de cada cuadrante restando las zonas industriales y deportivas de la delegación.

IV.a4. Variables vehiculares.

Las variables que se manejaron fueron el volumen de recorrido y el factor de emisión; el primero se obtiene del informe realizado por la JICA sin ningún cambio, únicamente se realiza una interpolación descrita en el anexo 3, y la manera en como lo determinaron está a continuación:

* **VELOCIDAD DE MANEJO.** La JICA determinó el recorrido diario por tipo de vehículo y la velocidad promedio (Km./h) con que se viaja por cada uno de los tipos de vías dentro de la delegación.

* **DISTANCIA RECORRIDA AL DIA.** Lo determinaron multiplicando la velocidad promedio (Km/h) por las horas de recorrido al día (h/día) para diferentes automotores, tanto en calles como en vías rápidas.

* **VOLUMEN DE RECORRIDO.** La distancia recorrida al día (Km/día*vh) y la densidad vehicular se multiplicaron en ambos tipos de vías dando por resultado el volumen en (Km/Km²*día).

El segundo, el factor de emisión se determina a partir de una corrida con el modelo en computadora denominado MOBILE-MCMA (ver capítulo II.e2.ii) de acuerdo con las siguientes especificaciones:

* **FACTOR DE EMISION.** Obtención del factor de emisión con ayuda del modelo MOBILE-MCMA. El modelo determina el factor de emisión para monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno para varios tipos de vehículos, tomando como datos de entrada: el tipo de gasolina y sus características fisicoquímicas; año-modelo del vehículo con sus condiciones de operación y variables ambientales.

IV.a5. Cálculo de emisiones.

Con ayuda del reporte de JICA se determina la manera de evaluar el volumen de emisiones para calles; vías rápidas; y ambas vías. Se realizan los cálculos para encontrar éste volumen por kilómetro cuadrado (ver anexo 3) y después se multiplica por cada área resultante del cálculo en los cuadrantes de la zona piloto.

IV.a6. Distribución.

Los valores resultantes de los niveles de emisión obtenidos para cada cuadrante de acuerdo a los intervalos reportados por JICA, se ubican en un mapa para que se compare la distribución del presente trabajo y la reportada por JICA.

IV.b.- Resultados

La presente tesis se basa en su totalidad en el método empleado por la JICA para realizar un inventario de emisiones, el cual es un inventario de tipo total (ver Cap. II.d1). A este tipo de estudios se le puede identificar como una investigación mixta de deducción (Zorrilla, Torres, 1992), porque la información se obtuvo por medios documentales y de campo:

1. OBTENCION DE DATOS. Se revisó una serie de artículos, libros y reportes técnicos de la Subdirección de Protección Ambiental, de la biblioteca del I.M.P. y de documentación obtenida del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). La recolección de información de campo se efectuó mediante visitas directas a la zona de estudio y se registraron las condiciones viales de distintas zonas a diferentes horas del día junto con un registro fotográfico.

2. TRATAMIENTO DE DATOS. Se realizó una ordenación y clasificación de la información en fichas guardadas en documentos en la computadora. Los registros numéricos se guardaron en archivos de hojas de cálculo. Se utilizó un software llamado MOBILE-MCMA que se corrió en una computadora personal, con procesador tipo 386.

3. INTERPRETACION DE LOS DATOS. Comparación cualitativa de los datos teórico-experimentales con los datos resultantes de los cálculos realizados.

4. ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACION. Límites y advertencias:

ñLa investigación se llevó a cabo en una zona escogida del D.F. que presente todas o la mayoría de las particularidades de una zona metropolitana.

ñEn esta investigación no se pretende evaluar la veracidad o validez de las herramientas utilizadas dentro del procedimiento para llevar a cabo un inventario de emisiones.

ñEn esta investigación se quiere comprobar si el procedimiento para realizar el inventario de emisiones es sencillo y reproducible para otras áreas en zonas metropolitanas.

IV.b1. Recopilación bibliográfica.

La información referente a inventarios de emisión en la Ciudad de México, fue muy escasa. Algunos estudios ^(Banco Mundial, 1990; CONADE, 1989; PICCA, 1990; DDF, 1991; Klausmeier et al., 1991; Kron et al., 1978), donde se manejan inventarios de emisiones, solo indican la fuente bibliográfica del método sin describirlo; que en algunos es muy antiguo. En general la información disponible presenta resultados concretos que se refieren a las emisiones producidas en toda la Zona Metropolitana de la Ciudad de México con especial énfasis para realizar análisis políticos y económicos relacionados con la protección al ambiente.

Solo en el informe final "The study on air pollution control plan in the Federal District" ^(JICA, 1988) y en el estudio "Air pollution control in the Mexico city metropolitan area emissions inventory for mobile sources. Results of a pilot study in MCMA" ^(Batmann et al. 1922), se presenta la distribución por kilómetro cuadrado de contaminantes como CO, NOx, SO2 emitidos, tanto por fuentes fijas como por las fuentes móviles, en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Estos son los inventarios más actualizados que se encontraron y que presentan una descripción de las actividades que se realizaron. Sin embargo el primero presenta un método más realizable ya que está descrito en un informe publicado; mientras que el segundo permanece aún en proceso y sólo aparece en un informe preliminar, sin la descripción de su método.

Dentro de las actividades que la JICA realizó para determinar el volumen de emisiones se halló que el factor de emisión se obtuvo por medio de pruebas en laboratorios con dinamómetro (anexo 4); sin embargo, dentro de la búsqueda bibliográfica, se encontró que el factor de emisión también se puede obtener con un modelo en computadora denominado MOBILE-4, con el cual se ahorra mucho tiempo y los valores resultantes son semejantes a los obtenidos con la prueba tradicional del dinamómetro.

Sin embargo éste modelo está preparado para las condiciones específicas de ciertas ciudades de Estados Unidos, pero también se encontró que éste modelo ^(Lacy, 1993) fue adaptado a las condiciones de la Ciudad de México el cual se utilizó en el presente trabajo y se designa como MOBILE-MCMA.

Se obtuvo información referente a actividades socioeconómicas e infraestructura como: área, densidad poblacional, uso del suelo y determinación de las vías de tránsito (tipo y longitud) y el parque vehicular que circula, en diferentes delegaciones del Distrito Federal (CONADE, 1989; INEGI, 1991; INEGI, 1992; IICA, 1988).

En el cuadro 19 se observa la densidad poblacional y el área de todas las delegaciones del D.F. (Babiano et al., 1992). La de mayor densidad por kilómetro cuadrado se presentó en Iztacalco y la menor en Milpa Alta.

Las delegaciones que le siguen, de manera decreciente en densidad, son Cuauhtemoc, V. Carranza, Benito Juárez y G. A. Madero. Por su área la delegación más grande es Tlalpan, le siguen en tamaño Milpa Alta, Xochimilco, Tláhuac e Iztapalapa. La más pequeña es Iztacalco.

Cuadro 19. Densidad poblacional y área por delegación.

Delegación	**Densidad hab/km ²	Área (km ²)
Iztapalapa	12 483.20	119.40
G. A. Madero	14 575.49	87.00
A. Obregón	7 485.19	85.86
Coyoacán	11 765.92	54.40
Cuauhtemoc	17 859.15	33.09
V. Carranza	15 096.69	34.42
Tlalpan ---	1 587.28	ú 305.47
Azcapotzalco	13 755.08	34.51
Iztacalco ---	ú 19 282.66	£ 23.06
B. Juárez	14 829.49	27.50
Miguel Hidalgo	9 573.36	42.50
Xochimilco	2 128.34	127.40
Tláhuac	2 265.58	91.23
M. Contreras	2 769.48	70.42
Cuajimalpa	1 554.14	77.00
Milpa Alta---	£ 228.74	278.23

Fuente: Datos preliminares. INEGI, 1991

En el cuadro 20 se presenta el porcentaje correspondiente a la zona rural y urbana que tienen las delegaciones, así como los cinco diferentes usos del suelo: habitacional, de servicios, industrial, espacios abiertos y mixto (DDF, 1990).

En éste cuadro se observa que cuatro delegaciones están cien por ciento urbanizadas y son: Benito Juárez, Cuauhtemoc, Iztacalco y Venustiano Carranza. Solo se pueden comparar estas cuatro porque las demás presentan un porcentaje variable de urbanización que altera virtualmente las proporciones del uso del suelo y no constituyen una representatividad de una megametrópoli.

De esta manera y con relación al uso habitacional se observa que el mayor porcentaje lo tiene la delegación Benito Juárez, seguido por Iztacalco, V. Carranza y el menor en Cuauhtemoc.

El uso del suelo de servicios es más extensivo en Cuauhtemoc; secundados por las delegaciones B. Juárez, V. Carranza e Iztaacalco en manera decreciente. Las zonas industriales y áreas verdes son mayores en la delegación Iztaacalco y en mucho menor cantidad en Cuauhtemoc, V. Carranza y B. Juárez. Finalmente el uso de suelo mixto es mayor en la delegación Cuauhtemoc y V. Carranza y mucho menor en Iztaacalco. No se dispuso de información referente al uso del suelo mixto en la delegación B. Juárez.

Cuadro 20. Uso del suelo en las delegaciones (% del área total).

