

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

MONOGRAFÍA

QUE PRESENTA

JOSSUE LUCAS JACOBO

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO, 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

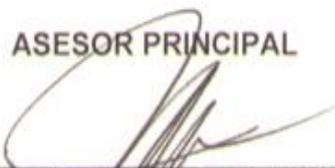
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

POR:
JOSSUE LUCAS JACOBO

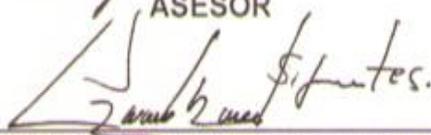
APROBADA POR EL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA

ASESOR PRINCIPAL



ING. JOSÉ LUIS RÍOS GONZÁLEZ

ASESOR



MC. RAYMUNDO AMADOR SIFUENTES

ASESOR



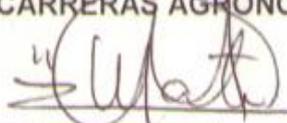
ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR



DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS



ME. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO, 2011

MONOGRAFÍA QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO

DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

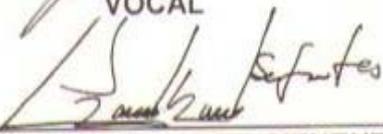
APROBADO POR:

PRESIDENTE DEL JURADO



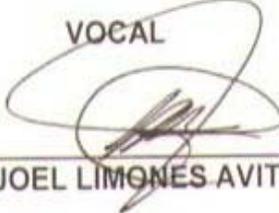
ING. JOSÉ LUIS RÍOS GONZÁLEZ

VOCAL



MC. RAYMUNDO AMADOR SIFUENTES

VOCAL



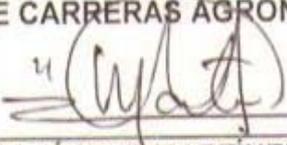
ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL SUPLENTE



DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS



ME. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO, 2011

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Por darme la dicha de vivir, por ayudarme a terminar la universidad y por poner en mi camino personas que me han ayudado en mi formación, que me han dado cariño y amistad.

A MI ALMA MATER:

Por darme la oportunidad de cultivarme en sus aulas y poder ser un profesionalista.

A MIS ASESORES:

El ing. José Luis Ríos Gonzáles por brindarme todo el apoyo y ser un excelente profesor y buena persona.

El Ing. Joel Limones Avitia por toda su amistad y apoyo.

El MC. Raymundo Amador Sifuentes por su ayuda y colaboración.

Al Dr. José Luis reyes carrillo por su

A MIS MAESTROS:

Que siempre me apoyaron y me brindaron sus conocimientos.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

JOSEFINA JACOBO MONTALVO Y MIGUEL LUCAS CASTILLO: que son mis más grande inspiración y que me han dado los valores y la humildad para ser una persona de bien y que se que desde en cielo me han dado todo su apoyo.

A MIS HERMANOS:

MIGUEL LUCAS JACOBO: quien es como un padre para mi y quien ha sido sin dudad un pilar importante en mi vida

NATHANAHEL: quien me ha enseñado que las cosas se pueden lograr.

SHIRLEY: quien es mi fuerza y me ha demostrado que a pesar de las adversidades se puede salir adelante.

GAMALIEL: quien me ha enseñado a que si caes hay que levantarse y levantar siempre la cara.

JETZAHHEL: Que nunca me ha dejado solo y en quien puedo confiar y que siempre sabre que estará ahí para ayudarme.

A MI NOVIA:

ARELY EUNICE ENRIQUEZ PORTUGUES: quien esta conmigo en las buenas y el las malas y me ha revelado el significado del amor y la amistad, te amo chaparrita.

A MIS AMIGOS:

Quienes me permitieron compartir con ellos momentos buenos y momentos malos que me brindaron su amistad incondicional, a **Loida Eunice** por darme todo su apoyo y ser una gran amiga.

A LA FAMILIA PORTUGUES:

Por toda su ayuda y por brindarme el calor de una familia.

A todos ellos gracias.....

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	II
INDICE DE CUADROS	V
INDICE DE FIGURAS	VI
RESUMEN	VII
I.- INTRODUCCION	1
II.- REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1.- Evaluación de la contaminación atmosférica	3
2.2.- Emisión	3
2.3.- Inmisión.....	4
3.- Muestreo	5
3.1.- Muestreo de fuentes fijas.....	6
4.- Combustión	6
5.- Industria	7
6.- Método de muestreo	9
6.1 Método 1: Localización de puertos y determinados del número de puntos transversos	9
6.2 Método 2: determinación de la velocidad y flujo de gases	10
7.- Muestreo de fuentes móviles	11
8.- Métodos empleados para medir emisiones.....	12
8.1 Partículas	12
8.2 Dióxido de azufre	12
8.3 Oxido de nitrógeno.....	13
9.- Métodos analíticos empleados para medir la inmisión.....	14
9.1.- Partículas	14
9.2.- Dióxido de azufre	16
9.3 Monóxido de carbono.....	17
9.4.- Hidrocarburos	18
9.5.- Óxidos de nitrógeno.....	18

9.6.- Oxidantes.....	18
10.- Índice metropolitano de la cantidad de aire (IMECA)	19
10.1.- Origen de la contaminación de la ciudad de México	27
10.2.- rasgos climáticos	28
10.3.- La industria	30
10.4.- Sector de servicio	31
10.5.- Sector de transporte	32
10.6.- Parque vehicular	33
10.7.- Consumo de gasolina	33
11.- Contaminantes en otras ciudades.....	37
11.1.- Prevención y control	38
11.2.- Control	39
12.- Separación de las partícula.....	39
12.1.- Por gravedad	39
12.2.- Por inercia.....	39
12.3.- por fuerza centrífuga	40
12.4.- Por ciclones	40
12.5.- Por intercepción	41
12.7. Deposición ultrasónica	48
13.- Equipos para la iluminación de gases.....	48
14.- Programas gubernamentales para la prevención y control	48
14.1.- Programas de contingencias.....	56
14.2.- Efecto de la contingencia en la salud.....	56
14.3.- Doble hoy no circula	60
14.4.- otros programas de contingencia ambiental	61
15.- Tendencia del ozono en las ciudades mexicanas	63
16.- Legislación	65
17.- Normas de emisión	67
III.- conclusión	78
IV.- Literatura citada	79

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Criterios de calificación.....	20
Cuadro 2. Algoritmo simplificado para el cálculo del IMECA.....	21
Cuadro 3. Estaciones que integran las red de monitoreo y parámetros que se miden	23
Cuadro 4. Consumo de energía histórico de la ZMVM 1900-2008.....	35
Cuadro 5. Consumo de energía histórico por tipo de combustibles en la ZMVM 1990-2008	36
Cuadro 6. Características de operación para diferentes medios filtrantes	42
Cuadro 7. Adsorbidos empleados para el control de contaminantes en el aire.45	
Cuadro 8. Métodos de control de la contaminación en las principales industria51	
Cuadro 9. Actividades de programa de contingencias 1989	55
Cuadro 10. Fases del programa de contingencias ambientales 1996.....	57
Cuadro 11. Incremento de los síntomas respiratorios durante contingencias ambientales	59
Cuadro 12. Normas oficiales mexicanas	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Factores que interviene en la dispersión de los contaminantes en el aire	4
Figura 2. Escalas Ringelman y de Bacharach.....	7
Figura 3. Efectos de la velocidad del muestreo.....	8
Figura 4. Maestreado de alto volumen	15
Figura 5. Red automática de monitoreo atmosférico del área ZMVM	22
Figura 6. Red manual de monitoreo atmosférico del área ZMVM	22
Figura 7. Mancha urbana y zona metropolitana del valle de México.....	27
Figura 8. Climas de la zona metropolitana del valle de México.....	29
Figura 9. Consumo energético histórico por sector	34
Figura 10. Demanda de energía por sector.....	36
Figura 11. Condiciones de dimensionamiento para los ciclones.....	40
Figura 12. Precipitador dinámico.....	41
Figura 13. Lavador de aspersion y ciclónico	43
Figura 14. Lavador venturi	43
Figura 15. Casa de filtros	44
Figura 16. Precipitador electrostático de alto voltaje	46
Figura 17. Adsorbedor de torres de charolas	48
Figura 18. Torres empacadas y tipo de empaques	49
Figura 19. Condensador de superficie	52
Figura 20. Condensador de contacto	53
Figura 21. Antorcha.....	54
Figura 22. Área de aplicación del programa de contingencias por episodios ambientales de aire	56
Figura 23. Dolor de garganta.....	58
Figura 24. Tos productiva.....	58

RESUMEN

Para disminuir los problemas de la contaminación del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y dar respuesta a los niveles fuera de norma que presentan en ocasiones algunos contaminantes, la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, además de monitorear en forma permanente y continua las concentraciones de los contaminantes atmosféricos, desarrolla bianualmente, desde 1998, los inventarios de emisiones; con esta herramienta se pretende dar a conocer el origen y nivel de la contaminación atmosférica, además de coadyuvar a implementar medidas de mitigación. El desarrollo de los inventarios de emisiones en la ZMVM, datan del año 1972, con la creación de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente y, aún cuando se sabe que desde esta fecha se han realizado dichos documentos, pocos fueron publicados oficialmente. No obstante, a pesar de la severidad con la que se presentan los problemas ambientales en países como México y en regiones específicas como la Ciudad de México y su zona metropolitana, no siempre existe una conciencia de su presencia y de sus consecuencias.

Palabras clave: contaminación, ZMVM, monitoreo, inventarios, emisiones y mitigación.

I.- INTRODUCCIÓN

Para disminuir los problemas de la contaminación del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y dar respuesta a los niveles fuera de norma que presentan en ocasiones algunos contaminantes, la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, además de monitorear en forma permanente y continua las concentraciones de los contaminantes atmosféricos, desarrolla bianualmente, desde 1998, los inventarios de emisiones; con esta herramienta se pretende dar a conocer el origen y nivel de la contaminación atmosférica, además de coadyuvar a implementar medidas de mitigación (SMA-GDF,2004).

El desarrollo de los inventarios de emisiones en la ZMVM, datan del año 1972, con la creación de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente y, aún cuando se sabe que desde esta fecha se han realizado dichos documentos, pocos fueron publicados oficialmente. En esas fechas, se reportaba que los vehículos automotores eran responsables del 70% de la contaminación, la industria del 25% y el restante 5% era resultado de las fuentes naturales, principalmente por las tolvaneras al oriente de la Ciudad.

Para finales de los años ochentas, los inventarios de emisiones constituyeron la base para la elaboración de los Programas para el Mejoramiento de la Calidad del Aire. Asimismo, con el Inventario de Emisiones de la ZMVM 1988, se elaboró el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA), (SMA-DGF, 2004).

Posteriormente, en el año 1995 se realizó el primer inventario de emisiones de forma más desagregada (con información del año 1994), para diseñar el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (ProAire 1995-2000). Finalmente, con el inventario de 1998 en el año 2001, se preparó el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la ZMVM 2002-2010.

Para desarrollar el Inventario de Emisiones de la ZMVM 2008, se utilizó la metodología de inventarios de emisiones desarrollada para México por la autoridad ambiental federal. En dicho Inventario, además de seguir las metodologías oficiales, se han incorporado las recomendaciones de investigadores en materia ambiental, así como de las instituciones nacionales e internacionales, con la finalidad reducir el grado de incertidumbre en la estimación de las emisiones. Destaca la participación del Doctor Mario Molina y su grupo de investigadores¹, además de los comentarios de la evaluación y auditoría al inventario de emisiones del año 1998, realizada por la compañía Eastern Research Group Inc.² Por otra parte, la aplicación de los modelos de calidad del aire utilizados actualmente, fue posible a partir del desarrollo del Inventario de Emisiones del año 1998. Dichas emisiones se distribuyen de forma horaria y espacial, en celdas 1 km²; lo cual ha permitido: evaluar la calidad del aire como resultado de la aplicación de nuevas medidas de reducción de emisiones con el modelo MCCM (*Multiscale Climate Chemistry Model*); asimismo, se ha podido determinar con el modelo de trayectoria Flexpart, las posibles fuentes emisoras que ocasionan concentraciones elevadas de SO₂ en la ZMVM. Además, mediante la utilización de modelos fotoquímicos de calidad del aire, se pretende implementar un sistema para el pronóstico de la concentración de ozono (SCT, 2007).

Aunque el principal objetivo del inventario de emisiones de contaminantes criterio, es analizar las emisiones de SO₂, CO, NO_x, COT, COV, NH₃ y partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}), es importante recordar que algunos de estos contaminantes del aire, también tienen un potencial significativo en el calentamiento global; debido a esto, paralelo al inventario de contaminantes criterio, se realizó el inventario de gases de efecto invernadero. El tema de calidad del aire y cambio climático se tratará separadamente, sin embargo, la política actual del Gobierno de la Ciudad, enfatiza la urgente necesidad de atender la contaminación del aire y el cambio climático de una manera integrada (TÜV Rheinland, 2000).

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1- EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La contaminación ambiental puede ser entendida como un producto inevitable del progreso, como una consecuencia no deseable del desarrollo industrial y como resultado de la masiva intervención humana en los ecosistemas. No obstante, a pesar de la severidad con la que se presentan los problemas ambientales en países como México y en regiones específicas como la Ciudad de México y su zona metropolitana, no siempre existe una conciencia de su presencia y de sus consecuencias. (Baker, 2001).

La evaluación de la calidad del aire se basa en dos conceptos: medir la emisión y medir la inmisión.

2.2.- Emisión

Se refiere a evaluar la totalidad de sustancias que pasan a la atmosfera a partir de una fuente. Tiene unidades muy variadas en función del tipo de proceso, por ejemplo contaminante/h, Kg. contaminante/Km. recorrido, Kg. contaminante de materia prima procesada, Kg./m³ de combustible. Una vez producida la emisión los contaminantes se dispersan por difusión. La rapidez del fenómeno depende tanto de las características del contaminante como de las condiciones meteorológicas (CARB, 1997).

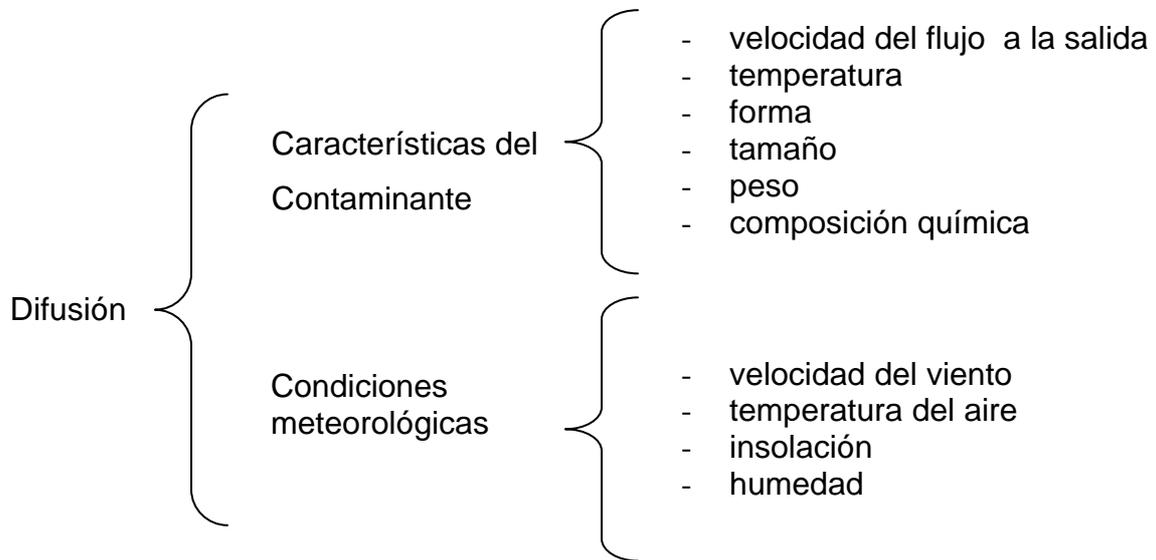


Figura 1. Factores que intervienen en la dispersión de los contaminantes en el aire.

La emisión de contaminantes (E) obtenida de un muestreo en chimenea, comúnmente se refieren en unidades de masa por unidad de tiempo (Kg. /h) y se obtiene del producto de la concentración por el flujo volumétrico de gases referido en condiciones estándar o normales:

$$E=C \times Q = \left(\frac{m}{V}\right)\left(\frac{V}{T}\right)$$

2.3.- Inmisión

Es una medida de la concentración de contaminantes en el aire en un punto suficientemente alejado de sus fuentes como para no poder distinguir de donde provienen. Por tanto, hablar de inmisión equivale a referirse a la calidad del aire.

A partir de los conceptos anteriores define:

- concentración de máxima emisión (CME). Regula las descargas de una fuente contaminante en particular.
- Concentración máxima de inmisión (CMI). Se utiliza para regular la calidad del aire de una zona, por ejemplo, el IMECA.
- Concentración máxima admisible (CMA). Se emplea para normar la calidad del aire en áreas de trabajo, se diferencia de la CMI por que se aplica en periodos de 8 horas, toma en cuenta una población homogénea (adultos en plenitud física) y no considera los daños potenciales en bienes o animales.

Para medir los contaminantes es necesario. Primero, coleccionar una muestra (fase de muestreo o fase de colección) y, según, determinar que, cuanto se encuentra presente en la muestra (fase de análisis), (GODF, 2005)

3.- Muestreo

El muestreo se puede realizar en cualquier punto de la atmosfera, o bien, directo en la salida de la fuente contaminante, aun cuando los objetivos individuales de cada una de estas acciones son muy diferentes, los dos son igual de importantes y necesarios para el estudio de la calidad del aire.

El muestreo en la fuente proporciona información sobre si una industria cumple con sus parámetros de descarga, si la eficiencia de un equipo de control es la adecuada, o si el rendimiento de los procesos de combustión es aceptable. Las concentraciones que registra son mucho más elevadas que la de inmisión, y que en la emisión no interviene la difusión de los contaminantes en la atmosfera. El muestreo en la fuente ayuda a calcular los factores de emisión para un proceso industrial. Incluye tanto las emisiones de fuentes fijas como de las móviles.

El muestreo atmosférico proporciona información sobre el grado de inmisión, específicamente si una región cumple con los estándares de la calidad del

aire. Los datos que proporciona pueden ser empleados para estudiar los efectos de la contaminación del aire, desarrollar estrategias de control y junto con datos meteorológicos evitar accidentes debido a episodios de contaminación atmosférica (GODF, 2008).

3.1.- Muestreos de fuentes fijas

Dentro de las fuentes fijas se encuentran, como caso particular, las descargas producto de combustiones que por su característica constantes constituyen una fuente típica de contaminación, independientemente del proceso industrial que involucren (IMP, 1998).

4.- Combustión

Los productos de mayor importancia para el control de la combustión son los óxidos de carbono, los humos y los óxidos de azufre y de nitrógeno. La mayor parte de las reglamentaciones mundiales hacen referencia a la emisión del humo regulando sus contenidos según dos sistemas distintos, fundamentados ambos en la comparación visual de la muestra con una escala arbitraria preestablecida. En los países americanos se emplea la escala de Ringelman. Esta escala fue propuesta en 1898 por el francés Maximilien Ringelman. Consiste de seis patrones de comparación como funcionamiento correcto hasta un valor máximo de 2 unidades equivalentes a una densidad de humo de 40% (FERROVALLE, 2008).

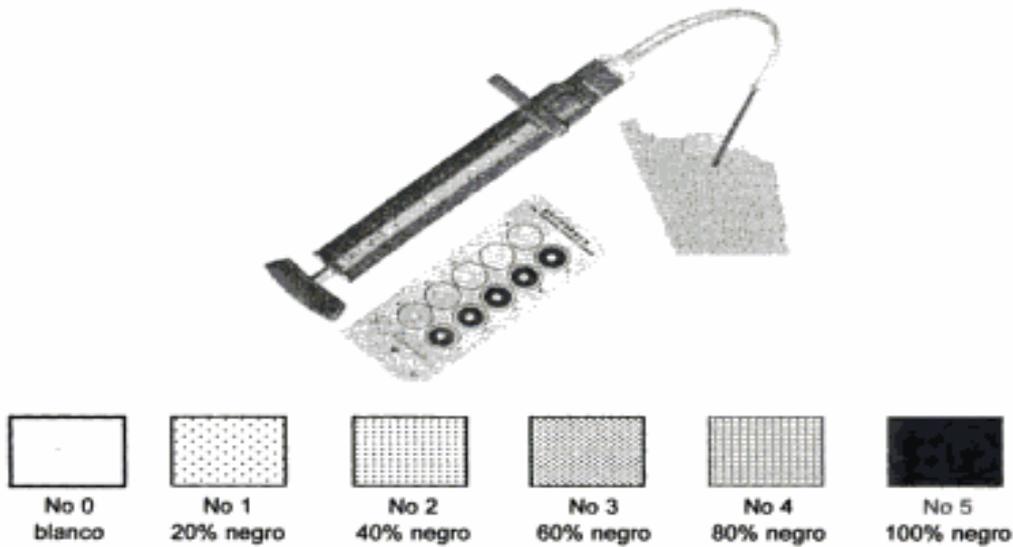


Figura 2. Escalas de Ringelman y de Bacharach

En los países europeos se emplea la escala Bacharach (figura 2) que posee diez niveles numerados, desde cero al nueve. El máximo valor autorizado dentro de esta escala regularmente es de 6.