Delegación	Z. rural	Z. urb.	Habit.*	Serv.*	Indust.*	E. Ab.*	Mixto*
Iztapalapa	19.35	80.65	63.9	20.2	6.0	3.3	6.6
G. A. Madero	16.20	83.80	xxxx	xxxx	xxxx	23	xxxx
A. Obregón	xxxx	xxxx	78.1	3.0	15.1	1.5	1.5
Coyoacán	13.80	86.20	57.46	3.79	3.14	19.26	19.26
Cuauhtemoc	111	100.00	20.6	38.2	4.8	1.5	34.9
V. Carranza	111	100.00	49.0	18.0	3.0	2.0	28.0
Iztaacalco	111	100.00	51.6	17.8	11.5	10.5	8.6
B. Juárez	111	100.00	71.3	24.0	2.9	1.8	xxax
Tlalpan	86.60	13.40	52.4	9.0	1.4	13.7	23.5
Azacapozalco	1.70	98.30	48.7	14.5	24.7	2.9	9.2
Miguel Hidalgo	2.09	97.91	47.0	5.0	8.0	28.0	12.0
Xochimilco	62.01	37.99	85.0	0.7	5.0	8.9	0.4
Tláhuac	72.20	27.80	71.8	5.0	5.0	1.7	3.1
M. Contreras	72.60	27.40	80.0	xxxx	xxxx	20.0	xxxx
Cuajimalpa	65.43	34.57	95.0	-----	-----	-----	-----
Milpaha	95.40	4.60	62.6	14.9	9.1	-----	13.8

* : El porcentaje de estas solo incluye la proporción de la zona urbanizada.

xxxx: No se encontró información

-----: Las áreas correspondientes se encuentran englobadas en el rubro de uso mixto.

Fuente: DDF,

1990)

En el cuadro 21 se presenta la información referente al ex-Sistema de Autotransporte Urbano de Pasajeros, Ruta 100 (R-100)_(INEGI, 1992a-b), donde se observa el total de rutas, los kilómetros recorridos en un día dentro de la delegación, el número de unidades con que dispone y la cantidad de camiones que hay por Km².

Cuadro 21. - Características que presenta el ex-Sistema de transporte público R-100

Delegación (Área Km ²)	Total de rutas	Kilómetros recorridos	Núm. de camiones	Camiones por Km ²
Iztapalapa (119.4) _(INEGI, 1992b)	70	1,132.2	824	6.9
Gustavo A. Madero (87.0) _(INEGI, 1992a)	45	774.0	765	8.8
Coyoacán (54.4) _(INEGI, 1992a)	64	686.0	704	12.9
Azacapozalco (34.51) _(INEGI, 1992a)	29	381.8	435	12.6
Venustiano Carranza (34.42) _(INEGI, 1992b)	50	438.1	663	19.3
Benito Juárez (27.5) _(INEGI, 1992b)	48	302.0	626	22.8
Cuauhtemoc (33.09) _(INEGI, 1992a)	62	485.3	1,022	30.9
Iztaacalco (23.06) _(INEGI, 1992a)	37	270.5	815	34.5

El cuadro 21 está organizado de manera decreciente según el recorrido que realizan, ya que este parámetro determina la demanda de transporte. En él se puede observar que la delegación Iztacalco presenta la mayor demanda seguida por Cuauhtemoc y B. Juárez. Además que la mayor cantidad de camiones que cruza la delegación por kilómetro cuadrado es Iztacalco, seguida por Cuauhtemoc e Iztapalapa.

La vialidad primaria de ocho delegaciones^(INEGI, 1992a-b) que se encontró información está en el cuadro 22. Esta se refiere a la cantidad medida en kilómetros de vías rápidas y ejes viales que cruzan la delegación. Al comparar la vialidad con los espacios abiertos se observa que hay cierta relación inversa; ya que mientras más vialidad por kilómetro cuadrado presenta una delegación menos espacios abiertos tiene. Cabe hacer notar que la delegación Iztacalco es la cuarta con mayor vialidad y tiene 10.5% de espacios abiertos.

Cuadro 22.- Comparación entre la vialidad primaria y los espacios abiertos.

Delegación	Vialidad primaria por Km ² .	Proporción de espacios abiertos.
Cuauhtemoc ^(INEGI, 1992a)	2.739	1.5
Benito Juárez ^(INEGI, 1992b)	3.250	1.8
Gustavo A. Madero ^(INEGI, 1992c)	*	*
Venustiano Carranza ^(INEGI, 1992b)	1.809	2.0
Coyoacán ^(INEGI, 1992c)	0.866	19.3
Iztapalapa ^(INEGI, 1992d)	0.612	3.3
Azcapotzalco ^(INEGI, 1992a)	1.165	2.9
Iztacalco ^(INEGI, 1992e)	1.587	10.5

* No se encontró información de la delegación G. A. Madero

IV.b2. Determinación de la zona piloto

Con base en la información anterior se observa que principalmente destacaron tres delegaciones. La delegación Cuauhtemoc sobresale por estar totalmente urbanizada, con el mayor uso de suelos con servicios; presenta la mayor demanda de transporte público y es la segunda con mayor cantidad de camiones de transporte público; es la segunda que presenta gran cantidad de vialidad primaria por kilómetro cuadrado.

La delegación Iztacalco tiene la mayor densidad poblacional en la menor área; está totalmente urbanizada, presenta zonas industriales y áreas verdes en mayor proporción además de ser la segunda con uso habitacional; tiene la mayor cantidad de camiones circulando por kilómetro cuadrado aunque es la tercera con mayor demanda de transporte público R-100; y es la cuarta con mayor vialidad.

La delegación Benito Juárez está totalmente urbanizada, presenta el mayor porcentaje de su superficie con uso del suelo habitacional y de servicios; tiene la mayor cantidad de vialidad primaria por Km² y menor proporción de espacios abiertos.

Por lo anterior, se seleccionó la delegación Iztacalco como la más adecuada para representar una zona piloto, ya que presenta los conflictos comunes de una zona urbana con problemas ambientales causados por fuentes móviles.

IV.b3. Descripción de la zona piloto

IV.b3.1. Reconocimiento de la zona piloto.

En el mapa 1 se ubica la vialidad y el uso de suelo que predominan en la delegación Iztacalco. La vialidad primaria (vías principales), las secundarias y calles cuentan con todos los servicios viales como semáforos, alumbrado amarillo especial para vías, señalamiento de carriles y acotamientos; la carpeta asfáltica pavimentada son todas las calles que no pasan de 2 carriles, cuentan con alumbrado y acotamientos; los pasos peatonales y vehiculares son vías no precisamente pavimentadas y en algunos casos sin alumbrado público.

Del recorrido por las principales vías de la delegación Iztacalco se encontraron las principales vías de tránsito indicadas en el cuadro 23. En ellas hay de 4 a 8 carriles y todas cuentan con autotransporte pública de pasajeros, taxis colectivos con ruta fija y taxis.

Cuadro 23. Principales vías que se encuentran en la delegación.

Calz. I. Zaragoza. Av. Canal de San Juan y Calle 7. Calz. de Tlalpan. Viaducto Piedad. Calz. Río Churubusco.	Continuación Calz. de la Viga. (EJE 1 OTE) A. Molina Enriquez. (EJE 2 OTE) Av. Cong. de la Unión. (EJE 3 OTE) Fca. del Paso y Troncoso. (EJE 4 OTE) Calz. Río de Churubusco.	(EJE 5 OTE) Av. Javier Rojo Gómez. (EJE 3 SUR) Anil FF CC de Río Frio. (EJE 4 SUR) de R. Aolisco a Plutarco Elías Calles. (EJE 5 OTE) Playa Villa del Mar. (EJE 6 SUR) Playa Pie de la Cuesta.
--	--	--

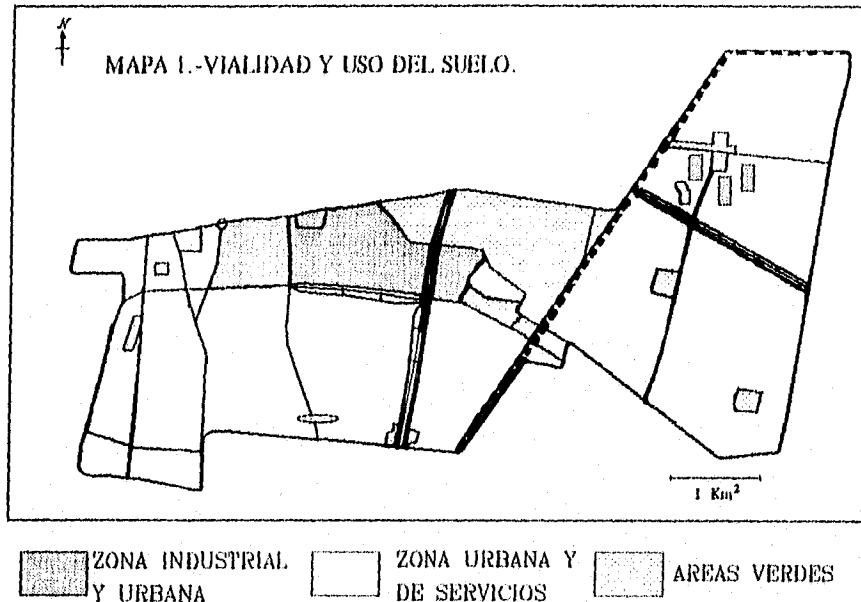
Además de las vías principales, las vías secundarias y calles que forman parte de las rutas de los taxis colectivos con ruta fija se agrupan en el cuadro 24.

Cuadro 24. Vías que incluyen la ruta de los taxis colectivos con ruta fija.

Coruña Calz. Sta. Anita Playa Roqueta Tezonitla Recreo Canela Ote. 207 Ote. 241	Sur 20 Av. México zona del Metro Viaducto Playa Encantada Coyuya J. Alvarez Vanilla Resina	Ote. 116 Sur 12 Sur 8 Calle 1 zona del Metro Pantitlán Av. de las Torres Av. Apalaco Madero	Ote. 106 Ote. 102 Ote. 221 Av. Norte Av. Puebla Av. Texcoco Av. Guadalupe zona del M. Zaragoza.
--	---	--	--

Al realizar el recorrido por las vías de la delegación se observó la carga vehicular que tiene ésta así como las horas pico en las principales avenidas.