5.- Industria

En las emisiones industriales los compuestos lanzados son muy variables. Por lo que debe recurrir a obras especializadas que permitan captar los tipos de compuestos presentes en las descargas gaseosas de cada industria. En general, para el muestreo se deben seguir los principios siguientes:

Tamaño de la muestra. La cantidad de aire que debe ser muestreada en función de la concentración mínima esperada y de los requerimientos de la técnica analítica que se empleara. Cuando no se dispone de tal información el tamaño de la muestra debe ser determinado por el método de la prueba y del error.

Velocidad de muestreo. Es determinada por el equipo de colección usado y depende de la partida de presión permisible en el. En especial, para el muestreo en la fuente, es de suma importancia respetar el principio del

isocinetismo. La figura 3.30 ilustra el efecto de la velocidad de muestreo de un fluido homogéneo sobre la composición de la muestra.

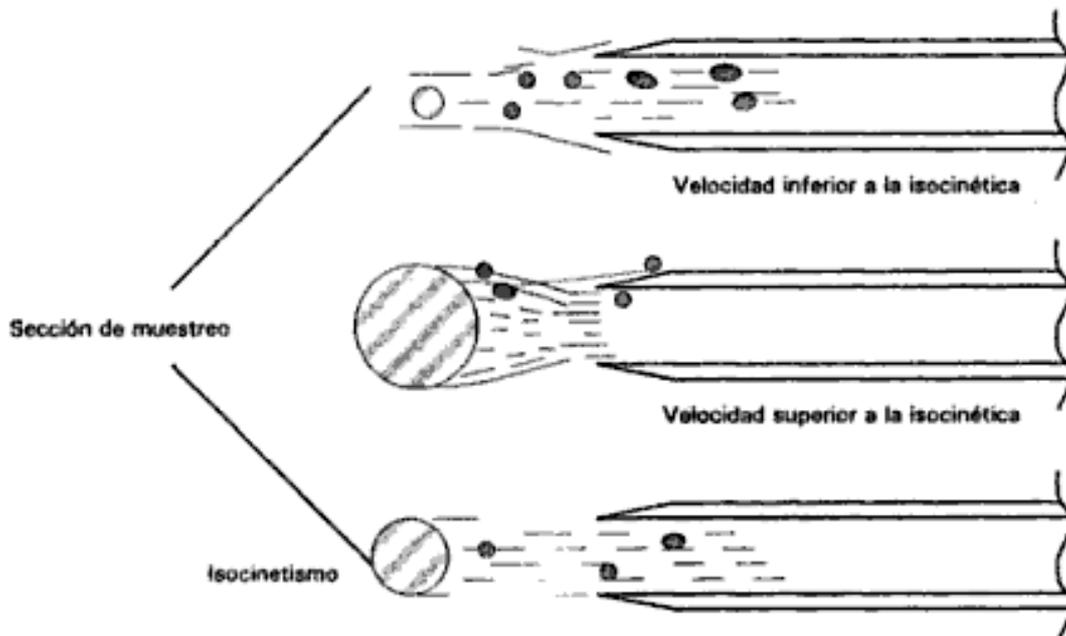


Figura 3. Efectos de la velocidad del muestreo.

Una velocidad de muestreo inferior a la velocidad del fluido provoca un enriquecimiento de partículas en la muestra debido a que por su propia inercia entra en la sonda. El efecto inverso se produce cuando la velocidad del muestreo es superior a la del gas. Cuando el muestreo no puede realizarse en condiciones isocinéticas se pueden efectuar correcciones posteriores, pero se pierde precisión.

Duración del muestreo. Es importante que la muestra represente las condiciones promedio de operación durante el tiempo que dure en muestreo.

Metodología del muestreo. La captación de muestra es una operación delicada que debe considerar:

- Elección del punto o puntos de muestreo (debe hallarse suficientemente alejado de cualquier elemento que modifique las condiciones de turbulencia de las corrientes gaseosas).

- Determinación del área transversal del conducto efluente y elección de los puntos representativos dentro de su superficie.
- Mediciones de los parámetros de la corriente gaseosa (temperatura, velocidad y presión).
- Colocación del aparato de medida correspondiente (debe disponer de espacio suficiente, seguro, y accesible para maniobrar los aparatos en el punto de muestreo).
- Captación de la muestra.

Limitaciones analíticas. Se refiere a los límites de detección y a la precisión de los métodos empleados para analizar la muestra (SEDECO-DF, 2009)

6.- Métodos de muestreo

6.1.- Método

1. Localización de puertos y determinación de puntos transversos.

Se emplea el método denominado isocinetico para establecer los criterios para localizar los puertos de muestreo y el número de puntos transversos para la toma de lecturas representativas de presiones, velocidades y partículas.

El método está basado en la división de la sección transversal del ducto en un número de áreas iguales donde un determinado número de puntos transversos son localizados. Cuando las dimensiones del ducto o chimenea lo permiten, los puertos de muestreo deberán colocarse, por lo menos, a 8 diámetros corriente arriba del último cambio de dirección y como mínimo a 2 antes de un próximo cambio de dirección a su desfogue a la atmosfera.

Para ductos de sección cuadrada o rectangular se trabaja con el diámetro equivalente, el cual se calcula a partir de:

$$Q = \frac{2LW}{L+W}$$

Donde:

L: largo

W: ancho

El número de puntos transversos se determina a partir de graficas. Para el caso de ductos redondos una tabla adicional proporciona los porcentajes del diámetro interno a los que habrán de tomarse las lecturas a través de cada eje. Los puntos se disponen a 90°, en el caso de chimeneas de diámetro muy grande es necesario instalar cuatro puertos para lograr el barrido de toda la sección transversal.

En el caso de los ductos rectangulares el método proporciona una matriz para la determinación de partículas imaginarias donde los puertos transversos se tomaran en el centro de cada celda.

6.2.- Método

2. Determinación de la velocidad y flujo de gases

Este método establece el procedimiento de mediciones de presiones velocidad mediante el uso de un tubo pitot y un manómetro inclinado, comúnmente el tubo empleado es de tipo "s" (stasscheibe o reverso) cuyo C_p es de 0.85 ± 0.1 , y presenta la ventaja de no obstruirse ante la presencia de partículas en la corriente gaseosa y una mayor sensibilidad para la detección de presiones velocidad (PV) de bajo orden de magnitud.

El tubo pitot estándar cuyo C_p es de 1.0 ± 0.1 , se emplea para calibrar los tubos tipo "s", es decir, como patrón de referencia y así para medir en

corrientes donde las concentraciones de partículas son moderadas o nulas. También es conveniente su uso en ductos de diámetros pequeños (menores a 10 pulgadas).

Se produce el registro de presiones y, conociendo la presión barométrica de sitio, se quisiera la información de la composición volumétrica de los gases en base seca y su respectivo contenido de humedad (SENER, 2008).

La velocidad promedio (V_s) de los gases está dada por la siguiente relación:

$$V_s = K_p C_p (PV)^{\frac{1}{2}_{prom}} \left[\frac{T_{s,prom}}{P_s M_s} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

C_p : coeficiente de tubo pitot (adimensional).

K_p : constante del tubo pitot, 34.97 m/seg [(g/g-mol)(Mg.)/(°k)(mmH₂O)]^{1/2}.

$(PV)^{\frac{1}{2}_{prom}}$: promedio de la raíz cuadrada de cada PV.

T_s : temperatura promedio de la chimenea (°R o °K).

P_s : presión absoluta en la chimenea (Mg.) = Pbar +Pg.

7.- Muestreo de fuentes móviles

Los contaminantes emitidos por los transportes son un número reducido y bien definido entre los cuales se encuentra: el dióxido de carbono y monóxido de carbono, hidrocarburos poliaromáticos, hidrocarburos ligeros, aldehídos, óxidos de nitrógeno, plomo y partículas de suspensión. De esos, los que con frecuencia se emplean como índices de control son el monóxido de carbono para los motores que funcionan con gasolina y las partículas para los de tipo diesel (SEMARNAT, 2000).

El control de monóxido se realiza con el motor al ralentí o con el vehículo efectuando un recorrido normal. La medida se efectúa por combustión o por absorción en infrarrojo:

1. Método por combustión. Se realiza una postcombustión de los gases de escape y a partir del aumento de la temperatura originado determina el porcentaje en volumen de monóxido de carbono.
2. Método por infrarrojo. Se basa en que la absorción de rayos infrarrojos del compuesto es proporcional al contenido del contaminante.

En todos los muestreos de emisiones, además del equipo de detección del contaminante, se debe contar con otro que determine las condiciones de operación. (Gasto, temperatura y presión) para efectuar el ajuste correspondiente mediante la Ley de Avogadro.

8.- Métodos empleados para medir emisiones

8.1.- Partículas

Este método se conoce como determinación de polvo en gases de chimeneas. El equipo necesario consta de las siguientes partes: sonda, ciclones, filtro, medidores de las condiciones de operaciones y bomba de aspiración.

Una vez seleccionado el punto más adecuado del conducto para la toma de la muestra, se divide hipotéticamente la chimenea en un círculo central ya varias coronas circulares de idéntica superficie. Los puntos de muestreo se eligen a lo largo de un diámetro imaginario de forma que haya uno en el interior del círculo central y dos en los puntos medios de cada corona.

Ya que fue tomada la muestra se pesa y se realizan los cálculos correspondientes. Los resultados se expresan en masa por unidad de volumen o de tiempo (SETRAVI, 2008)

8.2.- Dióxido de azufre

Se coloca una solución de yodo 0.01 N junto con almidón como indicador en un frasco cuya tapa es una placa perforada y que se conecta a la sonda de muestreo. Se hace burbujear la corriente gaseosa en el frasco hasta que el color de la solución absorbente desaparece. Puesto que se conoce la cantidad

de reactivo de yodo se puede calcular la cantidad de dióxido de azufre, expresando los resultados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o por ciento.

Norma Oficial Mexicana: 0.130 ppm promedio de 24 horas; 0.030 ppm promedio anual. Cumplimiento de la Norma en la Ciudad de México: SI

El dióxido de azufre se produce durante la combustión de compuestos que contienen azufre. Los combustibles fósiles y la quema de biomasa son las principales fuentes de emisión en la Ciudad de México. Aun cuando no se ha cuantificado con precisión, se sabe que las emisiones volcánicas y los incendios forestales contribuyen a la producción de este contaminante. El dióxido de azufre es un gas incoloro fácilmente soluble en agua. Su oxidación da origen a la formación de ácido sulfúrico y sulfuroso, los cuales son precursores de las partículas y la lluvia ácida. La única ruta de exposición del ser humano es la inhalación. Su solubilidad en sustancias acuosas facilita su absorción en las membranas mucosas de la nariz y el tracto respiratorio superior, sin embargo, cuando la penetración se extiende hacia las regiones bajas del sistema respiratorio los efectos se acentúan. El efecto máximo de este contaminante se observa en los primeros minutos posteriores a la exposición. Además, la exposición prolongada a este contaminante puede producir daño al epitelio en las vías respiratorias. Los asmáticos son un grupo particularmente sensible, generalmente responden de manera similar que los sujetos normales con desarrollo de broncoconstricción pero a concentraciones menores (Organización Mundial de la Salud, 2006a) (SIEM, 2008).

8.3.- Oxido de nitrógeno

En el análisis de estos compuestos existe la posibilidad de examinar solo el dióxido de nitrógeno o también el monóxido de nitrógeno. En el primer caso, se procede utilizando un solo recipiente absorbente, mientras que en el segundo es necesario una oxidación de óxido nítrico a dióxido y su absorción para elevarlo conjunta o separadamente.

La muestra gaseosa se recoge en un recipiente de vidrio de forma esférica. A continuación se conecta dicho recipiente con un tres de frascos lavadores. El primero y el tercero de ellos contienen el reactivo absorbente de NO_2 , en tanto que el segundo se encuentra una solución oxidante que transforma el monóxido en dióxido. Se arrastra la muestra por medio de un hagas inerte o por succión, haciéndola burbujear en todos los frascos y se mide la intensidad de los colores formado en los frascos primero y tercero.

Norma Oficial Mexicana: 0.210 ppm, promedio horario. Cumplimiento de la Norma en la Ciudad de México: SI

Los óxidos de nitrógeno incluyen varias especies que contienen oxígeno y nitrógeno, sin embargo, desde el punto de vista de la salud humana el dióxido de nitrógeno es el más importante. El dióxido de nitrógeno es un fuerte oxidante y reacciona fácilmente con el agua para formar ácido nítrico y óxido nítrico. Este contaminante se produce durante la combustión pero en menores cantidades que el monóxido de nitrógeno (óxido nítrico) (SINAIS, 2007).

9.- Métodos analíticos empleados para medir la inmisión

Un numero de contaminantes presentes en la atmosfera es muy elevado dada la multiplicidad de fuentes que existen.

En la práctica, los niveles alcanzados por unos cuantos de ellos tienen importancia, como es el caso de las partículas, los óxidos de azufre, el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los oxidantes y el plomo.

9.1.- Partículas

Existen dos grandes grupos: las sedimentables, que se miden por medio d un captador de polvos y, las suspendidas, para las cuales se emplea un muestreador de alto volumen (high-vol). En algunos casos se emplean también otros métodos como la opacidad y el contenido de polen (SMA-GDF, 2009).

Sedimentables

La toma de muestras se efectúa aprovechando la característica principal, es decir, su disposición por efecto de la gravedad. La materia se recoge en un aparato colector, el cual es un recipiente de boca abierta hecho de vidrio, polietileno o cualquier otro materia inerte. Posteriormente, las muestras son medidas por peso y se reportan en miligramo por centímetro cuadrado por mes. Este método es barato pero poco exacto.

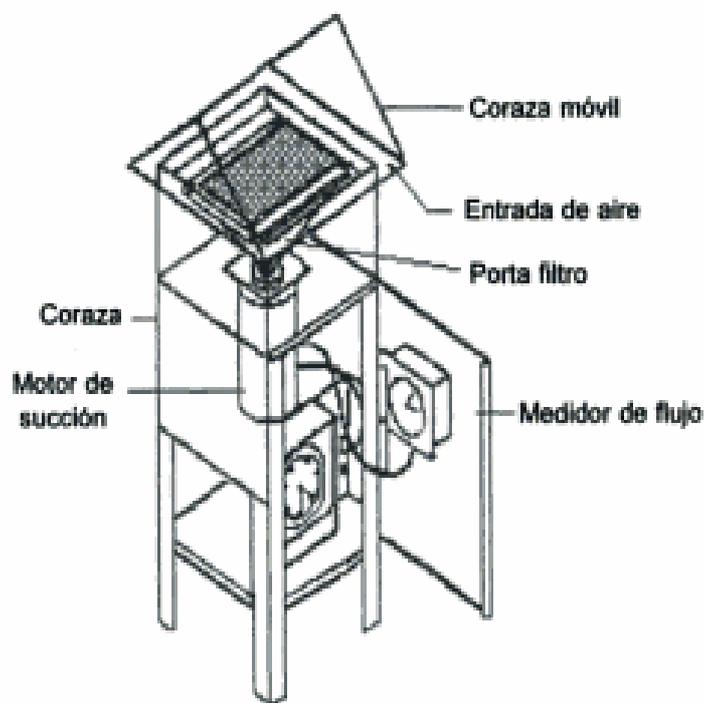


Figura 4. Muestreador de alto volumen.

Suspendidas

El principal muestreador de aire es el de alto volumen. Este aparato colecta partículas de tamaño entre 0.01 y 0.1 μm . consiste en un motor que genera vacío y que obliga al aire a pasar a través de un filtro (figura 3.31). la recolección se realiza en una parte cónica donde esta una rejilla de acero inoxidable que retiene al filtro y una placa abierta rectangular con una cara de hierro fundido y otra con un empaque plástico. La tasa de filtración se mide por

medio de un rotámetro calibrado en L/min. Por lo regular, las muestras se monitorean por 24 horas. Registrando el gasto al inicio (después de 5 minutos de calentamiento del equipo) y al final. El gasto promedio se determina por cada muestreador a partir de la curva de calibración específica. La concentración de las partículas es obtenida pesando el filtro antes y después del muestreo (SMA-GDF, 2008).

9.2.- Dióxido de azufre

El dióxido de azufre se muestrea tanto puntualmente como en continuo. No se deben emplear recipientes metálicos para su colección, ya que el dióxido de azufre se adhiere a este tipo de superficies. Los métodos más directos para su detención son los colorimétricos, conductimétricos y coulombimétricos. Para un monitoreo en continuo se emplea la espectrofotometría de absorción en infrarrojo o ultravioleta.

1. colorimétricos. Primero, se hace burbujear el aire en una solución reactiva cuya composición es función de una de las dos técnicas analíticas empleadas. En la colorimétrica de West y Gaete se emplea tetracloromercuriato sódico como reactivo absorbente. La cantidad de SO₂ se determina a partir de la coloración rojo-violácea, que se obtiene al añadir una mezcla de ácido clorhídrico, cloruro de para-rosanilina y formaldehído. El método tiene gran precisión aun para concentraciones pequeñas y el color es estable durante varias horas. La segunda técnica emplea una solución de peróxido de hidrógeno preparada con pH fijo y conocido y cuya variación es debida a la formación de ácido sulfúrico, según la reacción:



El ácido formado se valora con hidróxido o carbonato de sodio. Los resultados expresan en µg de SO₂/m³.

2. coulombiometrico. Emplea como absorbente una solución de ácido sulfúrico, bromuro de potasio y bromo. El dióxido de azufre reduce el bromo transformándolo en bromuro que posteriormente es regenerado a bromo por medio de corriente eléctrica de manera que su concentración en la solución se mantenga contrastante. La corriente eléctrica necesaria para la regeneración, es directamente proporcional a la cantidad de bromo reducido, y por tanto, a la cantidad de dióxido de azufre. Este método da excelentes resultados siempre y cuando no se tengan sólidos, ozono o sulfuro de hidrogeno en la muestra (SMA-GDF, 2006^a).

9.3.- Monóxido de carbono

Existen muchos métodos de detección de CO, tanto intermitentes como en continuo, en general, los primeros son de tipo gravimétrico, químico, electroquímico o colorimétrico. El más común es el de absorción infrarroja aunque también se emplea la cromatografía gaseosa, la conversión catalítica y la ionización con flama. A continuación se definen los principales:

1. Espectrofotometría infrarroja (IR). Es considerado como el mejor método por su rapidez y precisión. Su variante instrumental es conocida como NDIR. Se basa en la diferencia de absorción de la radiación IR entre una celda patrón y otra con muestra. Esta diferencia produce una variación en la energía recibida por el detector que registra mediante un circuito electrónico.
2. Método de la carboxihemoglobina. Está basado en la reacción con la sangre, es muy preciso y sensible, pero complicado y caro.
3. Método de pentóxido de yodo. Este procedimiento pasa lentamente grandes volúmenes de aire por el reactivo calentado entre 140 y 160 °C. El yodo liberado se volara con tiosulfato de sodio colorimetricamente.
4. Método de cloruro de paladio. Emplea papeles reactivos humedecidos con una solución de cloruro de paladio que se suspende en la atmósfera durante un tiempo determinado. Posteriormente, se comparan las

manchas obtenida por la deposición de paladio metálico con manchas patrones preestablecidos.

9.4.- Hidrocarburos

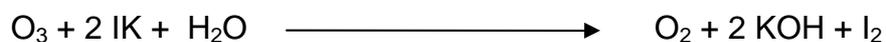
Para analizar los hidrocarburos es necesario separar primero el metano, para ello se emplea la cromatografía en fase gaseosa en combinación con la ionización con flama. Posteriormente, existen gran variedad de métodos en función del compuesto orgánico que se desee determinar, la mayor parte de ellos cromatograficos.

9.5.- Oxido de nitrógeno

Se determina colorimétricamente, en general en forma de NO₂ por medio de la reacción de diazotacion de griess-llosvay o de algunas de sus modificaciones (Jacobs-hocchleir o saltzmann). Esto explica que, para NO₃ requiere una reducción previa. La técnica se basa en la formación de un compuesto colorado entre el acido sulfanilico, el Ion nitrito y el dihidrocloruro de N-1 naftilrtiendiamina. La intensidad de color se mida a 550 nm. La modificación de Jacobs se emplea para valorar el contaminante en presencia de altas concentraciones de dióxido de azufre el cual es oxidado a sulfato con peroxido de hidrogeno. Como medio diazotante se emplea sulfanilamida en acido fosforito.

9.6.- Oxidantes

Los oxidantes se determinan aprovechando su propia capacidad de oxidación. El reactivo que se emplea con mayor frecuencia es una solución tamponada de ioduro de potasio que se calibra mediante una cantidad conocida de ozono. La capacidad oxidante se evalúa midiendo la cantidad de iodo remanente, de acuerdo con:



Existen muchos métodos para medir oxidantes, entre los que pueden citar esta el volumétrico de ehmert y wadelin, el de la fenoftaleina de haagen smit el de tiocinato ferroso de Todd y el del ácido sulfónico de Jacobs.

El más utilizado es el de Smith y Diamond. En este el ozono y demás oxidantes atmosféricos son absorbidos en una solución de yoduro alcalino que se oxida con peróxido de hidrógeno para eliminar el dióxido de azufre. Se ajusta el pH para evitar la interferencia con el dióxido de nitrógeno. Posteriormente, el yoduro se oxida a hipoclorito por acción de los oxidantes y por acidificación libera el yodo para determinarlo espectrofotométricamente a 352 nm. Los resultados, generalmente, se expresan como ppm de ozono, aunque en realidad mide la totalidad de los oxidantes

En el caso especial del PAN, también emplea la absorción en infrarrojo y la cromatografía de gas.

Plomo

Para este elemento existe un método colorimétrico y otro instrumental que emplea la absorción atómica. El primero se basa en la producción de un compuesto coloreado con la ditizona y su lectura a 525 nm.

Para la absorción atómica emplea el filtro de un muestreador de bajo volumen que se calcina y se dirigen las cenizas con ácido nítrico para preparar una solución. Los resultados son precisos y la determinación es rápida (SCT, 2007).

10.- Índice metropolitano de la calidad del aire (IMECA)

Con base a la formación generada por la red automática de monitoreo (RAMA), el gobierno de la ciudad de México, por medio del DDF, emite diariamente un reporte sobre la calidad del aire en la forma del índice metropolitano de la calidad del aire (Imeca). El valor del Imeca es igual al valor máximo de los subíndices obtenidos para los siguientes contaminantes: partículas suspendidas totales, dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono y el efecto sinérgico de las partículas como el SO₂ la expresión empleada es:

$$I_{meca} = \text{Máx.} \{I(\text{PST}); I(\text{SO}_2), I(\text{CO}), I(\text{NO}_2), I(\text{O}_3), I(\text{PST} \times \text{SO}_2)\}$$

En la cual, los términos entre paréntesis representan los subíndices correspondientes a cada uno de los indicadores.

Un valor Imeca de 500 representa niveles de contaminación para los cuales existen evidencias de daño significativo en la salud. La escala Imeca se define conforme a los criterios y concentraciones que se muestran en la tabla 1.

Cuadro 1. Criterios de calificación.

Valores	Clasificación	Recomendaciones
0 - 50	Buena	Adecuada para llevar a cabo actividades al aire libre.
51 - 100	Regular	Posibles molestias en niños, adultos mayores y personas con enfermedades.
101 - 150	Mala	Causante de efectos adversos a la salud en la población, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias como el asma.
151 - 200	Muy mala	Causante de mayores efectos adversos a la salud en la población en general, en particular los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias como el asma.
>200	Extremadamente mala	Causante de efectos adversos a la salud de la población en general. Se pueden presentar complicaciones graves en los niños y los adultos mayores con enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias como el asma.

Esta tabla 3.19 se presentan las ecuaciones que permiten calcular el equivalente en puntos Imeca a partir de las concentraciones. Cada contaminante tiene dos ecuaciones en función del

Cuadro 2. Algoritmo simplificado para el cálculo del IMECA.

INTERVALOS (IMECA)	CONCENTRACIONES	ECUACIONES
Partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀)		
PM₁₀		
	IMECA	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	0-50	0-60
	51-100	61-120
	101-150	121-220
	151-200	221-320
	>200	>320
		Ecuaciones
		$I[\text{PM}_{10}] = C[\text{PM}_{10}] * 5/6$
		$I[\text{PM}_{10}] = 40 + C[\text{PM}_{10}] * 0.5$
		$I[\text{PM}_{10}] = C[\text{PM}_{10}] * 5/8$
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5})		
PM_{2.5}		
	IMECA	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	0-50	0-15.4
	51-100	15.5-40.4
	101-150	40.5-65.4
	151-200	65.5-150.4
	>200	>150.4
		Ecuaciones
		$I[\text{PM}_{2.5}] = C[\text{PM}_{2.5}] * 50/15.4$
		$I[\text{PM}_{2.5}] = 20.50 + C[\text{PM}_{2.5}] * 49/24.9$
		$I[\text{PM}_{2.5}] = 21.30 + C[\text{PM}_{2.5}] * 49/24.9$
		$I[\text{PM}_{2.5}] = 113.20 + C[\text{PM}_{2.5}] * 49/84.9$
		$I[\text{PM}_{2.5}] = C[\text{PM}_{2.5}] * 201/150.5$
Ozono (O₃)		
O₃		
	IMECA	ppm
	0-50	0-0.055
	51-100	0.056-0.110
	101-150	0.111-0.165
	151-200	0.166-0.220
	>200	>0.220
		Ecuaciones
		$I[\text{O}_3] = C[\text{O}_3] * 100/0.11$
Dióxido de Nitrógeno (NO₂)		
NO₂		
	IMECA	ppm
	0-50	0-0.105
	51-100	0.106-0.210
	101-150	0.211-0.315
	151-200	0.316-0.420
	>200	>0.420
		Ecuaciones
		$I[\text{NO}_2] = C[\text{NO}_2] * 50/0.105$
		$I[\text{NO}_2] = 1.058 + C[\text{NO}_2] * 49/0.104$
		$I[\text{NO}_2] = 1.587 + C[\text{NO}_2] * 49/0.104$
		$I[\text{NO}_2] = 2.115 + C[\text{NO}_2] * 49/0.104$
		$I[\text{NO}_2] = C[\text{NO}_2] * 201/0.421$
Dióxido de Azufre (SO₂)		
SO₂		
	IMECA	ppm
	0-50	0-0.065
	51-100	0.066-0.130
	101-150	0.131-0.195
	151-200	0.196-0.260
	>200	>0.260
		Ecuaciones
		$I[\text{SO}_2] = C[\text{SO}_2] * 100/0.13$
Monóxido de Carbono (CO)		
CO		
	IMECA	ppm
	0-50	0-5.50
	51-100	5.51-11.00
	101-150	11.01-16.50
	151-200	16.51-22.00
	>200	>22.00
		Ecuaciones
		$I[\text{CO}] = C[\text{CO}] * 50/5.50$
		$I[\text{CO}] = 1.82 + C[\text{CO}] * 49/5.49$
		$I[\text{CO}] = 2.73 + C[\text{CO}] * 49/5.49$
		$I[\text{CO}] = 3.64 + C[\text{CO}] * 49/5.49$
		$I[\text{CO}] = C[\text{CO}] * 201/22.01$

Figura 5. Red automática de monitoreo atmosférico del área de ZMCM.

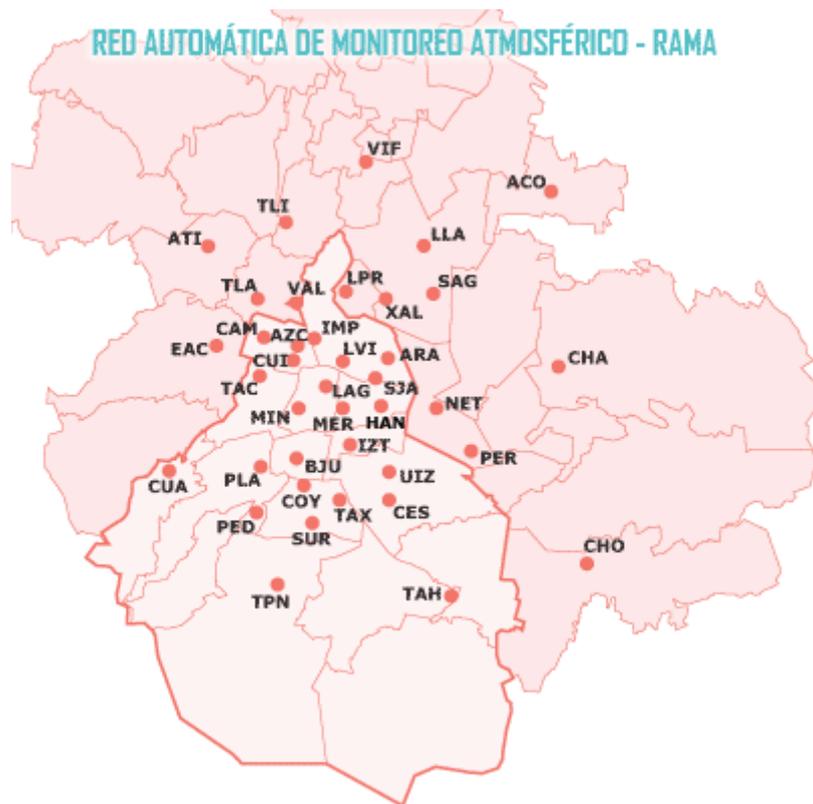
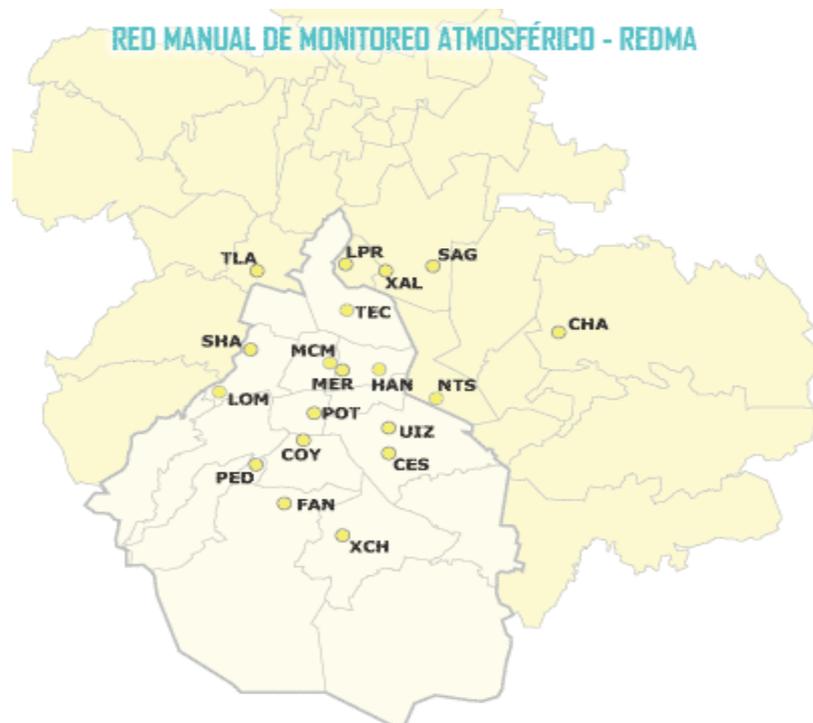


Figura 6. Red manual de monitoreo atmosférico del área de ZMCM.



Cuadro 3. Estaciones que integran las red de monitoreo y parámetros que se miden.

Zona	Estación	Clave	Red Automática										Red Manual			Red de Depósito Atmosférico		
			O ₃	CO ₂	SO ₂	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	ME _T	PS _T	PM ₁₀	P _b	pH	CE	AC			
NOROESTE	Vallejo	VAL																
	Tacuba	TAC																
	ENEP Acatlán	EAC																
	Azcapotzalco	AZC																
	Tlalnepantla	TLA																
	I.M.P.	IMP																
	Tultitlán	TLI																
	Atizapán	ATI																
	Legaria ^a	IBM																
	Laboratorio de Análisis Ambiental GDF-UNAM	LAA																
	Secretaría de Hacienda ^{/b, d}	SHA																
NORESTE	Los Laureles	LLA																
	La Presa ^{/b}	LPR																
	La Villa	LVI																
	San Agustín	SAG																
	Xalostoc ^{/a}	XAL																
	Aragón	ARA																
	Netzahualcóyotl ^{/c}	NET																

El Imeca que es dado a conocer al público es medido en cinco sectores que corresponden a las zonas NE, NO, SE, SO y centro de la ciudad de México. El cálculo se efectúa considerando las mediciones realizadas en varias estaciones de muestreo calculando la media aritmética de todos los puntos de muestreos en la zona para los valores monitoreados en cada estación.

En la figura 3.32 se muestra la ubicación de las estaciones y las áreas en que se regionaliza la ZMCM mientras que en la tabla 3.20 se indican los contaminantes medicados en cada estación. Como puede observarse. El SO₂ y el CO son los que se registran en el mayor número de estaciones (15), seguidos de O₃, (7estaciones) y, finalmente, los NO_x (solamente 3 estaciones).

Con esta infraestructura, en principio, la RAMA genera información horaria de cada contaminante, la cual se recibe y se almacena en una central de cómputo. Por su parte, los muestreos de Pb, PST y PM₁₀ (PST < 10 µg), así como algunos mas de SO₂, se realizan solo en estaciones manuales.

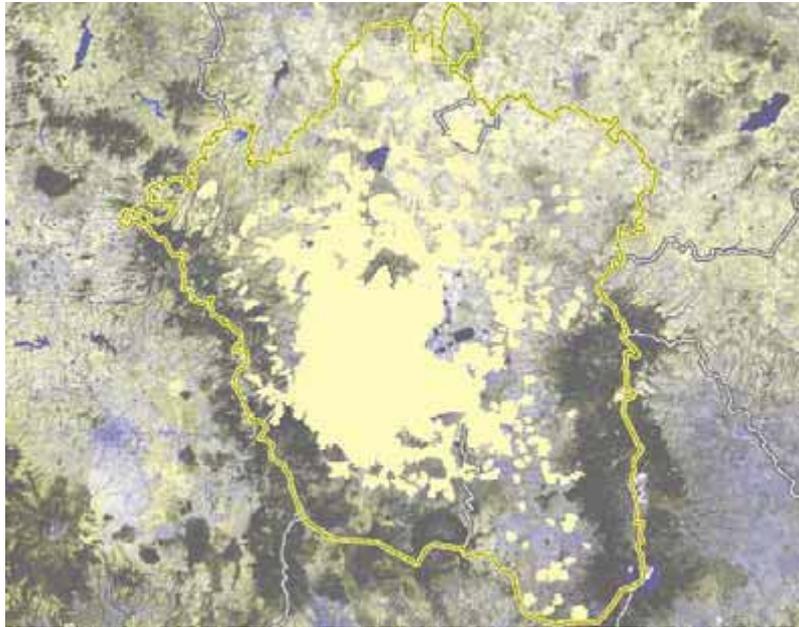
Actualmente, en la ciudad de México el Imeca casi siempre se encuentra arriba de 100, que corresponde a la norma (figura .3.33). La figura 3.34 muestra el número de días por año en que el Imeca excede de 100, 200 y 300 (SMA-GDF, 2004).

10.1.- Origen de la contaminación en la ciudad de México

Zona de estudio

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), establecida como Zona de Estudio para el Inventario de Emisiones 2008, comprende al Distrito Federal (16 delegaciones) y a 59 municipios del Estado de México; esta área geográfica fue publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal en diciembre de 2006. Abarca una superficie de 7,732 km², de la cual el 19% lo cubre el Distrito Federal y el 81% restante, el Estado de México. (Figura 7).

Figura 7. Mancha urbana y Zona Metropolitana del Valle de México.



Fuente: ©Metrópoli 2025 (<http://www.metropoli.org.mx>, agosto, 2009)

La zona de estudio, se ubica en la parte “Este” de la región conocida como Sistema Neovolcánico Transversal, formando parte del ecosistema de Bosque Templado y de la región fisiográfica del Eje Neovolcánico. Se sitúa entre los $19^{\circ} 03' - 19^{\circ} 54'$ de latitud Norte, y los $98^{\circ} 38' - 99^{\circ} 31'$ de longitud Oeste, con una altitud promedio de 2,240 metros sobre el nivel medio del mar (msnm).

La altitud a la que se encuentra la ZMVM, ocasiona regularmente que los procesos de combustión operen deficientemente y emitan una mayor cantidad de contaminantes a la atmósfera; esto como consecuencia del bajo contenido de oxígeno en el aire, el cual es aproximadamente 23% menor que a nivel del mar (Molina, 2002). Asociado a esto, su posición latitudinal ocasiona que reciba una radiación solar intensa que acelera la formación fotoquímica de contaminantes atmosféricos como el ozono y las partículas secundarias. Conjuntamente, la cadena montañosa que la rodea propicia el estancamiento de contaminantes. Asimismo, su ubicación en el centro del país permite que a lo largo del año, la zona de estudio resulte afectada por sistemas anticiclónicos, los cuales mantienen el cielo despejado y aumentan la capacidad fotoquímica

de la atmósfera (SMA-GDF, 2006); además, estos sistemas también inducen a que la velocidad de los vientos disminuya cerca de la superficie del suelo, situación que inhibe el movimiento vertical y horizontal del aire, dificultando la dispersión de los contaminantes (UNAM-CAM, 2006).

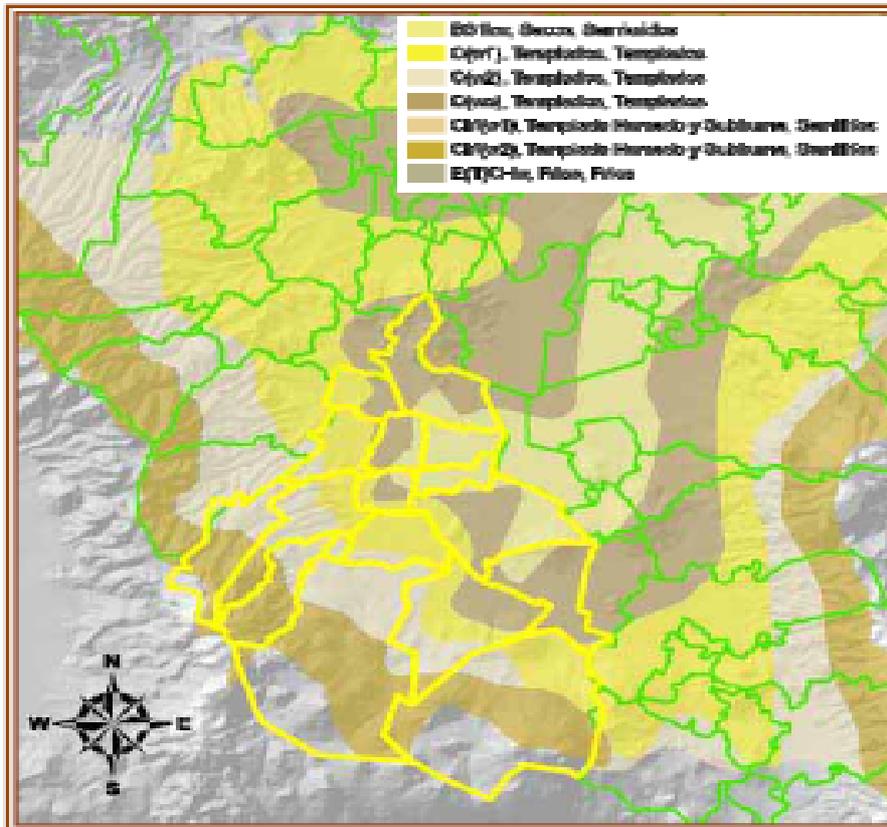
10.2.- Rasgos climáticos

Las características geográficas y climáticas de la ZMVM, son consideradas como uno de los principales factores que condicionan la acumulación o dispersión de contaminantes atmosféricos.

El Valle de México presenta diferentes tipos de climas ya que se encuentra en la Zona Intertropical, por lo tanto, recibe una alta insolación durante todo el año, lo cual provoca que la temperatura ambiente sea alta. Sin embargo, esta condición se ve modificada por la altitud fisiográfica, de tal forma que hacia el lado noreste se presenta un clima templado semiseco, en el centro un clima templado subhúmedo, y en las regiones elevadas, a más de 2,800 msnm, se considera semifrío subhúmedo. En el área de estudio se presentan tres subtipos de climas, como resultado de las diferencias de elevación y relieve del terreno: templado con lluvias en verano, templado húmedo y subhúmedo con lluvias en verano y por último, el clima seco (ver Figura 2.1.2.). La temperatura promedio anual oscila entre los 12°C en las partes más altas, hasta los 18°C en las partes llanas. En el mismo orden, la precipitación pluvial total varía de 600 a 1,000 mm al año, concentrándose en el verano. Es importante destacar que en los últimos veinte años, las condiciones meteorológicas y climáticas del Valle de México han cambiado significativamente, provocando que ya no se distingan los cambios estacionales; sin embargo, aún se puede reconocer una temporada húmeda (lluvias) y una temporada seca (EPA, 2007).