El circuito interior (Calz. Río de Churubusco) y el Viaducto Miguel Alemán se vuelven muy conflictivos de las 7:30 a las 10:00h así como de las 18:30 a las 20:30h en sentido sur a norte y de norte a sur para el circuito respectivamente, mientras que para el viaducto Miguel Alemán se presenta en sentido oriente a poniente y viceversa.



En el recorrido se tomaron una serie de fotografías que describe gráficamente la situación de las principales vías que presentaron más problemas de congestión en la delegación.

En la foto 1 (anexo 1) se presenta el eje 4 sur (P. E. Calles) casi al cruce con el eje 2 Ote. (Av. Congreso de la Unión) se ve que, por su sentido vial, se dirige de poniente a oriente y la carga vehicular se concentra durante la tarde y noche, hasta cerca de las 20:00 horas. En la foto 2 en el cruce con el circuito interior Río Churubusco, la vialidad es de poniente a oriente y de igual manera la carga vehicular se concentra durante la tarde y noche.

La foto 3 muestra el cruce del eje 3 sur (Rfo Frfo) con la calzada Rfo Churubusco. El eje 3 tiene el sentido vial inverso a las anteriores, esto es de oriente a poniente y en este cruce presenta carga vial más intensa durante la mañana hasta las 10:00-11:00h.

En la foto 4 se registró cruce del eje 1 Ote (Calz. Andrés Molina) con Plutarco Elías Calles, donde el tránsito de peseros es muy intensa. El eje 1 oriente cruza la delegación de norte a sur y en una de sus áreas más extensas; presenta vialidad moderada aunque con bastante afluencia y habitualmente, en ningún punto presenta problemas viales. El eje 2 Ote. que dentro de la delegación se llama Calz. de la Viga (foto 5) tiene una vialidad de sur a norte, su tránsito es ligeramente lento por que tiene demasiados semáforos y una carga vehicular moderada.

El circuito interior Rfo Churubusco (fotos 6) tiene la mayor carga vehicular y doble sentido hacia el norte y el sur, presenta períodos de mayor tránsito alternados durante la mañana y hasta cerca de las 6:00 de la tarde donde el tránsito aumenta drásticamente hasta las 10:00 de la noche; tiene gran cantidad de semáforos en el tramo que cruza la delegación y en todos presenta problemas viales en alguna hora del día.

La Av. J. Rojo Gómez (foto 7) cruza la otra zona industrial y sirve de vía de acceso a la central de abastos donde también se localizan bodegas de diferentes giros y empresas. Su circulación es de dos sentidos, presenta gran número de semáforos y gran carga vehicular en especial de camiones de carga , microbuses y transporte público. La vialidad se hace lenta a lo largo del día en diferentes zonas.

Las vías donde limita la delegación presentaron una vialidad moderada. La foto 8 muestra el cruce entre calz. de Tlalpan y Coruña, donde limita con la delegación Benito Juárez, sin embargo el límite sobre la calz. de Tlalpan solo cuenta con unos cuantos metros; las fotos 9 y 10 presentan los límites entre Av. Canal de San Juan y Av. Rfo Churubusco con el Edo. de México.

Las fotos 11 a la 16 presentan la Ciudad Deportiva Magdalena Mixhuca en diferentes puntos. La foto 11 muestra el lado sur limitado por el eje 3 sur; la foto 12, un acercamiento del Velódromo Ricardo Rodríguez; la foto 13, otra vista del velódromo junto con el deportivo; la foto 14, el Palacio de los Deportes y el puente del Circuito Interior; la foto 15, parte del Deportivo en la zona norte; la foto 16, el límite sureste de la ciudad deportiva.

IV.b4. Variables vehiculares.

De las actividades realizadas por JICA se retomó el volumen de recorrido que fue calculado para de toda la zona Metropolitana de la ciudad de México a partir de las variables vehiculares. Estas fueron la velocidad de manejo y la distancia recorrida al día. Para determinarlas se realizaron muestreos continuos en cada una de las delegaciones como el ejemplo del cuadro 26 y según la descripción del capítulo IV.a4. En el anexo 3 se presentan los cálculos para interpolar el volumen de recorrido de toda la zona Metropolitana de la ciudad de México a la delegación Iztacalco.

Cuadro 26.- Variables vehiculares para la delegación Iztacalco.

Número de vehículos que circulan por hora	253	vh/h.
Densidad vehicular distribuido por:	87	vh/km ²
Autos	62	"
Camiones	03	"
Camiones de carga	12	"
Contibus	20	"
Velocidad promedio	27.42	km/h
Distancia recorrida	20.4	km/h(vh)

Fuente: JICA, 1988

El factor de emisión para ambos contaminantes fue determinado con el modelo MOBILE-MCMA (ver cap: II.c2.ii) utilizando como datos de entrada: tipo de autos con modelos hasta 1990, altitud de 5,500 metros sobre el nivel del mar (msnm), temperatura de 77°C, presión de vapor Reid de 9.0 y velocidad de recorrido promedio de 30 Km/h.

En el cuadro 27 se presentan los datos resultantes, después de correr el modelo, pero sólo son para las calles. Los factores de emisión para vías rápidas se tomaron del reporte de JICA, 1988.

Cuadro 27.- Factor de emisión para HC, NOx Y CO calculado con el MOBILE-MCMA.

Factor de emisión (g/km) para:	De camiones	De autos	De todos
En calles: HC			
Total	29.380	8.0540	7.911
Escape	29.920	5.524	5.344
Evaporativo	6.262	1.847	1.872
En movimiento	0.459	0.403	0.409
Combustible	0.608	0.285	0.291
NOx	3.670	1.542	2.812
CO	424.539	80.190	128.940
En vías rápidas: NOx			19.55
CO			4.09

Los factores de emisión para CO y NOx en vías rápidas se tomaron del reporte de JICA, 1988 que corresponden a 23.81 g/km y 2.74 g/km respectivamente.

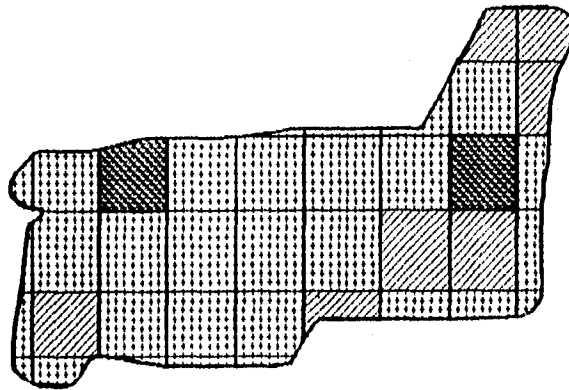
IV.b6. Distribución.

Debido a que los resultados obtenidos no pueden compararse cuantitativamente con los encontrados por JICA (1988), se utilizaron sus intervalos y se comparó solo la distribución.

En los mapas 3.1 y 3.2 se encuentra la distribución de emisiones para el monóxido de carbono resultante del estudio de JICA (1988) y del presente estudio respectivamente, y en los mapas 4.1 y 4.2 los respectivos para óxidos de nitrógeno.

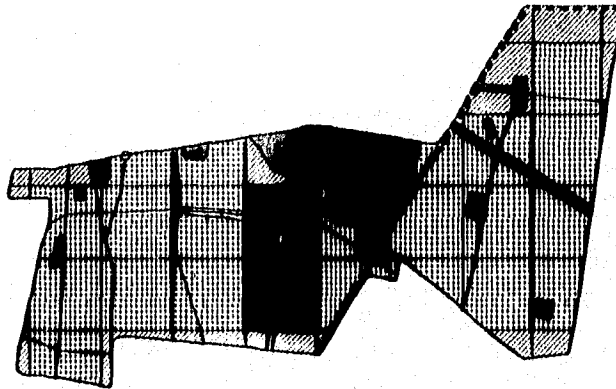
Al observar la distribución de emisiones de este estudio, se percibe que, en los mapas del presente estudio, los valores medios están en mayor proporción; los bajos corresponden a las áreas colindantes de la delegación y los altos a las vías rápidas; mientras que en los mapas reportados por JICA, 1988 también los valores medios están en mayor proporción, pero los valores bajos y altos no coinciden con alguna zona en particular.