Por otra parte, las variaciones de temperatura que se presentan en esta última estación, permite dividirla en dos microestaciones: la estación seca-caliente (marzo a mayo) y la estación seca-fría (noviembre a febrero).

Figura 8. Climas de la Zona Metropolitana del Valle de México



Fuente: Elaboración propia con datos del PNUMA

La temporada de lluvias y la humedad relativa alta, inicia a mediados de mayo y se vuelve más evidente entre junio y octubre, ocasionando que disminuyan los niveles de algunos contaminantes por la inestabilidad atmosférica. Los niveles más altos de precipitación se registran en las zonas montañosas y los más bajos en la zona oriente (nororiente) (INEGI, 2007).

La tabla 3.21 muestra las fuentes de contaminación de la ciudad de México clasificados según su origen y tipo de contaminante.

10.3.- La industria

En 1991 se estimaba que la industria contribuía con el 12.6% de la contaminación y que las cuatro principales fuentes son:

1. las plantas de cemento tolteca y Anáhuac.

2. la refinería de PEMEX en Azcapotzalco.
3. las termoeléctricas Jorge Luque y valle de México, las cuales lanzaban a la atmosfera el 30% del dióxido de azufre.
4. más de 60 industrias de papel. Siderúrgicas y químicas, principalmente.

La ZMVM ha experimentado un proceso de descentralización de la actividad industrial de transformación a partir de los últimos años de la década de 1980. Este proceso fue estimulado por los gobiernos, en virtud de los peligrosos niveles de contaminación que se alcanzaron en esos años, así como a los problemas urbanos derivados de la alta concentración demográfica (SEDECO DF, 2009).

La mayor parte de la industria se ha trasladado hacia ciudades cercanas como Toluca, Santiago de Querétaro y Puebla de Zaragoza. La descentralización industrial del Distrito Federal ha favorecido el crecimiento de esta actividad en otros estados, especialmente los del norte, en donde a partir de la década de 1990 se establecieron nuevas empresas maquiladoras.

Según datos de la Secretaría de Desarrollo Económico del Distrito Federal, esta entidad cuenta con 54 zonas industriales y además, el PIB industrial manufacturero capitalino ha registrado en los últimos años, el 14% del total nacional de esta división (INEGI, 2008).

De las industrias con alto potencial de contaminación asentadas en la ciudad solo una cuarta parte contaba con equipo anticontaminante (legorreta, 1991).

Actualmente, este sector emite 24.5% de NOx y 4.2% de HC. El número de establecimientos industriales en la ZMVM es de 4,623 empresas. Las emisiones de NOx y HC de las 86 empresas más contaminantes constituyen el 83% de las emisiones totales de este sector (comisión metropolitana para la prevención y el control de la contaminación del valle de México, 1995). En cuanto a SO₂, CO y PST, también son estas 86 empresas las que producen el 70% de las emisiones totales.

10.4.- Sector servicios

Este sector contribuye con 17.7% del total de las emisiones de precursores de ozono (básicamente hidrocarburos). Estos provienen de la evaporación de la gasolina en el momento del suministro a los vehículos, la emisión de hidrocarburos sin quemar de los automóviles y de las fugas de gas licuado (gas LP). Actualmente, existe una norma oficial mexicana que obliga a que todas las gasolineras de la zona metropolitana cuenten con sistemas de recuperadores de vapores.

En la zona metropolitana se distribuyen poco más de 2 millones de toneladas de gas LP al año. 69% de la distribución se realiza a través de cilindros o tanques portátiles, 30% con auto tanques que surten a tanques estacionarios y 1% por medio de tuberías. El gas LP es empleado aproximadamente en 2 millones 900 viviendas y más de 12 650 establecimientos de servicio como restaurantes, panaderías, hoteles, gimnasios, tintorerías, y tortillerías, entre otros, se estima que por fugas en el sistema de distribución se emiten 242 mil toneladas al año, o sea, 6.65 del total de hidrocarburos emitidos a la atmosfera.

También, cabe destacarse la débil capacidad de respuesta de las actividades industriales para absorber la sobreoferta de mano de obra. El resultado entonces, viene siendo la tercerización de esta economía urbana y con un gran sector informal en constante crecimiento, en el cual no hay prestaciones salariales, ni contribuciones fiscales. Con base en el Sistema Empresarial Mexicano (SIEM), se sabe que para el año 2008, la ZMVM concentraba 259,811 establecimientos registrados, en donde el 95% se dedica al sector comercial y de servicios; de éstos, el 94% se clasifican como micro empresas. La participación del sector servicios en la generación del PIB es muy significativa, debido al tamaño y cantidad de actividades que concentra y genera en promedio, el 81% del PIB del Distrito Federal (INEGI, 2008).

10.5.- Sector de transporte

En cuanto a transporte masivo se refiere, existen diversos medios de transporte en la ciudad, entre ellos, el Sistema de Transporte Colectivo–Metro (STC-M),

que es la columna vertebral del transporte público en la capital mexicana; cuenta con 11 líneas y 175 estaciones.

Debido a la demanda de transporte en la ciudad, el gobierno capitalino impulsó el proyecto de construcción de la línea 12 del metro, que contará con un total de 24 km, conectará al suroriente desde la delegación Tláhuac con el poniente en la delegación Álvaro Obregón. Se estima que ocupará el cuarto lugar de la Red en traslado de pasajeros (STC-M, 2009).

Al metro se articulan en diferentes estaciones el servicio de la Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal (RTP) que presta sus servicios de transporte en autobús en 88 rutas, con un promedio de 260 mil pasajeros cada día. Además, el GDF administra el Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal (STE-DF), que se encarga de la operación de las quince líneas de trolebuses, y el Tren Ligero de la Ciudad de México (RTP y STE, 2009).

Por otra parte, el GDF creó el organismo público descentralizado *Metrobús*, el cual cuenta actualmente con 2 corredores, la primera línea de Indios Verdes a El caminero (sobre la avenida Insurgentes), y la línea 2 que va de la estación Tepalcates en el oriente de la Ciudad a Tacubaya en el poniente, recorriendo el Eje 4 Sur (Metrobús, 2009).

En agosto de 2006, se inició la construcción del primer sistema ferroviario suburbano de pasajeros, llamado Tren Suburbano, que reduce las tres horas que una persona utiliza en transportarse desde Huehueteca a la estación Buenavista a sólo 25 minutos. Su inauguración en fase de pruebas se realizó en marzo del 2008 y a partir del 2 de junio del mismo año ha comenzado oficialmente sus operaciones.

Aunado a los modos de transporte anteriores, en la ZMVM existe una sólida flota de autobuses, taxis y microbuses urbanos; los cuales están organizados en casi un centenar de rutas concesionadas (agrupaciones que prestan su servicio en una zona restringida de la capital). Cabe mencionar que de casi 22 millones de viajes que se realizan diariamente en la ZMVM, dos terceras partes se realizan en transporte público (GDF, INEGI y GEM, 2007).

10.6.- Parque vehicular

El parque vehicular de la zona metropolitana creció de manera persistente durante los últimos años con tasas de 10% anual. Entre 1950 y 1989, los automóviles aumentaron en más de 24 veces, mientras que la población apenas lo hizo en 3.4 veces; así en 1940 existían un vehículo por cada 36 habitantes, en 1989 la proporción era de 1 a 6 (Ilegorreta, 1991). La figura 3.36 muestra la tendencia actual y se observa un decremento en 1993 debido a la situación económica del país. Se estima que actualmente circulan más de 3 millones de automotores y que aproximadamente un 45% de ellos tienen más de 10 años de uso (Comisión metropolitana para la prevención y el control de la contaminación del valle de México, 1995).

10.7.- Consumo de gasolina

La ZMCM supera en casi 150 veces el consumo energético promedio nacional (figura 3.37 y 3.38). Como resultado, el sector de transporte contribuye con el 71.3% de los óxidos de nitrógeno y 70% de hidrocarburos.

Destacan los autos particulares (25% a 32% del total) los taxistas y los colectivos (figura 3.39). La cantidad de combustible que utilizan es muy elevada: entre 1970 y 1988 su consumo se incrementó más del doble y representó un tercio del total nacional. En 1980 los automóviles particulares y taxis consumieron 4903 millones de litros de gasolina (alrededor de 13.4 millones diarios) y los autobuses y camiones 1 102 millones de diesel (aproximadamente 23 millones diarios), (Ilegorreta 1991). Cabe destacar que un vehículo particular consume 15 veces más combustible por persona que el sistema colectivo (STC-Metro, 2009).

Por otra parte, en el alto grado de contaminación provocada por el transporte influye también la altitud. En la ciudad de México, a 2 240 msnm, un metro cúbico de aire que contiene 212 gramos de oxígeno mientras que el nivel del mar contiene 275. La eficiencia de la combustión de un automóvil bien afinado, por tanto, es de 92% al nivel del mar y de 69% en el distrito federal.

El control de los niveles máximos permisibles de emisiones de monóxido de carbono y de hidrocarburos en los automóviles se realiza por medio del programa obligatorio de verificación vehicular (nom-041), cuyo cumplimiento se demuestra mediante una calcomanía especial que se adhiere al vehículo. Este programa de verificación data de 1989, cuando se autorizaron un total de 420 centros de verificación (13 en el estado de México, 40 del DDF y 367 particulares), de acuerdo con Altamirano (1989). Los autos que exceden los límites máximos de emisiones en la verificación no pueden circular; los autos que aprueben la verificación pueden circular, con excepción del día estipulado por el programa hoy no circula. Se estima que la relación de las emisiones de los autos con o sin calcomanía es de más de 40:1 para el CO y mayor de 20:1 para hidrocarburos. La tabla 3.23 muestra las emisiones de los siguientes modelos de vehículo.

Los sectores más importantes por su demanda de energía fueron: el transporte, el cual absorbió en promedio, el 60% del consumo energético, así como el sector industrial con 24% . El incremento en el consumo de energía, se debe en gran medida al sector transporte, reflejo del constante crecimiento de la flota vehicular, sin embargo, el resto de los sectores se han mantenido con ligeras variaciones anuales (STE-DF, 2009).

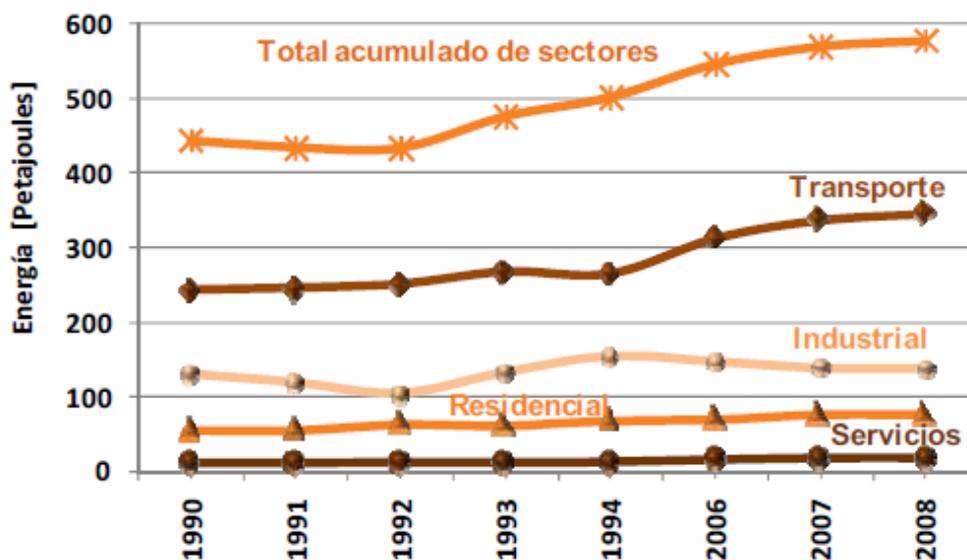


Figura 9. Consumo energético histórico por sector, ZMVM 1990 -2008

Cuadro 4. Consumo energético histórico de la ZMVM, 1990-2008

Año	Consumo [Petajoules]	Consumo [%]			
		Transporte	Industria	Residencial	Servicios
1990	443	55.2	29.6	12.7	2.6
1991	433	56.9	27.5	13.0	2.6
1992	433	58.2	24.3	14.7	2.8
1993	475	56.5	28.0	13.1	2.5
1994	501	53.0	30.8	13.7	2.5
1995	493	53.8	30.0	13.8	2.5
1996	491	53.8	30.3	13.5	2.3
1997	478	56.3	27.1	13.8	2.8
1998	491	56.0	27.7	13.5	2.8
1999	488	56.1	28.4	12.5	3.0
2000	497	57.5	26.4	12.9	3.2
2001	500	57.6	26.6	12.4	3.4
2002	515	57.0	27.1	12.2	3.7
2003	513	56.3	27.1	13.1	3.5
2004	539	59.1	24.7	13.0	3.1
2005	527	56.9	26.7	13.2	3.1
2006	545	57.3	27.0	12.8	2.9
2007	569	59.1	24.4	13.4	3.1
2008	576	59.8	23.9	13.3	3.0

Elaborada con datos de:

- 1) PEMEX-Refinación (2008). *Ventas de Gasolina y Diesel 2007 y 2008*.
- 2) SENER (2008). *Prospectiva del Mercado de Gas LP y Gas Natural 2008-2017*.

En la Tabla 2.3.2 se presenta el consumo por tipo de combustible y se observa que la demanda energética de la ZMVM se satisface principalmente con gasolina, la cual cubrió alrededor del 44% de la demanda. En segundo lugar se tiene al gas natural, el cual participó con poco más del 21%; es importante mencionar que el consumo de gas natural es abundante, debido a que produce 5.6 MJ de energía por barril, a diferencia de los demás combustibles, que generan alrededor de 5,000 MJ por barril de combustible.

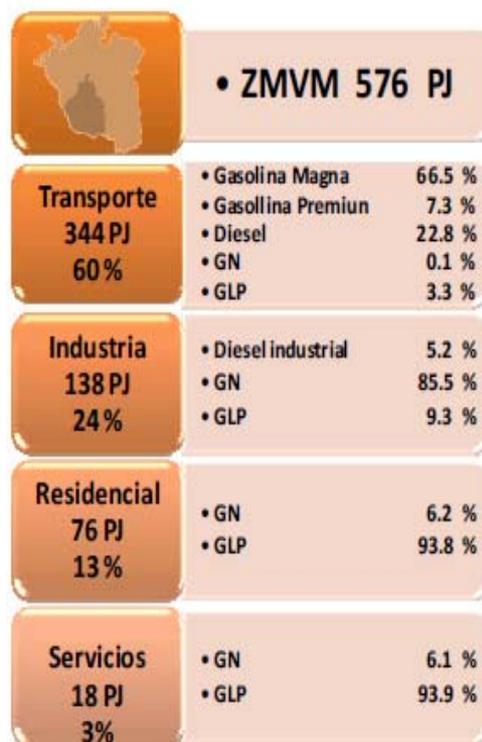
Cuadro 5. Consumo energético por tipo de combustible en la ZMVM, 2008

Tipo de combustible	Consumo anual		Energía disponible	
	[millones de barriles]	[millones de litros]	[PJ]	[%]
Gasolina Premium	5.0	797	25.2	4.4
Gasolina Magna	45.6	7,246	229.0	39.7
Diesel Industrial bajo Azufre	1.3	201	7.1	1.2
PEMEX Diesel	13.9	2,211	78.6	13.6
Gas Natural	22,057.6	3,506,880	124.2	21.5
Gas LP	26.7	4,244	112.3	19.5
Total ZMVM	22,150	3,521,578	576	100

Nota: No incluye a la turbosina, ya que la mayoría se consume fuera de la ZMVM y por encima de la capa de mezclado.

Para satisfacer los requerimientos de cocción, iluminación, calentamiento, la ZMVM utiliza en su mayoría gas licuado de petróleo y gas natural, sin embargo, los principales requerimientos los cubrió el GLP con una participación del 94% del consumo en el sector residencial y en servicios.

Figura 10. Demanda de energía por sector, ZMVM 2008



11.- Contaminación en otras ciudades

Además de la zona metropolitana, las ciudades más contaminadas del país son; Monterrey, Guadalajara, Minatitlán, Coatzacoalcos, Puebla, Saltillo, Monclova, Lázaro Cárdenas, Ciudad Juárez, Tijuana y la zona Lerma-Toluca.

Como medida para el control de la contaminación en las grandes zonas urbanas del país, en los últimos años se ha venido consolidando la instalación y operación de redes de monitoreo. Así, la ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Toluca y Ciudad Juárez cuentan desde hace algunos años con sistemas modernos de medición continua que registran parámetros primarios de calidad del aire.

- Ozono (O₃)
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Monóxido de carbono (CO)
- Partículas suspendidas totales (PST)
- Partículas menores a 10 micrómetros
- De diámetro (PM₁₀)
- Plomo (Pb)

De igual manera, Tijuana y Mexicali ya empezaron a generar información continua y útil para conocer la calidad del aire que prevalece en esas ciudades. Por otra parte, las redes de Aguascalientes, manzanillo, Querétaro, Coatzacoalcos, cananea, nacorazi y san Luis Potosí, que aun no se encuentran totalmente conformadas, solo generan datos sobre mediciones de algunos contaminantes primarios (O₃, SO₂, NO₂, PST y PM₁₀). A partir de los datos generados con la red de monitoreo se realizó la figura 3.40, en la que se muestra las veces que se ha excedido las normas de calidad del aire en las ciudades antes mencionadas. (INE et al., 1998)

La tabla resume el comportamiento de los diferentes contaminantes monitoreados de la calidad del aire en 14 ciudades de México. Este análisis permitirá, en un futuro, determinar el número y ubicación deseable de estaciones de monitoreo adicionales que deberían instalarse (INE et al., 1998)

11.1.- Prevención y control

Por prevención se entiende el evitar la formación de contaminantes y, para ellos, es necesario actuar sobre las materia primas (posibles sustitutos), o bien, proceder a la modificación del equipo o proceso. En la prevención importa tanto la factibilidad tecnológica como la viabilidad económica y es tan importante como el control de la contaminación.

El control se refiere a impedir que el contaminante, una vez formado, salga a la atmosfera. Se basa en dos principios diferentes: concentrar y retener (depuración), o bien, expulsar y diluir. Para el último, existen las técnicas de predilución con aire y la elevación del punto de descarga, cuyos resultados no son del todo satisfactorios.

11.2.- Control

Las técnicas de control se clasifican en dos grandes grupos según traten partículas o gases. Para las partículas, básicamente se consideran el tamaño y peso de los contaminantes mientras que, para los gases, intervienen fundamentalmente sus características químicas.

12.- Separación de partículas

12.1.- Por gravedad

Es el mecanismo natural más importante de remoción de partículas. Se emplea para sólidos y líquidos con tamaño $>50 \mu\text{m}$ que sedimente fácilmente al disminuir la velocidad de la corriente gaseosa. Operan de manera similar al sedimentado de agua, es decir, presentan un aumento del área transversal al

paso del fluido con el objeto de disminuir la componente horizontal de la velocidad y permitir que la componente vertical haga posible la sedimentación de la partícula. En la figura 3.41 se ilustra la cámara de howard, que tiene baja eficiencia y ocupa mucho espacio, pero cuyo costo de instalación y operación es muy bajo y su funcionamiento es sencillo. Es común encontrarla como pretratamiento.

12.2.- Inercia

Estos equipos se basan en la modificación brusca de la línea de corriente. La figura 3.42 presenta una cámara de persianas. Su eficiencia no es muy alta pero tampoco su costo.