COMPARACION DE LA DISTRIBUCION DE EMISIONES POR CO ENTRE EL
REPORTE DE JICA, 1988 Y EL PRESENTE ESTUDIO



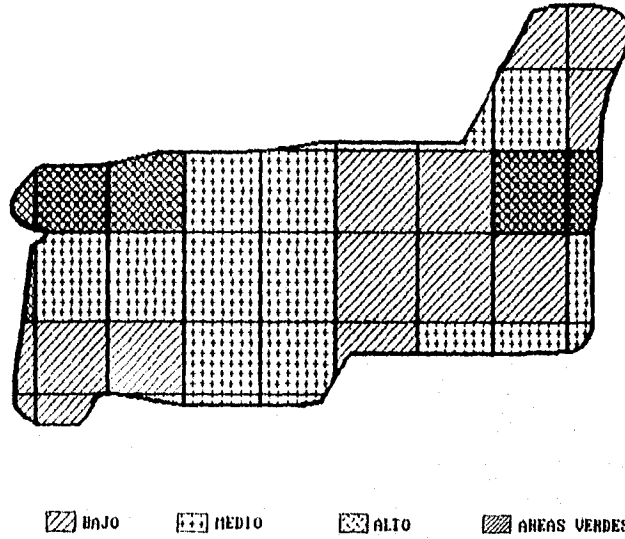
▧ BAJO ▨ MEDIO ▩ ALTO ▤ AREAS VERDES

Mapa 3.1.- Distribución de emisiones realizado por JICA, 1988, 1988

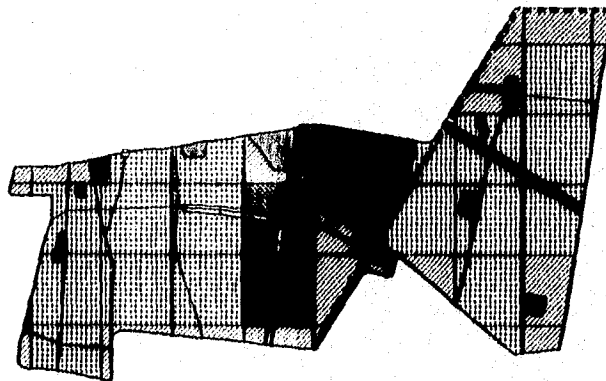


Mapa 3.2.- Distribución de emisiones determinado en este estudio.

COMPARACION DE LA DISTRIBUCION DE EMISIONES POR NOx ENTRE EL REPORTE DE JICA, 1988 Y EL PRESENTE ESTUDIO



Mapa 4.1.- Distribución de emisiones realizado por JICA, 1988, 1988



Mapa 4.2.- Distribución de emisiones determinado en este estudio.

CAPITULO V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos y que se encuentran descritos por subcapítulos.

V.1.- Recopilación bibliográfica.

En el informe "The study on air pollution control plan in the Federal District" que presentó la JICA, 1988; se describen las actividades para obtener el volumen de emisiones. En principio realiza un estudio socioeconómico de la zona de estudios y detalla ampliamente como se llevó a cabo la determinación del patrón de rutas, el trazo de las vías de tránsito así como las vías más importantes.

También explica la obtención de características viales por delegación como es la densidad vehicular y la velocidad de manejo promedio, las cuales son referidos para obtener el volumen de recorrido que es uno de los parámetros indispensables que se requiere para calcular el volumen de emisiones; el otro parámetro es el factor de emisión que fue calculado a partir de pruebas en dinamómetro*.

En la presente tesis se reprodujeron la mayoría de estas actividades porque es información que está disponible y puede ser actualizada. Sin embargo, se encontró que el procedimiento para determinar el volumen de recorrido no está explícito en el informe antes mencionado. Ese parámetro aquí fue usado para el cálculo de las emisiones.

Para ello se interpoló (anexo 3) al área específica de la zona piloto porque la JICA tiene definida esta variable para representar la cantidad de kilómetros recorridos al día por tipo de vehículo (autos, autobús, camión, combi, todos) y para cada tipo de vía (calles, vías rápidas, ambas vías), en toda la zona metropolitana de la ciudad de México.

Por otro lado, al realizar la evaluación socioeconómica de las delegaciones, se hizo distinción de las que presentan mayores problemas ambientales producidos por fuentes móviles. Para ello se definieron sus características urbanas y socioeconómicas, como se describen a continuación: En el cuadro 19 se pudo determinar que, con respecto a la densidad poblacional, la delegación Iztacalco supera en 84.2 veces a la delegación Tláhuac. Aunque hay que considerar que ésta última supera a la primera en casi 12 veces su extensión.

* Pruebas con dinamómetro: Determina en laboratorio la cantidad de emisiones según el tipo y el consumo de gasolina, operando en condiciones normales de manejo. (JICA, 1988).

Sin embargo, la delegación Benito Juárez tiene una extensión 1.2 veces mayor que la delegación Iztacalco, pero tiene 1.3 veces menos densidad de población; esto quiere decir que hay 15.5 hab/km² menos que en la delegación Iztacalco.

Tomando en cuenta las cuatro delegaciones totalmente urbanizadas que denota el cuadro 20 se encontró que la delegación Iztacalco tiene la mitad de su extensión ocupada para uso habitacional y la otra parte para usos de servicio, industrial y espacios abiertos en porciones semejantes.

La delegación Benito Juárez ocupa más del 90% de su extensión para uso habitacional y de servicios.

La delegación Venustiano Carranza ocupa más de la mitad de su territorio para uso habitacional, la otra mitad más o menos proporcionado para usos mixto y de servicios, y una muy pequeña para industria y espacios abiertos.

La delegación Cuauhtemoc ocupa más del 90% de su territorio para uso habitacional, de servicios y mixto, en proporciones similares y menos del 7% para industria y espacios abiertos, aunque es mayor para industrias.

Con ello se demuestra que de las cuatro delegaciones, Iztacalco presenta la distribución más equitativa de uso de suelo urbano. Estas cuatro delegaciones también sobresalieron al tener mayor demanda de transporte público y gran cantidad de vialidad primaria como se pudo observar en los cuadros 21 y 22.

A pesar de tener entre 37 y 62 rutas de camiones y que la cantidad de kilómetros que recorren esas rutas al día es comparativamente menor que en otras delegaciones; el número de unidades que se presentan por km² son las más altas, entre 19.3 y 34.5 camiones, en especial en la delegación Iztacalco porque presenta el mayor número de unidades además de tener una vialidad primaria de 1.587 Km/km².

V.2. Determinación de la zona piloto.

Se seleccionó la delegación Iztacalco debido a que ésta tiene la mayor densidad poblacional de la ciudad (cuadro 20), además que separa al centro (delegación Cuauhtemoc) de dos zonas urbanas de alta densidad (la delegación Iztapalapa y el Municipio de Nezahualcoyotl) y de gran movimiento. La delegación Iztacalco se vuelve un punto de enlace muy interesante, puesto que es altamente representativa de la urbe con mayor población en el mundo, tiene contacto con una zona urbana de distinta forma de administración pública (Nezahualcoyotl), de manejo de problemas ambientales y tremendamente conflictiva en sus vías de tránsito y vialidad.

Además, la delegación Iztacalco es vecina de Iztapalapa, que tiene muchos problemas no solo de vialidad y transporte, sino donde se presentan casi todos los servicios de transporte (metro, trolebús, autobús, microbuses y taxis); por esto al caracterizar a la delegación Iztacalco, se está estudiando una zona con todas estas particularidades que no presentan otras delegaciones y que si son del área metropolitana de la ciudad de México.

V.3. Descripción de la zona piloto.

V.3.1. Reconocimiento de la zona.

Del recorrido realizado y el registro fotográfico se pudo observar como la mayoría de las calles en la delegación son caminos preferentes de las rutas del transporte colectivo con ruta fija (cuadro 23).

La mayoría de sus calles cuentan con ruta de autotransporte colectivo, como autobuses y transporte colectivo con ruta fija; el número éstos que cruza la delegación son excesivos, por ejemplo en la llamada calle Sur 20 llegan a pasar hasta siete diferentes rutas de colectivos y en el eje 5 Oriente, en el tramo entre el eje 4 Sur y el eje 5 Sur se puede ver el tránsito de más de 15 rutas de diferentes tipos de transporte (autobuses y transporte colectivo con ruta fija).

También, se identificó la localización de dos zonas industriales: una, la mas extensa, en la zona central de la delegación que abarca desde el eje 2 Oriente (Calz. de la Viga) hasta el Circuito Interior Río Churubusco y del Viaducto Miguel Alemán al eje 4 Sur Plutarco Elías Calles. La otra, mas reducida, en el lado noreste de la misma, abarcando desde la Calzada Zaragoza y el canal de Río Churubusco hasta el eje 5 Oriente J. Rojo Gómez Av. Canal de San Juan. En ambas zonas se encontraron tránsito ligeramente alto, en especial, por camiones de carga y vehículos particulares de modelos viejos ya que hay colonias proletarias intercaladas en estas zonas. Con relación a la condición de las áreas verdes, se encontró descuidado un sector considerablemente grande. Hay demasiados lotes baldíos, así como anchos camellones desprovistos de vegetación y que producen grandes tolváneras.

El problema vial de las vías rápidas y los ejes viales a lo largo del día; por ejemplo, los ejes 3 y 4 sur son de gran importancia a lo largo de su recorrido dentro de la delegación, ya que delimitan la zonas industrial central y además la conecta con la de la zona noreste; por ello, su carga vehicular se ve muy marcada en períodos de tiempo opuestas, de 10:00 a 11:00 horas y de 18:00 a 20:00 horas.

V.3.ii. Área de las vías de tránsito.

Se obtuvo el área total de la delegación Iztacaleo y se trazó una rejilla en todo el plano. Cada cuadro generado corresponde a un Km² del área real, pero se descartaron las áreas verdes y las delegaciones con las que colinda para abarcar únicamente toda la delegación. Con ello se encontraron las áreas que ocupan las calles y las vías rápidas en cada cuadrante y fue muy evidente como las áreas verdes se extienden en la mayoría de los cuadrantes que ocupan.

Así pues, en el cuadro 25 se identifican dos tipos de cuadrantes; uno con áreas completas de un Km² que coinciden con las zonas habitacionales y mixtas (habitacional e industrial); y otro con fracciones del Km² donde se ubican los límites de la delegación y las áreas verdes. Es necesario aclarar que el cuadro 25 se formó de acuerdo con la ubicación física de los cuadrantes que presenta el mapa 2 y que en adelante los cuadros que se refieran a la delegación tienen la misma forma que el cuadro en cuestión.

V.4. Variables vehiculares.

Se usaron dos tipos de factor de emisión; uno para calles y otro para vías rápidas. Al comparar los factores de emisión para CO y NOx en calles, reportados por JICA (43.17 y 4.19 g/km.) contra los calculados con el MOBILE-MCMA (128.94 y 2.81 g/km.); se encontró que éstos últimos fueron 33.5% más alto y 67.1% más bajo, respectivamente.

Era de esperarse que existiera diferencia entre ellos, dado que los valores resultantes para el factor de emisión en calles presentado en el trabajo de JICA fue estimado con pruebas en laboratorio usando la norma LA-4* de dinamómetro** ; mientras que en la presente tesis, se obtuvieron a partir del modelo MOBILE-MCMA, donde se utilizó la norma FTP-75 (prueba de emisiones vehiculares regulada por la EPA y desde 1975 en uso). El modelo MOBILE-MCMA es de tipo determinístico*** considerado el más cercano a la realidad de los vehículos de la ZMCM y el que actualmente usan las autoridades ambientales (Balmori et al., 1992; PICCA, 1990) para estimar las emisiones.

* LA-4. Es un procedimiento para pruebas de emisiones vehiculares hasta 1975 (EPA, 1979).

** Pruebas con dinamómetros: determina en laboratorio la cantidad de emisiones según el tipo y el consumo de gasolina, operando en ciertas condiciones de manejo (Crandall and Rosecrance, 1975). Ver capítulo II e.1.

*** Modelos determinísticos: son aquellos donde la ecuación es analítica y no depende del número de mediciones. Se utiliza un factor experimental medido y está ponderado con base en diferentes variables y no dependen del tiempo.

En el anexo 4 se incorpora la reproducción de la comparación de las emisiones de vehículos mexicanos contra los vehículos de Estados Unidos obtenidos con este modelo que fue realizado por la compañía Radian Corporation y presentado por Lacy, 1993.

Por otro lado para el factor de emisión en vías rápidas, se utilizó el reportado por la JICA ya que los valores que resultaron con el modelo MOBILE-MCMA fueron demasiado subestimados, lo cual se debe a deficiencias del modelo. Sin embargo, para la corrección a éste es necesario realizar estudios que no están dentro de los alcances del presente trabajo.

V.5. Cálculo de emisiones.

Para calcular las emisiones se multiplicó el factor de emisión tanto para calles como un estimado para ambas vías por el volumen de recorrido, pero se encontró que el procedimiento para determinar el volumen de recorrido no está explícito en el informe realizado por JICA. Ese parámetro fue usado para el cálculo de las emisiones en esta tesis, pero interpolando los datos con que se cuentan en función del área de estudio (anexo 3), porque es el único punto de referencia que marcó la JICA al definirlo.

Las emisiones de CO, que fueron interpoladas del reporte de JICA (26,480.29 T/año), se compararon con el total de emisiones (40,999.9 T/año) obtenidas como resultado de los cálculos (cuadro IV el anexo 3); esto dio una diferencia de aproximadamente 35.4% mayor en el presente trabajo, que coincide con la diferencia que se obtuvo al comparar el factor de emisiones calculado con el MOBILE-MCMA contra el de JICA

Sin embargo, para los NOx la diferencia entre los resultados de la JICA (1002.32 T/año) y los del presente trabajo (1058.91 T/año) fue de menos del 10%, el cual no corresponde a lo esperado según el factor de emisión.

Tal diferencia se debe a dos situaciones: la primera, que el factor de emisión del presente trabajo fue calculado con el MOBILE-MCMA mientras que la JICA utilizó uno determinado con pruebas en dinamómetro; y la segunda que los cálculos, no implícitos en el reporte de JICA, están subestimados porque en los mapas se infiere que trabajaron toda el área metropolitana sin hacer distinción entre delegaciones.

V.b6. Distribución.

En los mapas 3.2 y 4.2 se observan claramente el trazado de la delegación Iztacateco, las principales vías de tránsito y la distribución de sus áreas verdes, hecho que no se observa en los mapas 3.1 y 4.1 correspondientes al estudio de la JICA. Es muy importante tomar en cuenta éstas características para explicar con detenimiento la distribución de las emisiones.

De acuerdo con lo anterior, en los mapas 3.1 y 4.1 obtenidos del reporte de JICA, se aprecian 3 consideraciones: la primera de ellas es la distribución de los valores de emisiones bajos mismos que están subestimados porque no se explica su ubicación ya que en todos los cuadrantes con este nivel, la carga de tránsito vehicular es intensa. La segunda consideración es referente a las emisiones con valores medios de las porciones limítrofes de esa delegación, estos cuadrantes están sobrestimados dado que se encuentran adicionados a aquellas con las cuales colinda. Más aún, ocupan la mayoría del área de la delegación sin considerar las zonas donde hay vías rápidas y donde se ubican las áreas verdes que en particular no hay emisiones.

La tercera y última consideración, trata de los 2 cuadrantes con valores altos que se ven localizados en diferentes regiones, de las cuales en uno de ellos no se presentan vías rápidas; mientras que el otro se encuentra en el límite de la delegación. En especial, éste se puede justificar porque posiblemente la JICA adicionó la porción correspondiente de la delegación vecina (Venustiano Carranza), además de encontrarse el Vialto Miguel Alemán implícito; pero en ese caso todos los cuadrantes donde pase esta vía deberían presentar los mismos niveles, lo cual no sucede. Aunado a estas tres razones, es necesario hacer notar que en el reporte de JICA, la zona central de la delegación es por donde cruzan la mayoría de las principales vías de tránsito y está identificada con cuadrantes de niveles medios, aunque le corresponderían valores altos.

Por otro lado, si se toma en cuenta que las áreas verdes en esta delegación ocupan una extensión considerable (mapa 1 y fotos 11 a 20) y que las emisiones se miden únicamente por la ubicación de sus fuentes; entonces, es de suponerse que estas áreas deben ser descartadas para un estudio de emisiones; sin embargo, la JICA considera estas áreas con emisiones, mismas que marcan una gran diferencia con este estudio. Por último, el estudio de esta agencia no parece estar sustentado ni tener justificaciones válidas al no contemplar la evaluación socioeconómica que realizó previamente.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

CONCLUSIONES.

1. El método descrito en esta tesis demuestra que se puede realizar la distribución de las emisiones por monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOx) en la delegación Iztacalco de manera dinámica y sencilla.

2. La determinación de la zona piloto se realizó con base en la descripción socioeconómica de ocho delegaciones de la ciudad de México más conflictivas tomando en cuenta su densidad poblacional, vialidad y uso del suelo.

3. La distribución de emisiones por CO y NOx en la delegación Iztacalco en el presente trabajo es diferente al de JICA porque en éste último no se consideraron los criterios para ponderar las zonas socioeconómicas.

RECOMENDACIONES

1.- Ya que el modelo MOBILE-MCMA para obtener el factor de emisiones es determinante en los inventarios de emisión; es necesario realizar diversos estudios para corregir las deficiencias que presenta éste y que fueron discutidas en un taller de trabajo (Cadle et al, 1991), entre ellas se encuentran:

añAdicionar al modelo más información sobre el efecto del ciclo dinámico y eventos de enriquecimiento de alto-peso. Para esto se sugiere realizar más pruebas de ciclo de manejo.

añIntegrar más información sobre el patrón de manejo para mejorar la base de datos en el ciclo dinámico.

añInvestigar la proporción en que aumentan las emisiones de los camiones obtenidos con el modelo, ya que estas se incrementan significativamente con relación a los inventarios existentes.

añIncluir un número representativo de vehículos viejos en la realización de los nuevos procedimientos de pruebas evaporativas porque se notó en éstas emisiones, cantidades considerables de plomo.

2.- Debido a que la presente tesis es el inicio a un inventario de emisiones se necesita contar con la descripción detallada de cada una de las delegaciones y los municipios que incluyen a la zona metropolitana de la ciudad de México, para tener un juicio claro de la situación en cada zona y realizar la misma experiencia en cada una.

3.- Se puede encontrar la situación real y actualizada de las áreas verdes e identificar las especies que tengan mayor resistencia a los diferentes contaminantes, según la fuente emisora que prevalezca en el sitio; así como plantear una alternativa de forestación en las zonas erosionadas y desprovistas de vegetación dentro de la ZMCM

REFERENCIAS.