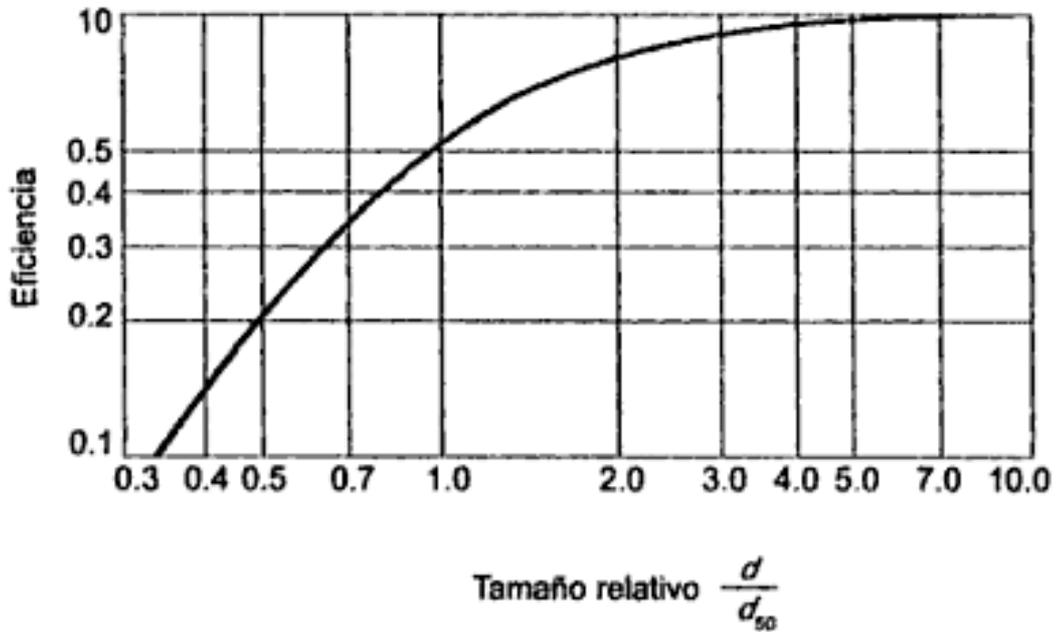
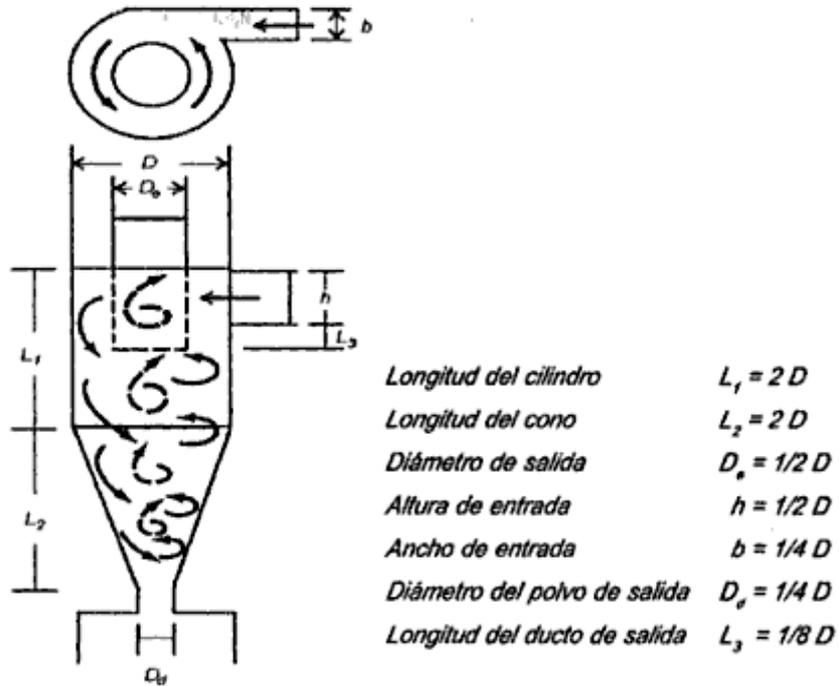
12.3.- Fuerza centrífuga

Debido a que las fuerzas centrífugas que se pueden generar son mucho mayores que las de la gravedad, con este método se logra retener partículas de menor tamaño. Los dispositivos que emplea, este mecanismo son los ciclones y los precipitadores dinámicos.

12.4.- Ciclones

Constan de dos partes: una cilíndrica y otra cónica (figura 3.43). El gas entra tangencialmente por la parte alta de cuerpo cilíndrico y se mueve en espiral hacia la parte inferior del cono (remolino exterior), a partir de ahí el aire cambia de dirección subiendo por la parte interna y girando en el centro del otro remolino. La fuerza centrífuga hace que las partículas suspendidas en el gas se depositen en la pared del ciclón y, tanto por la acción de la gravedad como por el cambio de dirección, son desplazadas hacia abajo. Así, la mayor parte caen en un receptáculo de donde se extraen por medio de un tornillo sin fin.

Figura 11. Condiciones de dimensionamiento para los ciclones.



Procesadora de madera. No funcionan con material húmedo y fibroso ya que se atasca en las aspas. Tienen un consumo energético superior al de los ciclones (SMA-GDF, 2008).

12.5.- Intercepción

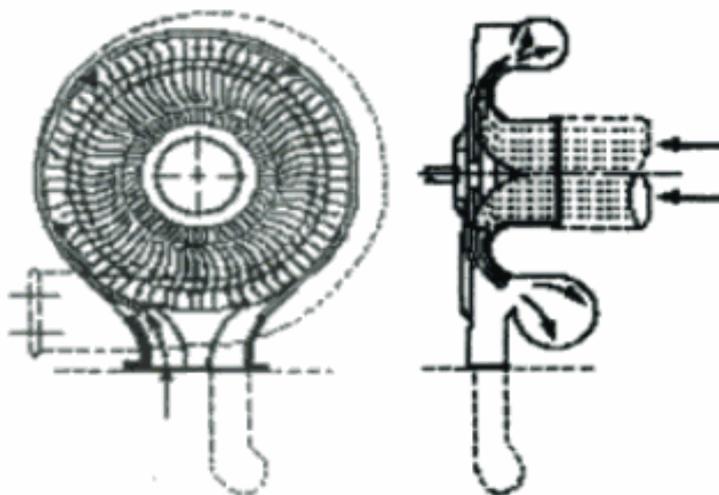
Se basa en la colisión de la partícula con un obstáculo en tal forma que son retenidas. Existen dos grandes grupos que emplean este método de separación: los lavadores y los filtros.

Lavadores. En los lavadores se introduce un líquido que puede ser agua o una solución relativa, por aspersión o por derrame. En general, no tienen partículas inferiores a $1\ \mu\text{m}$. un ejemplo son los lavaderos húmedos, que son sistemas eficientes pero caros, ya que es necesario considerar el costo líquido empleado.

El rendimiento de estos sistemas está relacionado con la energía consumida, expresada como una pérdida de carga. Así resulta que son los colectores Venturi los de mayor eficiencia. Además de la pérdida de carga, la eficiencia en función del tamaño de las partículas.

Los lavaderos se aplican especialmente para gases calientes y húmedos con la altura de la pluma no es factor limitante. Los colectores húmedos más empleados son las torres de aspersión, el lavador ciclónico y el lavador Venturi.

Figura 12. Precipitador dinámico



Torres de aspersión.

Se emplean para remover tanto gases como partículas. Tiene baja pérdida de carga y pueden manejar gastos muy importantes. El gas se introduce en sentido ascendente quedan las partículas colectadas en el fondo junto con el equipo. Son eficientes para partículas superiores a 10 μm .

Cuadro 6. Pérdida de carga promedio para diferentes tipos de colectores húmedos.

COLECTOR	PÉRDIDA DE CARGA, CM ³ AGUA
Cámara	1 a 4
Centrífugo	5 a 15
Dinámico	15
Atomizadores:	
De orificio Venturi	8 a 15 12 a 250

Fuente: Peavy et al., 1987.

Lavadores ciclónicos.

Operan de manera similar al ciclón solo que dentro de este se introduce un líquido por medio de boquillas. Se obtienen eficiencias un poco mejores que con las torres de aspersión, para partículas de tamaño de 100 μm la eficiencia es cercana a 100%; para las de 5 a 50 μm es de 90% a 98%. El rendimiento depende del gasto de agua, el tamaño de la gota y el de la partícula.

Lavaderos Venturi.

Son muy eficientes para remover partículas de tamaño entre 0.5 y 5 μm . El gas pasa a través de la garganta del Venturi a una velocidad de 60 a 80 m/s. en este punto se rocía gotas gruesas de agua en que son atomizadas debido al efecto de la alta velocidad de paso de aire. Las gotas de agua se unen con las

presentes en el gas y se sedimentan en la salida. El costo de funcionamiento es muy elevado por lo que su aplicación es limitada.

Figura 13. Lavador por aspersión y ciclónico

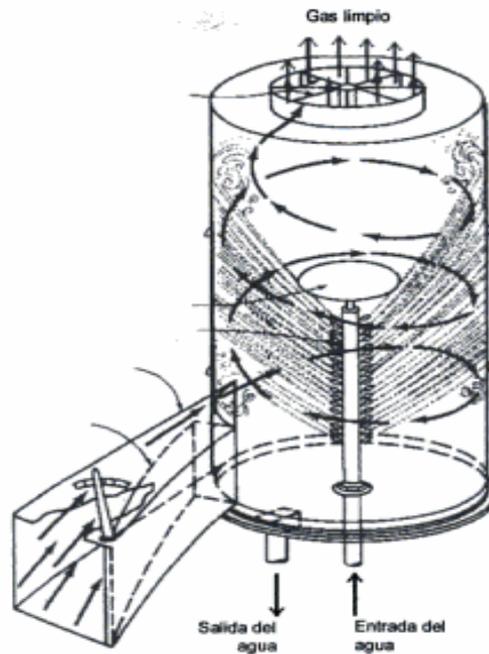
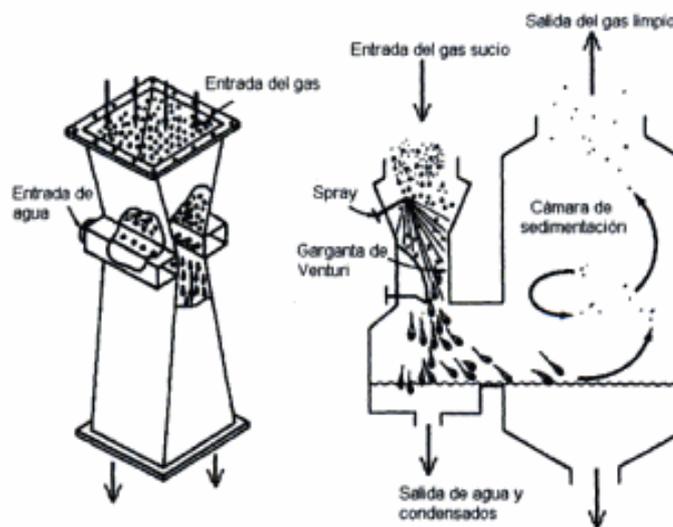


Figura 14. Lavador Venturi

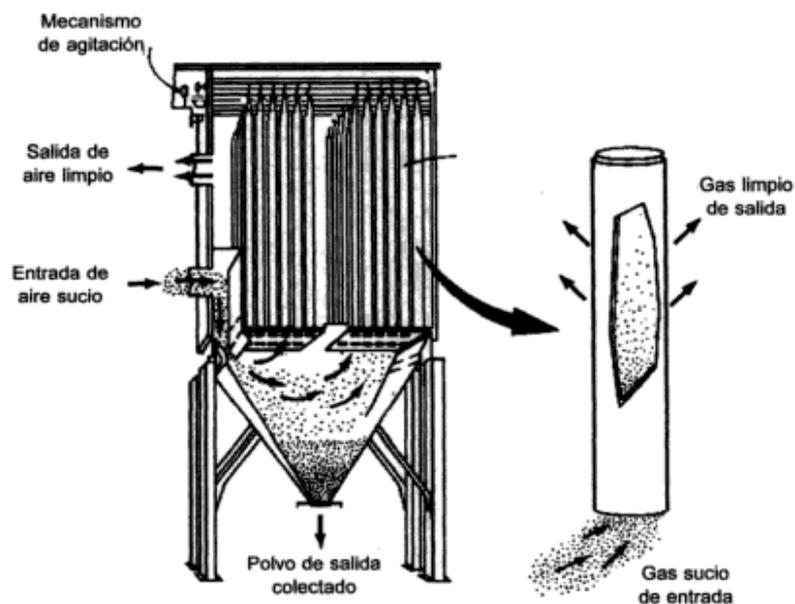


Filtros.

En la filtración se conduce la corriente gaseosa a través de un filtro de papel o de tela que permite el paso del aire pero no el de las partículas. Inicialmente, las partículas pequeñas son retenidas por intersección, difusión, impacto inercial, atracción electrostática o sedimentación, pero una vez que el polvo retenido forma una capa sobre el filtro la eficiencia se debe básicamente, al cribado.

Los filtros son bolsas con formas de sobre tubular de tamaño entre 1.8 y 9 m que se pueden colocar en conjunto en una “casa de filtros”, las cuales son unidas compactas. Remueven, comúnmente, partículas de 0.5mm e, incluso de 0.1 μm . conforme la filtración se lleva a cabo, la pérdida de carga aumenta; hasta un punto tal que deben ser limpiados o sustituidos. La limpieza se puede efectuar en forma continua o periódica (SMA-GDF, 2009).

Figura 15. Casa de filtros



En los filtros existen riesgos de explosión o de incendio. La tasa común de filtración es de 3 a 30 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$, se debe seleccionar el material filtrante de acuerdo con las características de fluido.

Se puede manejar con fibras especiales gases con las temperaturas hasta de 290 C. en los filtros se tiene rendimientos variables, pero si se quiere asegurar una buena eficiencia el equipo se toma muy caro, ya que puede necesitar 0.1 m² de área de filtro por m³ de aire por minuto. El costo inicial de operación y mantenimiento de este equipo es elevado.

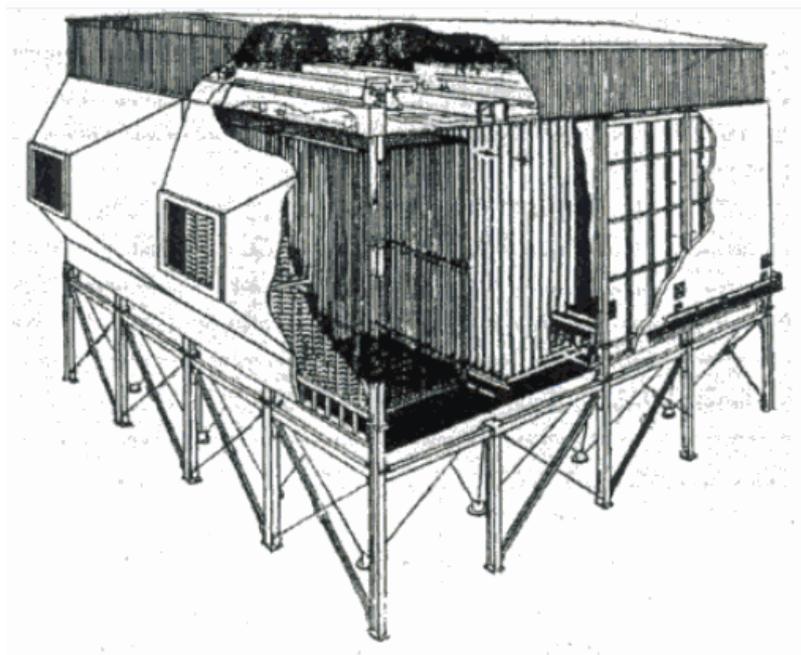
Los filtros se emplean habitualmente debido a la propiedad de retener una amplia gama de partículas de diversos tamaños, su flexibilidad de diseño, capacidad para tratar flujos elevados a altas velocidades, pérdida de carga y requerimientos energéticos razonables. Se usan frecuentemente en las cementeras, fundidores, hornos de acero y procesadoras de granos.

Cuadro 7. Características de operación para diferentes medios filtrantes

FILTRO	TEMPERATURA		RESISTENCIA QUÍMICA	
	INTERVALO	MÁXIMO	ÁCIDOS	BASES
Algodón	70-90	80	Mala	Aceptable
Dynel	65-80	8	Buena	Buena
Lana	80-110	105	Buena	Pobre
Nylon	90-140	105	Buena	Pobre
Orlón	90-175	135	Buena	Aceptable
Dacrón	120-175	135	Excelente	Buena
Vidrio	250-370	290	Excelente	Excelente

La separación se efectúa aprovechando la capacidad de ionización de los compuestos en un campo eléctrico que los desvía y obliga a adherirse a uno de los electrodos. Este proceso se puede efectuar tanto para gas seco como húmedo. Los precipitadores electrostáticos se dividen en dos grupos: de bajo voltaje con dos etapas y de alto voltaje con una sola. Los primeros operan entre 6000 y 12000 Voltios y se emplean para condiciones de aire en hospitales y comercios. Los precipitadores de alto voltaje operan entre 30000 y 100000 Voltios y se utilizan en las industrias (SETRAVI, 2008).

Figura 16. Precipitado electrostático de alto voltaje



El funcionamiento de los recipientes se basa en:

- Carga negativa de las partículas
- Colección de estas en una superficie positiva
- Neutralización de la carga en el colector
- Remoción de las partículas por lavado, raspado o
- Gravedad

Se aplican incluso para partículas inferiores a $1 \mu\text{m}$ con muy buenos rendimientos. Pueden tratar un flujo de gas entre 25 y $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, tienen una pérdida de carga baja y pueden operar por periodos prolongados con relativamente poco mantenimiento. Se pueden emplear para nieblas ácidas pero no para gases explosivos. Entre sus inconvenientes se tiene que algunas clases de polvos aíslan las superficies y disminuyen el rendimiento, tienen un costo de instalación elevado y son sensibles a los cambios de temperatura.

12.6.- Deposición ultrasónica

Los ultrasonidos favorecen la colisión y aglomeración de las partículas pequeñas. No es propiamente un proceso de separación ni un mecanismo auxiliar.

13.- Equipos para la eliminación de gases

Principalmente, se busca eliminar los óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, ácidos inorgánicos e hidrocarburos.

1. Equipos de absorción. se lleva a cabo por la transferencia de la fase gaseosa a líquida. Tiene por lo general, forma de columna, la cual puede o no estar empacada. El líquido receptor debe tener una composición tal que los gases capturados reaccionen químicamente o se disuelvan en él, por lo que el tiempo de reacción debe ser compatible con el tiempo de reacción o el de disolución. Las unidades de absorción se diseñan para proveer el máximo contacto posible entre el gas y el líquido y tener una disolución óptima.

La absorción se emplea bastante para la remoción de gases como el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ácido sulfhídrico, ácido clorhídrico, cloro, amoníaco y algunos hidrocarburos ligeros. La eliminación de hidrocarburos en el aire se ha empleado en industrias como la del asfalto, tostado de café, la coquerización del petróleo y la fabricación de barnices y resinas. El líquido empleado para la absorción debe ser solvente del contaminante, no volátil, inflamable y químicamente estable. Además, debe tener un punto de congelación bajo. Los principales absorbentes alcalinos son el sodio, amoníaco y agua con cal. Como equipo se emplean las torres de aspersion, torres de charolas y los lechos empacados.

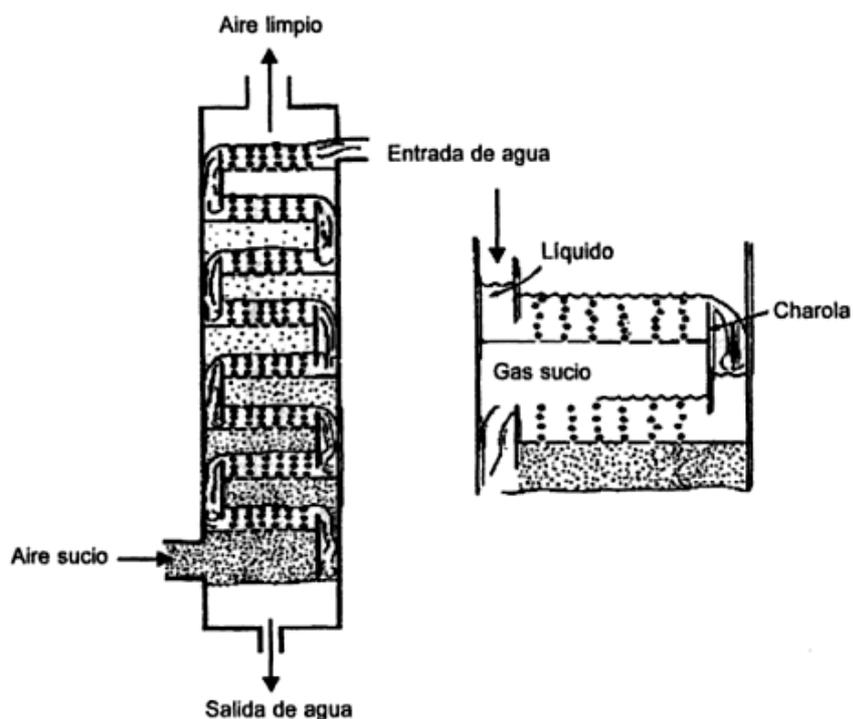
Torres de aspersión

Manejan grandes cantidades de aire con relativamente poca pérdida de carga. Tiene buena eficiencia siempre y cuando la concentración del contaminante no sea muy alta. Remueven tanto partículas como gases y no se taponan fácilmente. En general a menor tamaño de gota, mayor turbulencia y el rendimiento aumenta, pero, ello requiere el empleo de las boquillas que trabajen a alta presión teniendo como resultado un aumento del consumo energético. Las torres de aspersión son baratas en instalaciones y mantenimiento.