- Arriaga J.L. Martínez G. Escalona S. Figueroa Y. Aguilar M. Martínez H. 1995 "Caracterización de especies atmosféricas e intermediarios fotoquímicos", Informe técnico final GCA9502; Gerencia de Ciencias del Ambiente, Instituto Mexicano del Petróleo; México, D.F.
- Banco Mundial, 1990 "Programa para el manejo de la calidad del aire en la Ciudad de México"; México, D.F.
- Bahmann W. Brosthaus J. Martínez S. Müller W. Schneider J. 1992 "Air pollution control in the Mexico city metropolitan area emissions inventory for mobile sources. Results of a pilot study in MCMA"; TÜV ARGE MEX, TÜV Rheinland, Cologne, Germany.
- Cadle S.H. Knapp K.T. Carlock M. Lloyd A.C. Gibbs R.E. Pierson W.R. 1991 "CRC-APRAC vehicle emissions modeling workshop"; J. Air Waste Manage. Assoc. 41,(6): 821-826.
- Environmental Protection Agency (EPA); "Code of federal regulations" (CFR); Vol. 40, parts. 86-99; Part 86, subpart B, Secc. 86.101-86.145.82; pp 288-396. Revised as of July 1986. INTERNET:
<http://www.epa.gov/docs/epacfr40/capi-1.info/sub-C/40p0086/40p0086c.pdf>
- CONADE 1989 "Programa Integral de lucha contra la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México", SEDUE, PEMEX, Gob. del Edo. Mex., DDF.
- Departamento del Distrito Federal (DDF) 1990 "Atlas de la Ciudad de México"; México, D.F.
- Departamento del Distrito Federal (DDF) 1991 "Balance ambiental de la industria en la ZMCM (1ª parte: Combustión y emisiones a la atmósfera)"; México, D.F.
- Departamento del Distrito Federal 1991 "Programa integral para la calidad del aire (PICCA)"; México, D.F.
- Daubenmire R.F. 1986 "Manual de botánica y ecología"; Ed. LIMUSA, S. A.; México, D.F.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 1991 "Datos preliminares del censo poblacional de 1990"; México, D.F.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 1992a "Azcapotzalco: Cuaderno de información básica delegacional"; México, D.F.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 1992b "Benito Juárez: Cuaderno de información básica delegacional"; México, D.F.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 1992c "Coyoacán: Cuaderno de información básica delegacional"; México, D.F.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 1992d "Cuauhtémoc: Cuaderno de información básica delegacional"; México, D.F.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 1992e "Iztacalco: Cuaderno de información básica delegacional"; México, D.F.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 1992f "Iztapalapa: Cuaderno de información básica delegacional"; México, D.F.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 1992g "Gustavo A. Madero: Cuaderno de información básica delegacional"; México, D.F.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 1992h "Venustiano Carranza: Cuaderno de información básica delegacional"; México, D.F.
- Japan International Cooperation Agency (JICA) 1988 "The study on air pollution control plan in the Federal District."; Reporte Final; México, D.F.
- Junich H. 1970 "La Contaminación Atmosférica", Gaceta Médica de México, Vol. 100 No. 3; México, D.F.
- Klausmeier R. Mendez F. Kosak R. 1991. "Cost Effectiveness Analysis of Mobile Source Controls for the Mexico City Metropolitan Area", Air & Waste Management Association, for Presentation at the 84th Annual Meeting & Exhibition; (91-106.2); Vancouver, British Columbia.
- Kron F. Cohen S, and Mele M. 1978 "Emission Density Zoning Guidebook/ A Technical Guide to Maintaining Air Quality Standards Through Land-Use-Based Emission Limits. US-EPA U.S.A.
- Lacy R. 1993 "Revision of the MOBILE-MEXICO (MOBILE-MCMA) model" Technica memorandum; Departamento del Distrito Federal; Ciudad de México, México.

- Leyes y códigos de México 1983 "Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente"; Séptima edición; Ed. Porrúa; México, D. F.
- Mexico City Government 1991 "Comprehensive pollution control program for the Mexico City Metropolitan Zone"; General Coordination for environmental project; Mexico city, Mexico.
- PEMEX 1990 "La Protección Ambiental en Petróleos Mexicanos", México, D.F.
- Perkins C. 1974 "Air Pollution", International Student Edition by McGrawHill; Tokio, Japón.
- Quadri G. y Sánchez R. 1992 "La ciudad de México y la contaminación atmosférica"; Ed. LIMUSA; México, D. F.
- Seinfeld J. 1978 "Contaminación Atmosférica", Mc-GrawHill Inc. p.72-78.
- SEDUE 1988 "La Contaminación Atmosférica en el Valle de México"; México, D.F.
- Stoker H. S. y Spencer L. S. 1981 "Química Ambiental. Contaminación del aire y el agua" Ed. Blume; Barcelona, España.
- Stern, C. A. 1980 "Air quality management" Vol. V, Cap. 17; Thirth edition; E.U.A.
- Turk, A. 1984 "Ecología-contaminación-medio ambiente"; Ed. Interamericana México, D.F.
- Wark K. y Warner C. 1992 "Contaminación del aire. Origen y control" Ed. LIMUSA; México, D. F.
- Zorrilla, S. A.; Torres M. X.; "Gufa para elaborar la tesis"; 2ª edición; De. Mc. GrawHill; 1992; México, D. F; pp. 14-44.

ANEXO 1



Foto 1. Eje 4 Sur (Plutarco E. CALles y Av. The).

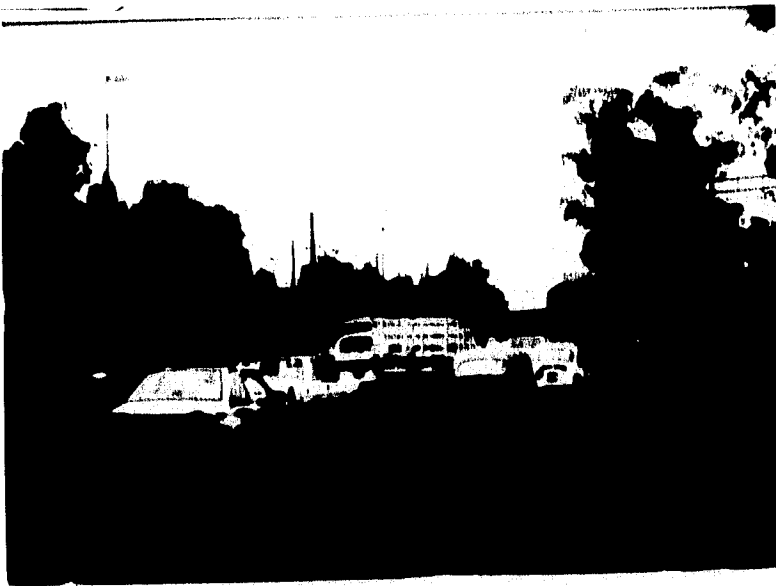


Foto 2. Cruce de Eje 4 Sur y Circuito Interior.



Foto 3. Cruce en Añil y Río Churubusco (entubado).



Foto 4. Cruce Eje 1 Oriente (Andés Molina) y Oriente 108.



Foto 5. Eje 2 Oriente (Calzada de la Viga).



Foto 6. Cruce en Circuito Interior (Río Churubusco) y Eje 4 Sur.



Foto 7. Eje 5 Oriente (Javier Rojo Gómez).

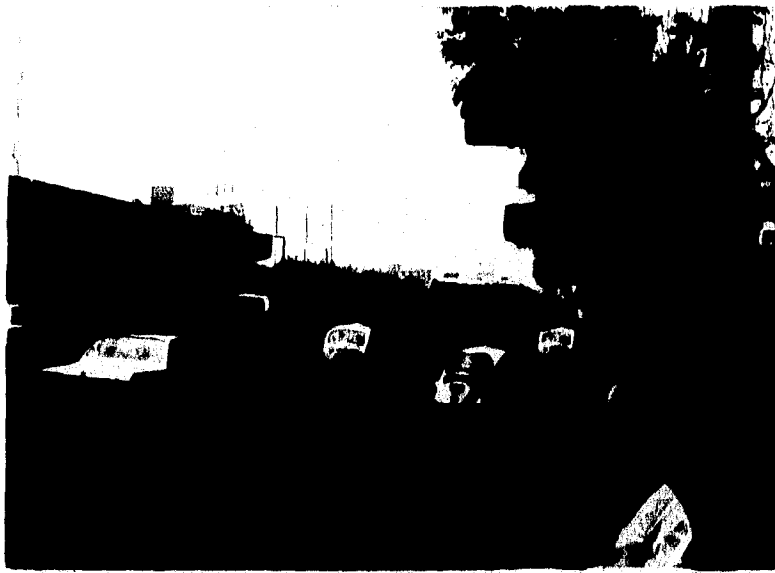


Foto 8. Cruce de Tlalpan y Coruña (area del M. Viaducto).



Foto 9. Av. Canal de San Juan. Límite con el Edo. de México.



Foto 10. Av. Río Churubusco. Límite con el Edo. de México.



Foto 11. Velodromo Ricardo Rodríguez y calle Añil



Foto 12. Velodromo Ricardo Rodríguez. Entre Añil y Río Churubusco.



Foto 13. Velodromo Ricardo Rodríguez. Al fondo metro aéreo en Río de la Piedad.



Foto 14. Palacio de los Deportes. Av. Río de Churubusco.



Foto 15. Ciudad Deportiva Magdalena Mixhuca.Foto



Foto 16. Cruce de Río Churubusco (entubado) y Añil.

ANEXO 2

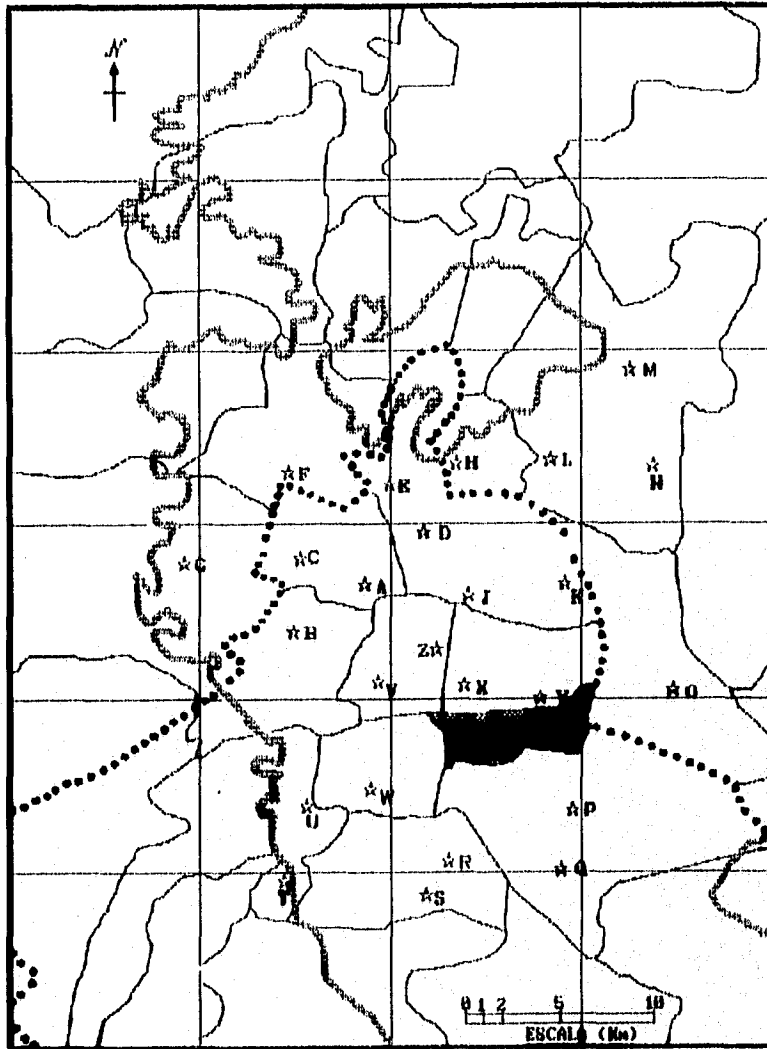
CARACTERISTICAS DE LA ZONA PILOTO.