Torres de charolas

Sus características son similares a las de las torres de aspersión. Contienen charolas horizontales donde se encuentra el líquido con el objeto de proporcionar una área interfacial grande (fig. 3.50)

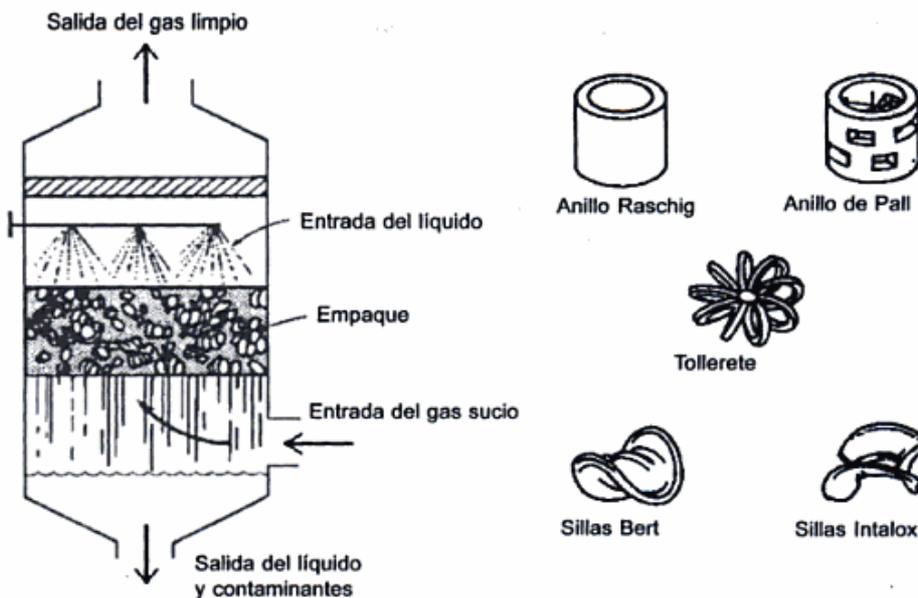
Figura 17. Absorbedor de torres de charolas



Torres empacadas

El empaque que se emplea para aumentar el tiempo de contacto entre el gas y el líquido debe contar con una elevada área superficial y porosidad. Los materiales más comunes son los anillos Raschig, cojinetes Berl, anillos Pall y sillas Intalox (figura 3.51). Las torres empacadas, por lo general, se operan a contracorriente, es decir, el gas entra por la parte baja y el líquido por la alta. A pesar de la elevada eficiencia obtenida, estos sistemas tienen el inconveniente de taponarse fácilmente si existen partículas en el efluente gaseoso, por lo que se requiere de un pretratamiento.

Figura 18. Torres empacadas y tipos de empaques



2. Adsorción. En este caso se busca que el gas el gas contaminante se adhiera a un sólido sin haber, generalmente, reacción química. Los absorbedores son columnas empacadas en las que es necesario sustituir y regenerar periódicamente el material solido. Al igual que en las torres empacadas los medios empleados deben tener una alta porosidad así como un área superficial elevada. Los materiales más

utilizados son el carbón activado, la alúmina, la bauxita, la silica gel y las zeolitas.

Adsorción física

Se debe a la condensación de gases y vapores sobre un sólido por medio de las fuerzas de Van der Waals (fuerza de atracción molecular). La cantidad de gas absorbido es proporcional a su punto de ebullición. Es un proceso fácilmente reversible por simple aumento de la temperatura o disminución de presión.

Adsorción química

En este caso el gas forma una licuadora con el absorbente, por lo que permanecen fuertemente ligados. El proceso es más lento que la adsorción y requiere, además, una cantidad importante de energía. Comúnmente, es un proceso irreversible, por lo que su aplicación se ve limitada por el costo de reposición de empaque. El equipo lo forman columnas empacadas cuyo Lecho puede estar fijo, tener movimiento o encontrarse en estado de fluidificación. El adsorbedor se encuentra colocado en charolas. El sistema tiene una eficiencia constante hasta que, llegado punto crítico, disminuye sensiblemente y el adsorbedor debe ser regenerado. Para ello, se hace circular aire a alta temperatura (adsorción física). Los adsorbedores se emplean en los procesos de secado, desengrasado, pinturas por aspersion, baños de inmersión, extracción de solventes y de acabo de superficies. Se controlas las emisiones de la industria del plástico, química y farmacéutica. Los adsorbedores tienen la ventaja de que permiten la recuperación del material eliminado, como es el caso del proceso Reinluft, en el cual el gas que contiene SO_2 se pasa a través de un lecho empacado con carbón activado a 93 C y 140 C. el SO_2 adsobido es oxidado a SO_3 que, al reaccionar con la humedad ambiente se transforma en acido sulfúrico.

Entre los tipos de adsorbentes que retienen vapores polares y agua están la alúmina, la bauxilia, y la sílica gel, por lo que se conoce como agentes desecantes. El carbón activado se emplea mucho para hidrocarburos parafínicos. En la tabla 3.29 se presentan los absorbedores más comunes.

3. Condensación. Un compuesto se condensa si su presión parcial se aumenta de manera que sea igual o mayor que la presión de vapor (presión de equilibrio). Así la temperatura de una mezcla de gases se reduce hasta la temperatura de saturación, su presión de vapor iguala a la presión parcial y el gas se condensa. Otra manera de lograr este proceso es aumentando la presión, pero en contaminación del aire rara vez se aplica este método (SEMARNAT, 2000).

Cuadro 8. Adsorbedor empleados para el control de la contaminación del aire

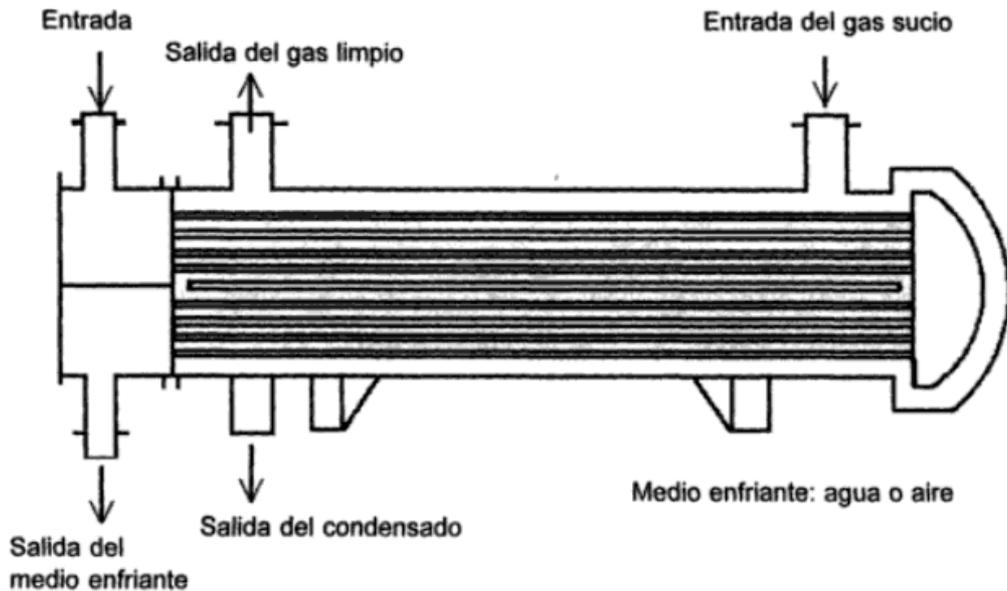
ADSORBEDOR	USO
Carbón activado	Eliminación de olores, purificación de gases y recuperación de solventes
Alúmina	Secado
Carbón de hueso	Decolorante de soluciones de azúcar
Tierra de Fuller, ceras, grasas	Refinado de aceites animales y vegetales
Magnesia	Tratamiento de gasolina y solventes, remoción de impurezas metálicas en soluciones cáusticas
Cribado molecular	Control y recuperación de Hg, SO ₂ y Nox
Sílica gel	Secado y purificación de gases
Sulfato de estroncio	Remoción de fierro en soluciones cáusticas

Fuente: Peavy et al., 1987.

Existen dos tipos de condensadores: de superficie y de contacto. En los de superficie, la adsorción física juega un papel preponderante para la eliminación del contaminante. En la figura 3.52 se presenta un condensador que emplea agua o aire para disminuir la temperatura. A medida que el fluido refrigerante

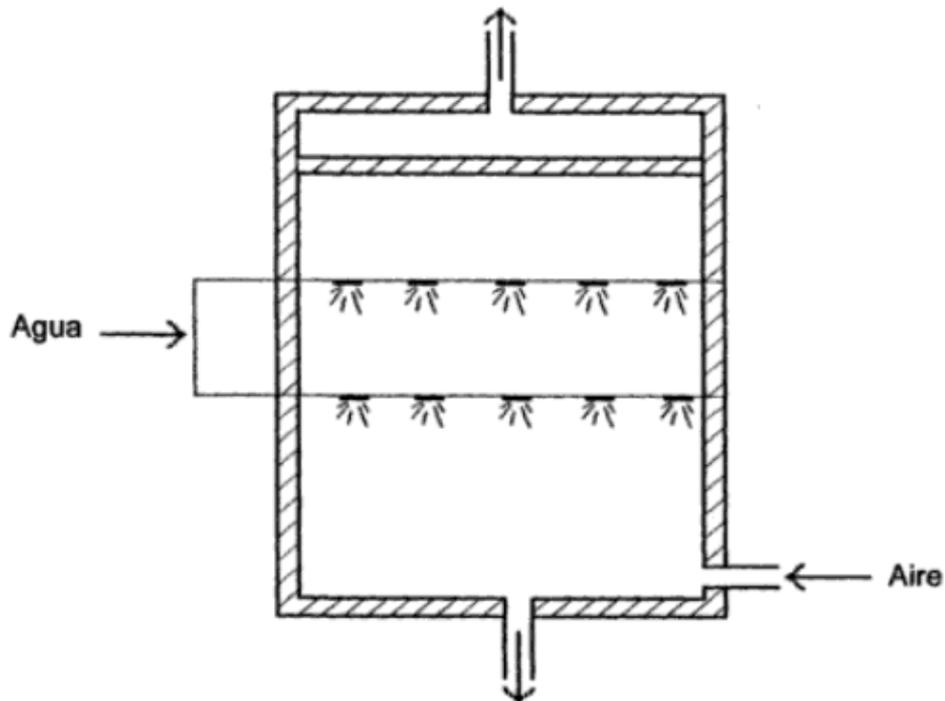
atraviesa los tubos el gas condensado forma una película sobre ellos que es recuperada por medio de drenes.

Figura 19. Condensador de superficie



En un condensador de contacto, el gas y el medio refrigerante se pone en contacto directo. En cierta forma, opera como una torre de aspersion, recolectando el agua y el gas disuelto en la parte inferior. Estos condensadores son menos caros y más flexibles que los de superficie. Son muy eficientes para remover compuestos orgánicos pero la contaminación de agua que genera limita su aplicación

Figura 20. condensador de contacto



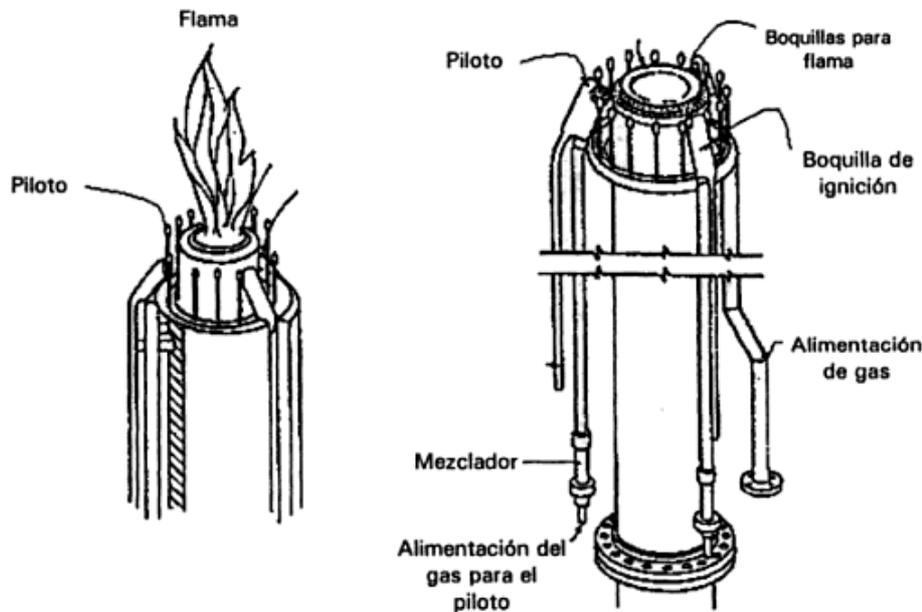
Los condensadores se emplean en la industria petroquímica (venteos de gasolina), en la del polietileno, los insecticidas, las resinas, y de solventes y en la industria química (amoníaco y cloro).

4. combustión. Se aplica para contaminantes oxidable por incineración o por combustión catalítica. Se basa en llevar al máximo el grado de oxidación a los contaminantes y para ello requiere de un buen diseño que considere cantidad de oxígeno, temperatura, turbulencia y tiempo de reacción.

Existen tres procedimientos:

- Antorchas o combustión directa en flama. Se puede efectuar con o sin adicción de combustible. Estos sistemas de tratamiento (figura 3.53) con frecuencia generan la aparición de óxidos de nitrógeno y humos. Son rentables únicamente cuando el gas que es quemado proporciona 50% de la energía requerida para el proceso.

Figura 21. Antorcha



Se usa con frecuencia con refinerías pero tiene un alto riesgo de operación, por lo que se recomienda cuando las concentraciones de contaminantes están dentro de los límites de la inflamabilidad. Ortiz monasterio (1987) señala que en 1972 en Amatlan, Veracruz, se produjo un accidente con este tipo de equipo.

- Hornos. Se aplica para corrientes gaseosas con elevados porcentajes de productos combustibles o cuando el gas contaminante es muy poco para incinerarse directamente en flama. Las temperaturas de evaporación varían entre 540 °C y 939 °C y se puede emplear para recuperar calor dentro de una industria.
- Oxidación catalítica. Reduce los contaminantes, por lo que se considera lo opuesto a la combustión. Se lleve a cabo mediante catalizadores que, en general son de tipo metálico. Un ejemplo clásico es la reducción de los óxidos de nitrógeno a nitrógeno gaseoso con Pt y Pd en los escapes de los automóviles con modernos dispositivos conocidos como convertidores catalíticos (DGSU-GDF, 2009).

Cuadro 9. Métodos de control de la contaminación en las principales industrias

INDUSTRIA O PROCESO	FUENTE DE EMISIÓN	CONTAMINANTE	TRATAMIENTO
Siderúrgicas (Hierro y acero)	Altos hornos. Hornos de acero	Óxido de hierro, polvo y humo	Ciclones, filtro precipitación electrostática y colectores húmedos
Fundición de hierro gris	Cubilotes. Mezcladores	Óxido de hierro, humo, aceite en polvo, fumos de metal	Lavadores y colectores centrífugos
Industria metalúrgica no ferrosa	Fundidoras y hornos	Humo y fumos de metal, aceite y grasa	Precipitadores electrostáticos y filtros
Refinerías de petróleo	Regeneración de catalizadores. Incineración de lodos	Catalizadores en polvo, cenizas de los lodos	Ciclones, precipitadores electrostáticos, lavadores y filtros
Fabricación de cemento Portland	Hornos, secadores. Manejo de materiales	Alcalis y polvos del proceso	Filtro, precipitadores electrostáticos y colectores mecánicos
Proceso Kraft para producción de papel	Hornos de recuperación. Secadores. Tanques de fundición	Polvos químicos	Precipitadores electrostáticos lavadores tipo Venturi
Fabricación del ácido sulfúrico y fosfórico	Procesos térmicos. Acidificación. Tamizado	Niebla ácida y polvo	Precipitadores electrostáticos y lavadores de niebla, tamizado
Procesamiento del coque	Horno. Templado. Manejo del material	Polvo de carbón y de coque. Hidrocarburos	Diseño y mantenimiento cuidadosos
Vidrio y fibra de vidrio	Hornos. Moldeado y curado. Manejo de material	Niebla ácida, polvos alcalinos, polvos y aerosoles	Filtros y quemadores

14.- PROGRAMAS GUBERNAMENTALES DE PREVENCIÓN Y CONTROL

Una forma de prevenir y controlar la contaminación es el desarrollo e implantación de diversos programas gubernamentales que a continuación se describen.

14.1.- PROGRAMA DE CONTINGENCIAS

Dadas las condiciones climáticas (inversiones térmicas de baja altura, de gran magnitud y persistencia, sistemas de alta presión, sistemas anticiclónicos, altos, alta radiación solar) topográficas, geográficas (una cuenca cerrada entre el paralelo 19°35' de latitud norte y 99°40' de longitud este a 2249 msnm) y de densidad poblacional en la zona metropolitana del valle de México, existe la probabilidad de tener elevados niveles de contaminación. Por ello, en mayo de 1986, la comisión nacional de ecología (conade) elaboró y concertó el programa de contingencias por episodios de contaminación atmosférica con el objeto de proteger a la población. En este programa participan las 18 secretarías, el DDF, el gobierno del estado de México, 14 de las principales paraestatales y organismos descentralizados, las 1000 industrias con mayor

potencial contaminante y el sector social. Los organismos responsables de los programas son: la Semarnat, Secretaría de Gobernación, IMP, SSA, Pemex, CFE, DDF, y el gobierno del estado de México. El área de aplicación (figura 3.55) del programa es la comprendida por las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal y los 17 municipios conurbados del Estado de México.

Desde su aparición, el programa de contingencias ha sufrido dos modificaciones fuertes, en 1989 y en 1996. El programa de 1989 se presenta en la tabla de 3.31. Este programa se activaba al rebasar Imeca los 200 puntos y, además, si las condiciones meteorológicas, en cuanto a la dispersión de contaminantes, eran adversas. Hasta finales de 1989 el programa de contingencias había sido puesto en operaciones en tres ocasiones: el 30 de enero de 1987, y los días 4 Y 26 de febrero de 1988.

En 1996, se propuso la activación automática basada solo en la Imeca con un valor de 250 (GODF, 2003).

Figura 22. Área de aplicación del programa de contingencias por episodios ambientales de aire



Cuadro 10. Actividades del programa de contingencias, 1989

<p>Nivel 1 (Imeca entre 200 y 300 puntos)</p> <ul style="list-style-type: none">– Especial vigilancia y análisis de datos de contaminación atmosférica y meteorología– Reducción de 30% de emisiones en de las 1 000 industrias más contaminantes– Incremento del gas natural consumido en las termoeléctricas de la ZMCM– Operativo especial para agilizar el tránsito vehicular– Paro de vehículos oficiales no indispensables– Programa de comunicación social y atención especial a la salud <p>Nivel 2 (Imeca entre 301 y 400) puntos</p> <ul style="list-style-type: none">– Reducción de 50% de emisiones en las industrias más contaminantes– Reducción del tránsito vehicular en vialidades y cruces críticos– Programa de comunicación social– Atención a la salud <p>Nivel 3 (Imeca entre 401 y 500) puntos</p> <ul style="list-style-type: none">– Reducción de 100% de emisiones en las industrias más contaminantes– Suspensión del tránsito vehicular– Suspensión de actividades escolares– Programa de comunicación social– Reunión preventiva del Centro Nacional de Operaciones– Especial atención a la salud

Algunas medidas son de aplicación inmediata, como la agilización del tránsito vehicular, la suspensión de actividades al aire libre en las escuelas y alerta médica del Sistema de Vigilancia Epidemiológica. Otras, como le doble Hoy no Circula, la reducción de la actividad industrial y el paro de 20% de las gasolineras se realizan al día siguiente de su inicio, con el fin de prevenir índices más altos de contaminación. En la fase 2, que entra en operación a los 350 puntos Imeca de ozono, se aplican todas las medidas de la fase 1 y, además, se declara asueto general, entendido como la suspensión de las actividades escolares y de las labores en bancos y oficinas públicas, incluyendo museos, parque y otras instalaciones recreativas por el gobierno. Los efectos de las contingencias en la salud (PEMEX, 1997).

De acuerdo con estudios epidemiológicos recién realizados por la secretaria de salud, la ocurrencia de una contingencia atmosférica provoca un incremento en la tasa de síntomas respiratorios mismos que son aún mayores en las siguientes 24 horas cuando persisten niveles altos de ozono (figuras 3.56 y 3.57). Además, se estima que el costo de la atención médica por contingencia es de 70 millones de pesos por evento.

Figura 23. Dolor de garganta

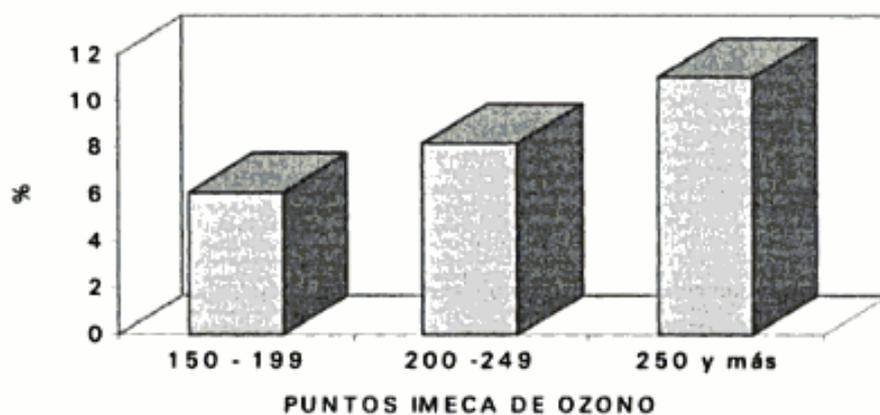
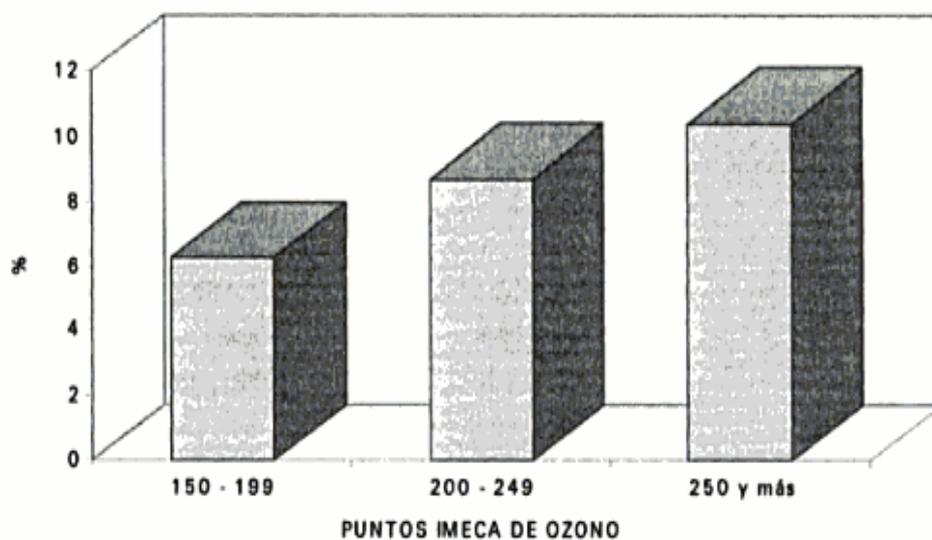


Figura 24. Tos productiva



Cuando se alcanzan niveles de contingencia, cerca de 6% de la población metropolitana presenta síntomas de afecciones respiratorias.

Cuadro 11. Incremento de síntomas respiratorios durante contingencias atmosféricas

SÍNTOMAS RESPIRATORIOS	NÚMERO DE CASOS	COSTO DE ATENCIÓN (MILES DE PESOS)
Síntomas respiratorios no especificados	389 124	N.D.
Infecciones respiratorias agudas	104 400	24 500
Asma	24 000	28 158
Bronquitis crónica	2 750	14 962
Bronquitis aguda	1 726	2 025
Total	522 000	69 645

N.D. = No determinado.

14.3.- Doble hoy no circula

El doble Hoy no Circula se aplica al día siguiente de que se registren 250 puntos Imeca de ozono, desde las 5:00 h. hasta las 22:00 h, durante los días que dure la contingencia; participan en él todos los automóviles con excepción de servicios médicos, seguridad pública, bomberos, servicio público de pasajeros (autobuses, microbuses y taxis), vehículos que transportan discapacitados, escolares y personal, vehículos de carga reconvertidos al uso exclusivos de gas LP o natural, así como vehículos eléctricos o con placas federales expedidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte. Los transportes de perecederos deben respetar el Hoy no Circula normal y también el doble. El doble Hoy no circula no incluye vehículos que contaminen poco y que se sometan a una verificación en profeso. La multa por circular el día en el día prohibido es de 30 días de salario mínimo (PEMEX, 2008).

Otro mecanismo de carácter regulatorio que se utiliza en algunas ciudades o zonas metropolitanas de México, donde las normas de calidad del aire son rebasadas con frecuencia y especialmente cuando se presentan episodios de alta contaminación atmosférica, es el denominado:

14.4.- Programa de Contingencia Ambiental

Un episodio de alta contaminación puede definirse como una situación eventual y transitoria declarada por las autoridades competentes, cuando la concentración de contaminantes en la atmósfera alcanza niveles dañinos a la salud de la población en general. Por ello, para hacer frente a una situación de esta naturaleza los objetivos que se persiguen al establecer un programa de contingencia ambiental son la de proveer información al público, establecer y aplicar acciones precautorias durante los episodios de alta contaminación y prevenir o reducir la severidad de los mismo.

Un programa de contingencia ambiental contempla la aplicación temporal de un conjunto de medidas restrictivas en los sectores generadores de emisiones para reducir la contaminación atmosférica, así como medidas orientadas a informar y a evitar o reducir la exposición de la población.

En general, los planes de contingencia de las ciudades o zonas metropolitanas de nuestro país tienen el mismo objetivo pero difieren en su contenido y en la forma de instrumentación. Hasta el momento las ciudades que cuentan con un programa de esta naturaleza son:

Valores normados para los contaminantes del aire en México

Contaminante	Valores límite			Normas Oficiales Mexicanas de la población susceptible)
	Exposición aguda		Exposición crónica	
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para protección de la población susceptible)	
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas) (12595 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-021-SSA1-1993 ^a
Bióxido de	0.13 ppm (24	1 vez al	0.03 ppm	NOM-022-

azufre (SO ₂)	horas) (341 µg/m ³)	año	(promedio aritmético anual)	SSA1-1993 ^a
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.21 ppm (1 hora) (395 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-023-SSA1-1993 ^a
Ozono (O ₃)	0.11 ppm (1 hora) (216 µg/m ³)	No se permite	-	Modificación a la NOM-020-SSA1-1993 ^b
	0.08 ppm (84 veces al horas) ^d	4 veces al año	-	
Partículas suspendidas totales PST	210 µg/m ³ (24 horas) ^e	2% de mediciones al año	-	
Partículas menores de 10 micrómetros PM ₁₀	120 µg/m ³ (24 horas) ^e	2% de mediciones al año	50 µg/m ³ (promedio aritmético anual) ^f	Modificación a la NOM-025-SSA1-1993 ^c
Partículas menores de 2.5 micrómetros PM _{2.5}	65 µg/m ³ (24 horas) ^e	2% de mediciones al año	15 µg/m ³ (promedio aritmético anual) ^f	
Plomo (Pb)	-	-	1.5 mg/m ³ (promedio aritmético en 3 meses)	NOM-026-SSA1-1993 ^a

^a Diario Oficial de la Federación del 23 de diciembre de 1994.

^b Diario Oficial de la Federación del 30 de octubre de 2002.

^c Diario Oficial de la Federación del 26 de septiembre de 2005, entra en vigor a partir del 26 de noviembre de 2005.

^d La concentración del promedio de ocho horas de ozono como contaminante atmosférico en un sitio de monitoreo, debe ser menor o igual a 0.080 ppm, tomado como el quinto máximo, en un periodo de un año, calculado como se indica en la NOM

^e Un sitio cumple con la norma para el promedio de 24 horas cuando el valor del percentil 98 calculado como se indica en la NOM es menor o igual al valor indicado.

^f Un sitio cumple con la norma anual, cuando el promedio anual de los valores diarios calculado como se indica en la NOM es menor o igual al valor indicado.

15.- Tendencias de ozono en ciudades mexicanas

En esta página se muestran los indicadores relacionados con el cumplimiento y tendencia de las normas de calidad del aire para el ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), la Zona Metropolitana de Toluca (ZMVT), Puebla, Ciudad Juárez, Tijuana y Mexicali.

Los límites de calidad del aire establecidos para el ozono en la NOM-020-SSA1-1993 para proteger la salud humana son:

- No se debe de rebasar el valor 0.11ppm en una hora (norma horaria)

No se debe de rebasar el valor 0.08ppm más de 4 veces al año como

- promedio móvil de 8 horas en un día (norma anual)

Indicadores

Como se observa en el siguiente cuadro, las ZMVM es la ciudad que rebasa en más días el valor de la norma horaria, casi en dos tercios de los días del año, seguido por la ZMG, la ZMM y la ZMVT.

Días en que se rebasa el valor de norma horaria para ozono (0.11ppm)

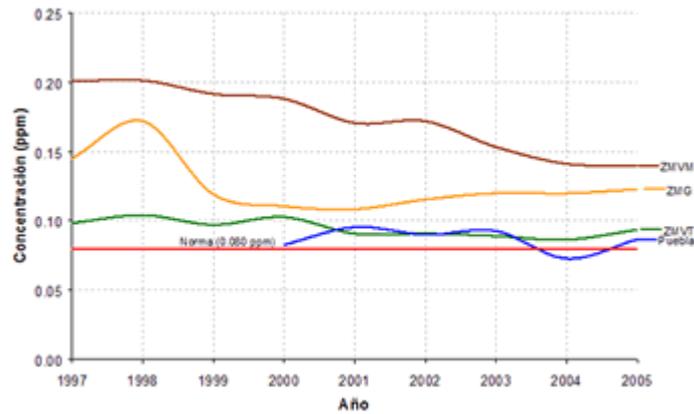
Año	ZMVM	ZMG	ZMM	ZMVT	Puebla	Cd Juárez	Tijuana	Mexicali
1997	322	169	34	22	SM	7	2	28
1998	320	138	14	32	SM	8	1	27
1999	300	59	12	32	SM	9	0	30
2000	323	64	12	39	17	9	0	14
2001	296	36	13	15	33	6	0	15
2002	300	75	8	20	21	5	0	8
2003	284	68	14	14	20	1	0	8
2004	238	47	36	8	1	2	0	5
2005	233	66	32	22	7	4	0	SI
SM	=		Sin			medición		

SI = Sin información – el INE no cuenta con la base de datos

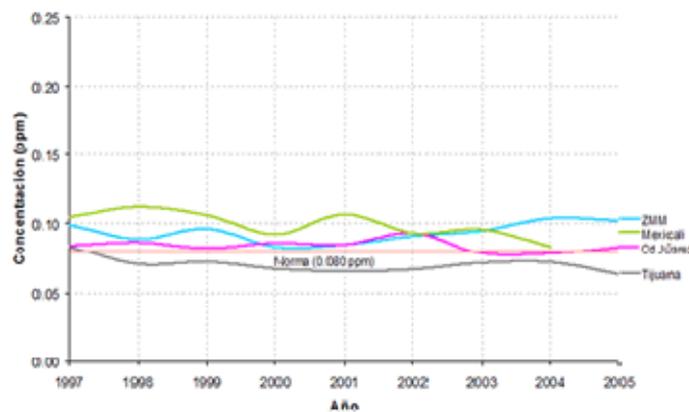
A continuación se presentan las tendencias del quinto máximo de los promedios móviles de 8 horas en las ciudades agrupadas según su localización geográfica en dos zonas. Zona Centro: Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), y Puebla. Zona norte: Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), Ciudad Juárez, Tijuana y Mexicali.

En las dos figuras siguientes se observa que en la mayoría de las ciudades, los niveles del quinto máximo de ozono siguen rebasando el valor de la norma anual. Sólo en la ciudad de Tijuana no se han presentado niveles por arriba de la norma desde 1998. En la ZMVM, aunque la tendencia de los niveles es decreciente, los niveles de ozono siguen por arriba del límite establecido en la norma, alcanzando en los últimos años valores de casi el doble del establecido. En cambio en la ZMG aunque la tendencia es creciente a partir del 2002 no alcanza aún los niveles de la ZMVM.

Quinto máximo de los promedios móviles de 8 horas para ozono en las Ciudades de la zona centro (ZMVM, ZMG, ZMVT y Puebla)



Quinto máximo de los promedios móviles de 8 horas para ozono en las ciudades de la zona norte (ZMM, Mexicali, Ciudad Juárez y Tijuana)



16.- LEGISLACION

De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico para la Protección al Ambiente (LGEEPA, 1995), todas las emisiones de contaminantes en la atmosfera, deben ser reducidas o controladas. Para lo cual, la Semarnat, en la coordinación con la Secretaria de Salud, expide normas que establecen los niveles máximos permisibles de emisiones por contaminantes y por fuente y, además, podrán requerir la instalación de equipos de control de emisiones a quienes realicen actividades contaminantes en zonas conurbadas ubicadas en dos o más entidades federativas y cuando se trate de bienes o zonas de jurisdicción federal. Además, la Semarnat expide los procedimientos certificados para la medición de las emisiones de contaminantes en la atmosfera.

Las emisiones de olores, gases y partículas (sólidas y líquidas) generadas por fuentes fijas no deberán exceder los límites permisibles de emisión e inmisión de contaminantes y de fuentes de contaminación establecidos en las normas oficiales mexicanas. Dichas normas de emisión se establecen en: fuentes existentes, nuevas o localizadas en zonas críticas (INEGI, 1997).

De acuerdo con el Art. 17 del reglamento de la LGEEPA, los responsables de las fuentes fijas están obligados a:

- I. Emplear equipos y sistemas de control.
- II. Integrar un inventario de emisiones.
- III. Instalar plataformas y puertos de muestreo.
- IV. Medir sus emisiones contaminantes a la atmósfera.
- V. En cierto casos, realizar muestreos perimetrales
- VI. Llevar bitácora de equipos de procesos y control.

Todas las fuentes fijas de jurisdicción federal que emiten o pueden emitir olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera requieren de licencia de funcionamiento expedida por las Semarnat de vigencia indefinida.

En la licencia de funcionamiento se especifica: la periodicidad con que debe presentarse el inventario de emisiones; la periodicidad para realizar la evaluación de sus emisiones y monitoreo perimetral; las medidas y acciones que deberán realizarse en caso de una contingencia y el equipo requerido para prevenir y controlar la contaminación de la atmósfera.

La secretaria podrá fijar en la licencia de funcionamiento los niveles de emisión específicos para fuentes fijas cuyos procesos particulares no puedan encuadrarse dentro de los comprendidos por las normas oficiales mexicanas.

Una vez otorgada la licencia de funcionamiento, el responsable de la fuente fija remite a la secretaria, en el mes de febrero de cada año, una cédula de operación que contiene la información y documentación prevista en el formato de licencia.

Cabe mencionar que las emisiones de fuentes fijas deberán canalizarse a través de ductos y/ o chimeneas de descarga las cuales deberán tener la altura afectiva necesaria para dispersar las emisiones contaminadas (SEMARNAT, 2008).

17.- NORMAS DE EMISION

Emisión de Contaminantes a la Atmósfera

22 de Octubre de 1993. NORMA Oficial Mexicana NOM-039-ECOL-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico, en plantas productoras de ácido sulfúrico.

22 de Octubre de 1993. NORMA Oficial Mexicana NOM-040-ECOL-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas así como los requisitos de control de emisiones fugitivas, provenientes de las fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento.

22 de Octubre de 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-041-ECOL-1999, que establece los límites permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.

22 de Octubre de 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-042-ECOL-1999, que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas suspendidas provenientes de escape de vehículos automotores nuevos en planta, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diesel de los mismos, con peso bruto vehicular que no exceda los 3856 kilogramos.

22 de Octubre de 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-043-ECOL-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.

22 de Octubre de 1993. NORMA Oficial Mexicana NOM-044-ECOL-1003, que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diesel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos.

22 de abril de 1997. NORMA Oficial Mexicana NOM-045-ECOL-1996, que establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel o mezclas que incluyan diesel como combustible.

22 de Octubre de 1993. NORMA Oficial Mexicana NOM-046-ECOL-1993 que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido de azufre, neblinas de trióxido de azufre y ácido sulfúrico, provenientes de procesos de producción de ácido dodecibencensulfónico en fuentes fijas.

22 de Octubre de 1993. NORMA Oficial Mexicana NOM-048-ECOL-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono y humo provenientes del escape de las motocicletas en circulación que utilizan gasolina o mezcla de gasolina-aceite como combustible.

22 de Octubre de 1993. NORMA Oficial Mexicana NOM-050-ECOL-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos como combustible.

22 de Octubre de 1993. NORMA Oficial Mexicana NOM-051-ECOL-1993, que establece el nivel máximo permisible en peso de azufre, en el combustible

líquido gasóleo industrial que se consuma por las fuentes fijas en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

26 de diciembre de 1995. NORMA Oficial Mexicana NOM-075-ECOL-1995, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de los separadores de agua-aceite de las refinerías de petróleo.

26 de diciembre de 1995. NORMA Oficial Mexicana NOM-076-ECOL-1995, Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos y que se utilizan para la propulsión de vehículos automotores, con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos nuevos en planta.

2 de diciembre de 1994. NORMA Oficial Mexicana NOM-085-ECOL-1994, Contaminación atmosférica - Fuentes fijas - Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.

1 de febrero de 1996. NORMA Oficial Mexicana NOM-097-ECOL-1995, Que establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio en el país.

2 de abril de 1998. Norma Oficial Mexicana NOM-105-ECOL-1996, que establece los niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera de partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total proveniente de

los procesos de recuperación de químicos de las plantas de fabricación de celulosa.

14 de julio de 1998. Norma Oficial Mexicana NOM-121-ECOL-1997, que establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (COV's) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple, de pasajeros y utilitarios; carga y camiones ligeros, así como el método para calcular sus emisiones.

14 de junio de 1998. Norma Oficial Mexicana NOM-123-ECOL-1998, que establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COV's), en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de los mismos en pinturas y recubrimientos.

Equipo y Verificación de Contaminantes

22 de octubre de 1993. NORMA Oficial Mexicana NOM-049-ECOL-1993, que establece las características del equipo y el procedimiento de medición, para la verificación de los niveles de emisión de gases contaminantes, provenientes de las motocicletas en circulación que usan gasolina o mezcla de gasolina-aceite como combustible.

13 de noviembre de 1995. NORMA Oficial Mexicana NOM-077-ECOL-1995, Que establece el procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de la opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible.

10 de mayo de 2000. NORMA Oficial Mexicana NOM-047-ECOL-1999, Que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.

Especificaciones para Combustibles

2 de diciembre de 1994. NORMA Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994, Contaminación Atmosférica, Especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles.

Estaciones de Servicio de Hidrocarburos

Cuadro 12.- 2 de diciembre de 1994. NORMA Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994, Contaminación Atmosférica, Especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles.