La delegación se encuentra localizada en la zona sureste del Distrito Federal. Limita al norte con las delegaciones Cuauhtémoc y Venustiano Carranza, al este con el municipio de Nezahualcoyotl del Estado de México y con Iztapalapa; al sur colinda con ésta última delegación y al oeste con la delegación Benito Juárez (mapa 5).

Está cerca de las zonas con mayor nivel de contaminación: por arrastre de vientos se ve influenciada por la proximidad del aeropuerto, el ex-lago de Texcoco, los ex-basureros de Iztapalapa, así como la zona industrial del Norte.

1) Clima. El clima presente es semiseco-templado con lluvias en verano (BSk según Kaöpen); hacia la zona sur-suroeste se hace más húmedo, mostrando un tipo de clima templado subhúmedo con lluvias en verano [C(w)(w), según Kaöpen]. La precipitación pluvial anual es de 600mm con los meses más lluviosos en julio y agosto, la temperatura media anual es de 16 grad.C y los meses más cálidos son mayo y junio (Calle, et al 1991).

2) Topografía. La topografía es ligeramente plana, existen pendientes menores a 5 grados y en general es de suelo lacustre. Cruzan por su área los ríos de Churubusco y La Piedad, actualmente entubados, y el canal de San Juan (IIECA, 1990).



MAPA 5.- UBICACION DE LA DELEGACION IZTACALCO EN EL D. F.

De igual manera se cuenta con 37 diferentes itinerarios de autobuses urbanos "RUTA 100" (cuadro 21) los cuales cuentan con aproximadamente 815 unidades y recorren diariamente 270.5 Km/dfa.

Cuadro 1.- Del autotransporte urbano "RUTA 100": la ruta, el número de camiones y los Km. para la delegación.		
(RUTA) Origen y destino	PVRU	Km
(20) Col. Pantitlán - m. Colegio militar	12	6.8
(24) Sta. Martha - Alameda Central	50	4.6
(26) Sta. Cruz Meyehualco - Pino Suárez	12	4.6
(26-B) Col. Paraiso - m. Zaragoza	06	4.6
(30) Sta. Marta - m. Chapultepec	34	4.6
(30-A) Los Reyes, la Paz-m San Lázaro	17	4.6
(30-B) Los Reyes, la Paz-m San Lázaro (BARCO)	18	4.6
(33) La Villa -1 Colonia Miravalle	16	1.6
(33-A) M. Morelos - Xochimilco	19	1.6
(35) Altavilla - Xochimilco	65	5.8
(36) Cabeza de Juárez - Patriotismo	10	7.5
(37) U.CTM. Atzacotalco - Xochimilco	75	5.0
(38) E. Constitucionalista - Tacubaya	14	15.9
(39) Puente Negro - Carmen Serdán	56	5.4
(39-A) M. Sn. Lázaro - Sta. Ma. Nativitas	38	5.4
(40) Central de Abastos - La Viga	10	11.3
(40-B) U. Vicente Guerrero - M. Viaducto	24	12.2
(41-B) M. Pantitlán - C. de Abastos	12	9.7
(42) E. Constitucionalista - Vocacional 4	23	8.2
(43) Colonia Emiliano Zapata - Iztacalco	20	6.3
(44) Cabeza de Juárez - M. Xola	09	12.1
(45) M. Pantitlán - Col. del Mar	38	8.8
(46) C. de Abasto - Lomas de Becerra	27	7.1
(47) Arenal - Panteón San Lorenzo	12	11.5
(47-A) Arenal, 2a. sección Col. JLP (FAVESEDENA)	16	12.1
(47-B) M. Pantitlán - Sta. Cruz Meyehualco	12	9.1
(47-D) M. Zaragoza - P. San Panteón	12	6.1
(49) Leyes de Reforma - M. Balderas	14	8.6
(73) Reclusoria Ote. - Zaragoza	15	5.3
(151) Sta. I. Fola - C. de Abasto	30	14.5
(159) Col. Agrarista - M. Sta. Anita	12	9.8
(161-B) Amp. Santiago - M. Sta. Anita	07	6.8
(162-A) Sta. Catalina - M. Sta. Anita	18	6.8
(164) P. Ermita Zaragoza - M. San Lázaro	18	4.6
(165) Ejército de Ote. - M. San Lázaro	18	4.6
(167) Hálvae - Sn. Pablo (CENTRO)	14	6.2
(169) Col. Emiliano Zapata - Iztacalco	12	6.2
Total	815	270.5

PVRU = Parque vehicular en ruta.

Fuente: Autotransporte Urbano Ruta 100 en INEGI, 1991.

ANEXO 3

MEMORIA DE CALCULO

1) Cálculos para interpolar el volumen de recorrido. En los mapas 3.4.18 y 3.4.19 del reporte de JICA (1988) se presenta la distribución de emisiones de CO y NOx por kilómetro cuadrado respectivamente. Al sumar el número de cuadrantes con emisiones, en ambos mapas, se obtuvo un total de 992 km² y 1074 km². Se interpolaron los datos del volumen de recorrido de la zona metropolitana de la ciudad de México (cuadro I) a un kilómetro cuadrado mediante una regla de tres con los valores totales de áreas de cada mapa. Se obtuvieron los cuadros II y III que representa el volumen de recorrido para CO y NOx por kilómetro cuadrado

Cuadro I.- Volumen de recorrido en la ZMCM

V/re (km/dfa)	Calles	Vías Rápidas	Ambas Vías
AUTOS	28460	32507	60967
AUTOBUS	1253	981	2234
CAMION	4418	4698	9115
COMBI	3311	2696	6007
TODOS	37441	40882	78328

Fuente: JICA, "The study on air pollution...", 1988.

Cuadro II.- Volumen de recorrido para CO interpolado a un km²

V/re (KM2)	Calles	Vías Rápidas	Ambas Vías
AUTOS	30868	35257	66125
AUTOBUS	1359	1064	2423
CAMION	4792	5095	9886
COMBI	3591	2924	6515
TODOS	40608	44341	84954

EMISIONES DE CO 1911.1 385.3 2296.5

Cuadro III.- Volumen de recorrido para NOx interpolado a un km²

V/re (KM2)	Calles	Vías Rápidas	Ambas Vías
AUTOS	26499	30267	56766
AUTOBUS	1167	913	2080
CAMION	4114	4374	8487
COMBI	3083	2510	5593
TODOS	34861	38065	72931

EMISIONES DE NOx 35.8 38.1 73.9

Para las emisiones se utilizó la siguiente formula:

E (ambas vías) = SUM [E (calles y v. rápidas)] donde:

Las emisiones de cada tipo de vía se calcularon con:

$$E_j = (V.re.j)(F.E.ej)(F.C.)$$

Ej: Emisiones para calles o vías rápidas.

V.re.j: Volumen de recorrido según el contaminante y el tipo de vía.

F.E.ej: Factor de emisión según el contaminante y el tipo de vía.

F. C.: Factor de conversión a toneladas por año = $3.65 \cdot 10^{-4} T/g \cdot dfa/año$

EMISIONES POR MONOXIDO DE CARBONO

$$E \text{ (calles)} = [(40608 \text{ km}/dfa)(128.94 \text{ g}/\text{km})(3.65 \cdot 10^{-4} T/g \cdot dfa/año)] = 1,911.138 T/año \cdot \text{km}^2$$

$$E \text{ (vías rap..)} = [(44341 \text{ km}/dfa)(23.81 \text{ g}/\text{km})(3.65 \cdot 10^{-4} T/g \cdot dfa/año)] = 385.348 T/año \cdot \text{km}^2$$

$$E \text{ (ambas vías)} = \text{SUM}(1911.138 T/año \cdot \text{km}^2 + 385.348 T/año \cdot \text{km}^2) = 2,296.49 T/año \cdot \text{km}^2$$

EMISIONES POR OXIDOS DE NITROGENO

$$E \text{ (calles)} = [(34861 \text{ km}/dfa)(2.81 \text{ g}/\text{km})(3.65 \cdot 10^{-4} T/g \cdot dfa/año)] = 35.8 T/año \cdot \text{km}^2$$

$$E \text{ (ambas v..)} = [(38065 \text{ km}/dfa)(2.74 \text{ g}/\text{km})(3.65 \cdot 10^{-4} T/g \cdot dfa/año)] = 38.1 T/año \cdot \text{km}^2$$

$$E \text{ (ambas vías)} = \text{SUM}(35.8 T/año \cdot \text{km}^2 + 38.1 T/año \cdot \text{km}^2) = 73.9 T/año \cdot \text{km}^2$$