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA		
MEDICIÓN DE CONCENTRACIONES		D.O.F.
NOM-034-ECOL-1993 NOM-034-SEMARNAT-1993 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO AMBIENTAL, URBANO Y TURÍSTICO	MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN. ANEXO	18/OCT/93
NOM-035-ECOL-1993 NOM-035-SEMARNAT-1993 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO AMBIENTAL, URBANO Y TURÍSTICO	MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN EL AIRE AMBIENTE Y EL PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN. ANEXO 1 ANEXO 3 ANEXO 5 ANEXO 6 ANEXO 7	18/OCT/93
NOM-036-ECOL-1993 NOM-036-SEMARNAT-1993 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO AMBIENTAL, URBANO Y TURÍSTICO	MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE OZONO EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN. ANEXO 1	18/OCT/93
NOM-037-ECOL-1993 NOM-037-SEMARNAT-	MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN	18/OCT/93

1993 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO AMBIENTAL, URBANO Y TURÍSTICO	DE BIÓXIDO DE NITRÓGENO EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN. ANEXO1	
NOM-038-ECOL-1993 NOM-038-SEMARNAT- 1993 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO AMBIENTAL, URBANO Y TURÍSTICO	MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE BIÓXIDO DE AZUFRE EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN. ANEXO 1-3 ANEXO 4	18/OCT/93
EMISIONES DE FUENTES FIJAS		D.O.F.
NOM-039-ECOL-1993 NOM-039-SEMARNAT- 1993 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE BIÓXIDO Y TRIÓXIDO DE AZUFRE Y NEBLINAS DE ÁCIDO SULFÚRICO, EN PLANTAS PRODUCTORAS DE ÁCIDO SULFÚRICO.	22/OCT/93
NOM-040-ECOL-2002 NOM-040-SEMARNAT- 2002 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA	PROTECCIÓN AMBIENTAL- FABRICACIÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO-NIVELES MÁXIMOS DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA. (MODIFICACIÓN D.O.F. 20-ABRIL- 2004).	18/DIC/02
NOM-043-ECOL-1993 NOM-043-SEMARNAT- 1993 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE PARTÍCULAS SÓLIDAS PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS.	22/OCT/93
NOM-046-ECOL-1993 NOM-046-SEMARNAT- 1993 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE BIÓXIDO DE AZUFRE, NEBLINAS DE TRIÓXIDO DE AZUFRE Y ÁCIDO SULFÚRICO, PROVENIENTES DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO DODECILBENCENSULFÓNICO EN FUENTES FIJAS.	22/OCT/93
NOM-075-ECOL-1995 NOM-075-SEMARNAT-	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE	26/DIC/95

1995 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGIA Y ACTIVIDADES EXTRACTIVAS	COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES PROVENIENTES DEL PROCESO DE LOS SEPARADORES AGUA-ACEITE DE LAS REFINERÍAS DE PETRÓLEO.	
NOM-085-ECOL-1994 NOM-085-SEMARNAT- 1994 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGIA Y ACTIVIDADES EXTRACTIVAS	FUENTES FIJAS QUE UTILIZAN COMBUSTIBLES FÓSILES SÓLIDOS, LÍQUIDOS O GASEOSOS O CUALQUIERA DE SUS COMBINACIONES. NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE HUMOS, PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES, BIÓXIDO DE AZUFRE Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO. REQUISITOS Y CONDICIONES PARA LA OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CALENTAMIENTO INDIRECTO POR COMBUSTIÓN, ASÍ COMO NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE BIÓXIDO DE AZUFRE EN LOS EQUIPOS DE CALENTAMIENTO DIRECTO POR COMBUSTIÓN. (MODIFICACIÓN D.O.F. 11-NOVIEMBRE -1997).	02/DIC/94
NOM-086-SEMARNAT- SENER-SCFI-2005 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGIA Y ACTIVIDADES EXTRACTIVAS	NORMA OFICIAL MEXICANA NOM- 086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, ESPECIFICACIONES DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL. El texto contempla los dos Acuerdos publicados	30/ENE/06
NOM-092-ECOL-1995 NOM-092-SEMARNAT- 1995 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGIA Y ACTIVIDADES EXTRACTIVAS	REQUISITOS, ESPECIFICACIONES Y PARÁMETROS PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE VAPORES DE GASOLINA EN ESTACIONES DE SERVICIO Y DE AUTOCONSUMO UBICADAS EN EL VALLE DE MÉXICO.	06/SEP/95
NOM-093-ECOL-1995 NOM-093-SEMARNAT- 1995 Área responsable del diseño de la norma:	MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LABORATORIO DE LOS SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE VAPORES DE GASOLINA EN ESTACIONES DE	06/SEP/95

DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGIA Y ACTIVIDADES EXTRACTIVAS	SERVICIO Y DE AUTOCONSUMO. Y ANEXO 1	
NOM-097-ECOL-1995 NOM-097-SEMARNAT-1995 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE MATERIAL PARTICULADO Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO EN LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN DE VIDRIO EN EL PAÍS. (1a. ACLARACIÓN D.O.F. 01-JULIO-1996. Y 2a. ACLARACIÓN D.O.F. 16-OCTUBRE-1996).	01/FEB/96
NOM-105-ECOL-1996 NOM-105-SEMARNAT-1996 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA DE PARTÍCULAS SÓLIDAS TOTALES Y COMPUESTOS DE AZUFRE REDUCIDO TOTAL PROVENIENTES DE LOS PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE QUÍMICOS DE LAS PLANTAS DE FABRICACIÓN DE CELULOSA.	02/ABR/98
NOM-121-ECOL-1997 NOM-121-SEMARNAT-1997 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN A LA ATMÓSFERA DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVs) PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DE RECUBRIMIENTO DE CARROCERÍAS NUEVAS EN PLANTA DE AUTOMÓVILES, UNIDADES DE USO MÚLTIPLE, DE PASAJEROS Y UTILITARIOS; CARGA Y CAMIONES LIGEROS, ASÍ COMO EL MÉTODO PARA CALCULAR SUS EMISIONES. (ACLARACIÓN D.O.F. 09-SEPTIEMBRE-1998).	14/JUL/98
NOM-123-ECOL-1998 NOM-123-SEMARNAT-1998 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA	CONTENIDO MÁXIMO PERMISIBLE DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV's), EN LA FABRICACIÓN DE PINTURAS DE SECADO AL AIRE BASE DISOLVENTE PARA USO DOMÉSTICO Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LOS MISMOS EN PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS. (ACLARACIÓN D.O.F. 29-SEPTIEMBRE-1999).	14/JUN/99
NOM-137-SEMARNAT-	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA -	30/MAY/03

2003 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGIA Y ACTIVIDADES EXTRACTIVAS	PLANTAS DESULFURADORAS DE GAS Y CONDENSADOS AMARGOS – CONTROL DE EMISIONES DE COMPUESTOS DE AZUFRE.	
NOM-148-SEMARNAT- 2006 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA - RECUPERACIÓN DE AZUFRE PROVENIENTE DE LOS PROCESOS DE REFINACIÓN DE PETRÓLEO	28/NOV/07
EMISIONES DE FUENTES MÓVILES		D.O.F.
NOM-041-SEMARNAT- 2006 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO AMBIENTAL, URBANO Y TURÍSTICO	QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN GASOLINA COMO COMBUSTIBLE.	06/MAR/07
PUBLICACIÓN RECIENTE NOM-042-SEMARNAT- 2003 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA	QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES O NO METANO, MONÓXIDO DE CARBONO, ÓXIDOS DE NITRÓGENO Y PARTÍCULAS PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES NUEVOS CUYO PESO BRUTO VEHICULAR NO EXCEDA LOS 3,857 KILOGRAMOS, QUE USAN GASOLINA, GAS LICUADO DE PETRÓLEO, GAS NATURAL Y DIESEL, ASÍ COMO DE LAS EMISIONES DE HIDROCARBUROS EVAPORATIVOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DE DICHOS VEHÍCULOS.	07/SEP/05
PUBLICACIÓN RECIENTE NOM-044-SEMARNAT- 2006 Área responsable del diseño de la norma:	QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES, HIDROCARBUROS NO METANO, MONÓXIDO DE CARBONO, ÓXIDOS DE NITRÓGENO, PARTÍCULAS Y	12/OCT/06

DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA	OPACIDAD DE HUMO PROVENIENTES DEL ESCAPE DE MOTORES NUEVOS QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE Y QUE SE UTILIZARÁN PARA LA PROPULSIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES NUEVOS CON PESO BRUTO VEHICULAR MAYOR DE 3,857 KILOGRAMOS, ASÍ COMO PARA UNIDADES NUEVAS CON PESO BRUTO VEHICULAR MAYOR A 3,857 KILOGRAMOS EQUIPADAS CON ESTE TIPO DE MOTORES.	
NOM-045-SEMARNAT-2006 NOM-045-SEMARNAT-2006 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO AMBIENTAL, URBANO Y TURÍSTICO	Norma Oficial Mexicana NOM-045-SEMARNAT-2006, Protección ambiental.- Vehículos en circulación que usan diesel como combustible.- Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición	13/SEP/2007
NOM-047-ECOL-1999 NOM-047-SEMARNAT-1999 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO AMBIENTAL, URBANO Y TURÍSTICO	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO Y EL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS LÍMITES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES, PROVENIENTES DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN GASOLINA, GAS LICUADO DE PETRÓLEO, GAS NATURAL U OTROS COMBUSTIBLES ALTERNOS.	10/MAY/00
NOM-048-ECOL-1993 NOM-048-SEMARNAT-1993 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO AMBIENTAL, URBANO Y TURÍSTICO	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE HIDROCARBUROS, MONÓXIDO DE CARBONO Y HUMO, PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LAS MOTOCICLETAS EN CIRCULACIÓN QUE UTILIZAN GASOLINA O MEZCLA DE GASOLINA-ACEITE COMO COMBUSTIBLE.	22/OCT/93
NOM-049-ECOL-1993 NOM-049-SEMARNAT-1993 Área responsable del diseño de la norma:	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO Y EL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN, PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES, PROVENIENTES	22/OCT/93

DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO AMBIENTAL, URBANO Y TURÍSTICO	DE LAS MOTOCICLETAS EN CIRCULACIÓN QUE USAN GASOLINA O MEZCLA DE GASOLINA-ACEITE COMO COMBUSTIBLE.	
NOM-050-ECOL-1993 NOM-050-SEMARNAT-1993 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO AMBIENTAL, URBANO Y TURÍSTICO	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN GAS LICUADO DE PETRÓLEO, GAS NATURAL U OTROS COMBUSTIBLES ALTERNOS COMO COMBUSTIBLE.	22/OCT/93
NOM-076-ECOL-1995 NOM-076-SEMARNAT-1995 Área responsable del diseño de la norma: DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE HIDROCARBUROS NO QUEMADOS, MONÓXIDO DE CARBONO Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO PROVENIENTES DEL ESCAPE, ASÍ COMO DE HIDROCARBUROS EVAPORATIVOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE, QUE USAN GASOLINA, GAS LICUADO DE PETRÓLEO, GAS NATURAL Y OTROS COMBUSTIBLES ALTERNOS Y QUE SE UTILIZARÁN PARA LA PROPULSIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES CON PESO BRUTO VEHICULAR MAYOR DE 3,857 KILOGRAMOS NUEVOS EN PLANTA. (ACUERDO D.O.F. 29-DICIEMBRE-2003).	26/DIC/95

III.- CONCLUSIONES

El contaminante estimado de mayor abundancia en peso que fue emitido a la atmósfera en la ZMVM fue el monóxido de carbono (CO), con 1.5 millones de toneladas, las cuales fueron generadas básicamente por las fuentes móviles, además éstas fuentes generan el 82% de los óxidos de nitrógeno (NOx).

De las fuentes móviles, la categoría de los autos particulares es la que genera más contaminantes, emite el 41% de CO, el 32% de NOx y el 25% de SO₂. Los vehículos a diesel son otra categoría importante a considerar, debido a las altas emisiones de PM_{2.5} que generan.

Aún cuando las fuentes móviles tienen una importante contribución de compuestos orgánicos volátiles (31% de COV), las fuentes de área son las más emisoras, contribuyendo con el 41% del total; en las fuentes de área, las categorías más contaminantes que se pueden mencionar son: el uso comercial y doméstico de solventes, las fugas en instalaciones domésticas y la combustión incompleta de gas L.P.

Por lo que se refiere a las emisiones de partículas, las PM₁₀, el 47% proviene de las vialidades no pavimentadas y de éstas, el 23% son partículas menores a 2.5 μ m (PM_{2.5}). Es importante mencionar que debido al crecimiento en la extensión, población e infraestructura en la zona conurbada a la Ciudad de México, las fuentes contaminantes de jurisdicción del Gobierno del Estado de México, aportan a la ZMVM el 66% de las emisiones de partículas PM₁₀, generadas principalmente por el tránsito vehicular sobre vialidades sin pavimentar. Asimismo, es notable la emisión de COT generada por el relleno sanitario ubicado en el Estado de México.

IV.- LITERATURA CITADA

AICM 2008. Estadísticas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México Año 2008 [en línea]. D. F., México.

<http://www.aicm.com.mx/acercadelaicm/archivos/files/Estadisticas/Diciembre08.pdf>. (Consultado el 23 de marzo de 2009).

Baker, K. 2001. Evaluation of PAR Estimation Methods. Lake Michigan Air Directors Consortium, DRAFT – 6/15/01. Illinois, USA.

CARB 1997. Improved Activity Levels for National Emission Inventories of Fugitive Dust from Paved and Unpaved Road. Entrained Paved Road Dust [en línea]. California, USA. <http://www.arb.ca.gov/emisinv/areasrc/onehtm/one7-9.htm>. (Consultado en el 2009).

CONAPO 2008 [base de datos]. Proyección de los hogares y viviendas 2005-2050. México. <http://www.conapo.gob.mx/00cifras/hogares/hogares.xls>. (Consultado en octubre de 2008)

CONAPO 2006. Situación demográfica de México 2006. México. http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/sdm2006/sdm06_01.pdf. (Consultado en noviembre de 2007).

COMETRAVI 1997. Estudio No. 5 Definición de Políticas de Modernización, Inspección Sustitución, Eliminación Definitiva, Adaptación de Vehículos y Combustibles Alternos. D.F., México

DGSU-GDF (s.f). Clausura del relleno sanitario Prados de la Montaña: primera experiencia mexicana apegada a una rigurosa normatividad [en línea], Dirección General de Servicios Urbanos del Gobierno del Distrito

Federal. D.F. México.
www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexico/03529e14.pdf.
(Consultado en Febrero de 2009).

ETEISA 2003. Sistema de Información de Condiciones de Tránsito para la Estimación de Emisiones Contaminantes por Fuentes Móviles en la Zona Metropolitana del Valle de México. México

FERROVALLE, S. A de C. V. 2008. Consumo mensual de combustible utilizado por flota tractiva, Ferrocarril y Terminal del Valle de México. Información mediante oficio DOAMG- 149/08. Recibido en enero de 2009.

Gobierno del Estado de México 2007. Padrón Estatal de Transporte Público. Edo. de Méx., México.
<http://www.edomexico.gob.mx/portalgem/transporte>.
(Consultado en junio de 2007).

GODF 2003. Decreto por el que se aprueba el Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal [en línea]. D.F., México.
http://www.consejeria.df.gob.mx/gaceta/pdf/diciembre03_31_103_bis.pdf. (Consultado en 2006).

GODF 2005. Declaratoria de la Zona Metropolitana del Valle de México publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal [en línea], D.F., México.
<http://www.asambleadf.gob.mx/cm/14/ac004.pdf>.
(Consultado en 2006).

- GODF 2002. Acuerdo por el que se ordena la Publicación del Programa Integral de Transporte y Vialidad 2001-2006, publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal [en línea]. D.F., México.
http://www.setravi.df.gob.mx/programas/pitv_2003.pdf.
(Consultado en 2004).
- GODF 2008. Listado de Establecimientos que no Requieren Tramitar la Licencia Ambiental Única (LAUDF), publicado en la Gaceta Oficial del Distrito federal [en línea]. México, D.F.
http://www.df.gob.mx/wb/gdf/gaceta_oficial. (Consultado en 2008).
- GDF, INEGI y GEM 2007. Encuesta origen destino 2007. D.F., México.
- IMP 1998. Investigación sobre material particulado y deterioro atmosférico- Inventario de amoniaco para la ZMCM (p. 24). Subdirección de Protección Ambiental, Gerencia de Ciencias del Ambiente. D.F., México.
- INEGI 2008 [base de datos]. D. F., México. Plantas de Tratamiento en uso, capacidad instalada y volumen tratado de aguas residuales por delegación o municipio según tipo de servicio en Cuaderno Estadístico de la Zona Metropolitana del Valle de México, (Cap. 2).
http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/soc/int/nav/cem/08/df/m001/c09001_02.xls. (Consultado en Febrero de 2009).
- INEGI 2007. [Base de Datos]. D. F., México. Sistema Municipal de Base de Datos del Distrito Federal: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx>. (Consultado en mayo 2009)
- INEGI 1997. Clasificación Mexicana de Actividades y Productos, Censos Económicos 1994 (3ª reimpresión), D.F., México.

Metrobús 2009. Funciones del sistema de transporte Metrobús [en línea]. D.F., México. <http://www.metrobus.df.gob.mx/index%2011.htm>.(Consultado en agosto de 2009).

Metrobús 2009. Informe de actividades enero-noviembre 2008. Distrito Federal, México: Consejo Directivo de Metrobús.

Metrópoli 2025. 200). Imagen ZMVM [en línea].<http://www.metropoli.org.mx>, agosto, 2009. (Consultado en agosto de 2009).

Orea, C. M. (1999). Caracterización Ambiental de las Áreas de Emisión Edafológica de PM10 en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (pp. 129). Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, México

ST-EM (2007) [Base de Datos]. Estado de México, México. Padrón Estatal de Transporte Público del Estado de México: Secretaría de Transportes del Estado de México.

PEMEX (1997). Efecto de los componentes del Gas Licuado de Petróleo en la Acumulación de Ozono, D.F, México: Petróleos Mexicanos.

PEMEX Refinación (2008). Ventas de Gasolina y Diesel 2007 y 2008. Información mediante oficio PXR-SC-GCC-1302-2008, Recibido en Enero de 2009.

Ruíz, S. L., et al. 1994. Cálculos y mediciones de hidrocarburos naturales en el valle de México. Reporte Técnico para CONSERVA DF y Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. D.F., México.

SEDECO-DF 2009. Indicadores de actividad industrial del D.F., Secretaría de Desarrollo Económico del Distrito Federal. D. F., México. <http://www.sedeco.df.gob.mx/programas/prioritarios/parques/indicadores.html>. (Consultado en 2009).

SENER 2008. Prospectiva del Mercado de Gas LP [en línea]. Consultado en septiembre de 2008, del sitio web SENER, subsecretaría de planeación energética y Desarrollo tecnológico. http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva%20Gas%20LP%20%202008-2017.pdf. (Consultado en 2008).

SEMARNAT 2000. Inventario Nacional Forestal 2000. Cartografía digital, escala 1:250,000

SETRAVI 2006. Red de Transporte de Pasajeros: En vialidad y transporte, la mayor inversión del GDF. Comunicado del 17 de abril de 2006 [en línea]. D.F., México. http://www.setravi.df.gob.mx/noticias/detalleNoticias.html?id_noticia=584. (Consultado en agosto de 2009).

SIEM 2008. Estadística de las empresas por municipio, tipo y tamaño 2008 [en línea]. D.F., México: <http://www.siem.gob.mx/siem2008/estadisticas/muntamano.asp?qedo=15&tam=0&p=1>. (Consultado en Julio de 2009).

SINAIS 2007 [base de datos]. Información de las instituciones públicas del sector salud, Sistema Nacional de Instituciones de Salud, D. F., México. http://sinais.salud.gob.mx/descargas/xls/rfm_sec_003.xls. (Consultado en diciembre de 2008).

SMA-GDF 2009. Calidad del Aire en la Ciudad de México. Informe 2008, Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. D.F., México. <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informe2008/>. (Consultado en febrero de 2010).

SMA-GDF 2008 [Base de datos]. Bases de datos de temperatura precipitación, humedad y altura de capa de mezcla para el año 2008. Subdirección de Meteorología. D.F., México.

SMA-GDF 2008 [Base de datos]. Base de datos DATGEN para fuentes puntuales, elaborada con información del sector industrial enviada a la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire mediante el Anexo "A" de la Licencia Ambiental Única del Distrito Federal.

SMA-GDF 2006. Inventario de Residuos sólidos del Distrito Federal [en línea]. D. F. México. http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/inventario_residuos_solidos.pdf. (Consultado en Febrero de 2009).

SMA-DGF 2004. Inventario de las áreas verdes urbanas del Distrito Federal [en línea]. D.F. México. http://www.sma.df.gob.mx/avu/index.php?op=contexto_5a. (Consultado en 2009).

SCT 2007. Corridas de Origen y Paso de las Terminales Centrales de Pasajeros. Respuesta a la solicitud de información con el número de registro TCE 18452. Recibido el 7 de enero de 2009.

STC-Metro 2009. Cifras de operación del Sistema de Transporte Colectivo de la Ciudad de México [en línea]. D.F., México. <http://www.metro.df.gob.mx/sabias/linea12.html#3>.

(Consultado en agosto de 2009).

TÜV Rheinland de México S.A. de C.V. 2000. Programa para la Reducción y Eliminación de Fugas de GLP en las Instalaciones Domésticas de la ZMVM, Reporte Final. D.F, México.

UNAM-CAM, 2006. Estudio Integral Metropolitano de Transporte de Carga y Medio Ambiente para el Valle de México (EIMTCA-MAVM). Proyecto de realización del estudio matriz origen-destino para el transporte de carga. Informe Final. Instituto de Ingeniería- UNAM, D.F., México

U. S. EPA 2008. 1.4 Natural Gas Combustion (Small boilers uncontrolled, Residential furnaces uncontrolled), 1.5 Liquefied Petroleum Gas Combustion, 1.3 Fuel Oil Combustion: En Compilation for Air Pollutant Emission Factors in AP-42 fifth edition V.I. Stationary Point and Area Sources, [CD ROM] USA: EPA.