ANEXO 4

RADIAN
CORPORATION

APPENDIX C

**COMPARISON OF MEXICAN VEHICLE EMISSIONS WITH
U.S. VEHICLE EMISSIONS**

PROJECT: MOBILE Mexico City
 TITLE: Comparison of Mapped Emission Rates
 AUTHOR: ELD
 DATE: 30-Apr-93

Compare emission rates from tested 1992 and 1993 Mexican vehicles with U.S. EPA MOBILE4 rates

1992 Mexican Vehicle Results

		g/km				1977 U.S.		Percent Diff from mean	# of std. deviation from mean	within range (min. max)?
		Mean	Minimum	Maximum	Std. Dev.	g/mi	g/km			
LDGV	HC	0.29	0.07	0.69	0.20	1.06	0.66	131	1.9	YES
	CO	2.73	0.23	7.00	2.38	17.72	11.01	303	3.5	NO
	NOx	0.64	0.05	0.48	0.30	1.79	1.11	74	1.6	NO
LDGT1	HC	1.55	0.85	1.90	0.26	1.80	1.12	28	1.7	YES
	CO	15.74	11.82	19.87	2.16	24.55	15.26	3	0.2	YES
	NOx	1.84	1.45	2.18	0.22	2.70	1.68	9	0.7	YES
LDGT2	HC	1.55	1.40	1.70	0.21	6.28	3.90	152	11.2	NO
	CO	13.17	7.88	18.46	7.48	60.08	37.34	184	3.2	NO
	NOx	1.82	1.63	2.22	0.42	4.61	2.87	49	2.3	NO
HDGV	HC	0.06	0.06	0.06	n/a	7.20	4.47	7358	ERR	NO
	CO	1.33	1.33	1.33	n/a	123.05	76.48	5650	ERR	NO
	NOx	0.71	0.71	0.71	n/a	5.32	3.31	366	ERR	NO

1993 Mexican Vehicle Results

		g/km				1981 U.S.		Percent Diff from mean	# of std. deviation from mean	within range (min. max)?
		Mean	Minimum	Maximum	Std. Dev.	g/mi	g/km			
LDGV	HC	0.14	0.05	0.22	0.04	0.31	0.19	37	1.3	YES
	CO	1.11	0.35	1.88	0.39	3.38	2.10	89	2.5	NO
	NOx	0.31	0.05	0.46	0.14	0.65	0.40	31	0.7	YES
LDGT1	HC	1.65	1.32	1.96	0.22	0.82	0.51	68	5.2	NO
	CO	12.69	3.50	17.60	4.27	12.58	7.82	38	1.1	YES
	NOx	1.87	1.54	2.22	0.24	1.64	1.02	45	3.5	NO
LDGT2	HC	1.16	0.44	1.90	0.63	0.82	0.51	56	1.0	YES
	CO	7.51	3.69	18.74	4.70	12.58	7.82	4	0.1	YES
	NOx	1.61	1.31	2.20	0.34	1.64	1.02	37	1.7	NO
HDGV	HC	0.49	0.15	1.06	0.72	3.27	2.03	315	2.1	NO
	CO	5.17	0.30	21.20	7.90	53.77	33.42	546	3.6	NO
	NOx	0.98	0.54	2.26	0.64	5.30	3.29	236	3.8	NO

PROJECT: MOBILE-Mexico City
 TITLE: Comparison of Mapped Emission Rates
 AUTHOR: ELD
 DATE: 30 Apr 93

PROJEC
 TITLE:
 AUTHOF:
 DATE:

Compare emission rates from tested 1992 and 1993 Mexican vehicles with U.S. EPA MOBILE4 rates

Compa
 vehicel

1992 Mexican Vehicle Results

1992 M

		g/km				1990 U.S.		Percent Diff from mean	# of std. deviation from mean	within range (min, max)?
		Mean	Minimum	Maximum	Std. Dev.	g/mi	g/km			
LDGV	HC	0.29	0.07	0.69	0.20	0.36	0.22	21	-0.3	YES
	CO	2.73	0.23	7.00	2.38	6.09	3.78	39	0.4	YES
	NOx	0.64	0.05	0.48	0.30	1.60	0.93	46	1.0	NO
LDGT1	HC	1.55	0.85	1.90	0.26	0.87	0.54	65	-3.9	NO
	CO	15.74	11.82	18.87	2.16	12.28	7.63	-52	-3.8	NO
	NOx	1.84	1.45	2.18	0.22	1.77	1.10	-40	-3.4	NO
LDGT2	HC	1.55	1.40	1.70	0.21	0.87	0.54	-65	-4.8	NO
	CO	13.17	7.88	18.46	7.48	12.28	7.63	-42	-0.7	NO
	NOx	1.92	1.63	2.22	0.42	1.77	1.10	-43	-2.0	NO
HDGV	HC	0.08	0.06	0.06	n/a	3.45	2.14	3474	ERR	NO
	CO	1.33	1.33	1.33	n/a	57.18	35.54	2672	ERR	NO
	NOx	0.71	0.71	0.71	n/a	5.59	3.47	389	ERR	NO

1993 Mexican Vehicle Results

19

		g/km				1993 U.S.		Percent Diff from mean	# of std. deviation from mean	within range (min, max)?
		Mean	Minimum	Maximum	Std. Dev.	g/mi	g/km			
LDGV	HC	0.14	0.05	0.22	0.04	0.26	0.16	14	0.5	YES
	CO	1.11	0.35	1.86	0.39	2.73	1.70	53	1.5	YES
	NOx	0.31	0.05	0.48	0.14	0.63	0.39	27	0.6	YES
LDGT1	HC	1.65	1.32	1.96	0.22	0.82	0.51	-69	-5.2	NO
	CO	12.69	3.50	17.60	4.27	12.58	7.82	-38	-1.1	YES
	NOx	1.87	1.54	2.22	0.24	1.64	1.02	-45	-3.5	NO
LDGT2	HC	1.16	0.44	1.90	0.63	0.82	0.51	-56	-1.0	YES
	CO	7.51	3.69	18.74	4.70	12.58	7.82	4	0.1	YES
	NOx	1.61	1.31	2.20	0.34	1.64	1.02	-37	-1.7	NO
HDGV	HC	0.49	0.15	1.96	0.72	3.27	2.03	315	2.1	NO
	CO	5.17	0.30	21.20	7.90	53.77	33.42	546	3.6	NO
	NOx	0.98	0.54	2.26	0.64	5.30	3.29	236	3.6	NO

PROJECT: MOBILE-Mexico City
 TITLE: Comparison of Mapped Emission Rates
 AUTHOR: ELD
 DATE: 30 Apr-93

Compare emission rates from tested 1992 and 1993 Mexican vehicles with U.S. EPA MOBILE4 rates

1992 Mexican Vehicle Results

		g/km			Std Dev.	1981 U.S.		Percent Diff from mean	# of std deviation from mean	within range (min..max)?
		Mean	Minimum	Maximum		g/mi	g/km			
LDGV	HC	0.29	0.07	0.69	0.20	0.31	0.19	-33	-0.5	YES
	CO	2.73	0.23	7.00	2.38	3.38	2.10	-23	-0.3	YES
	NOx	0.64	0.05	0.48	0.30	0.65	0.40	-37	0.8	YES
LDGT1	HC	1.55	0.85	1.90	0.26	0.82	0.51	-67	4.0	NO
	CO	15.74	11.82	19.87	2.16	12.58	7.82	50	-3.7	NO
	NOx	1.84	1.45	2.18	0.22	1.64	1.02	45	3.7	NO
LDGT2	HC	1.55	1.40	1.70	0.21	0.82	0.51	-67	-5.0	NO
	CO	13.17	7.88	18.46	7.48	12.58	7.82	41	-0.7	NO
	NOx	1.92	1.63	2.22	0.42	1.64	1.02	47	-2.1	NO
HDGV	HC	0.08	0.06	0.06	n/a	3.27	2.03	3287	ERR	NO
	CO	1.33	1.33	1.33	n/e	53.77	33.42	2413	ERR	NO
	NOx	0.71	0.71	0.71	n/a	5.30	3.29	364	ERR	NO

1993 Mexican Vehicle Results

		g/km			Std Dev.	1977 U.S.		Percent Diff from mean	# of std deviation from mean	within range (min..max)?
		Mean	Minimum	Maximum		g/mi	g/km			
LDGV	HC	0.14	0.05	0.22	0.04	1.06	0.66	371	13.0	NO
	CO	1.11	0.35	1.86	0.39	17.72	11.01	892	25.4	NO
	NOx	0.31	0.05	0.48	0.14	1.79	1.11	259	5.7	NO
LDGT1	HC	1.65	1.32	1.96	0.22	1.80	1.12	32	2.4	NO
	CO	12.69	3.50	17.60	4.27	24.55	15.26	20	0.6	YES
	NOx	1.87	1.54	2.22	0.24	2.70	1.68	10	0.8	YES
LDGT2	HC	1.16	0.44	1.90	0.63	6.28	3.90	236	4.4	NO
	CO	7.51	3.69	18.74	4.70	60.08	37.34	397	6.3	NO
	NOx	1.61	1.31	2.20	0.34	4.61	2.87	78	3.7	NO
HDGV	HC	0.49	0.15	1.96	0.72	7.20	4.47	813	5.5	NO
	CO	5.17	0.30	21.20	7.90	123.05	76.48	1379	9.0	NO
	NOx	0.98	0.54	2.26	0.64	5.32	3.31	237	3.6	NO