



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

MUESTREO Y ANÁLISIS DE LA MATERIA ORGÁNICA
ADSORBIDA A LAS AEROPARTÍCULAS PST Y $PM_{2.5}$ DE LA
ZONA NORESTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO
(ENEP - ARAGÓN).

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A N :
EDUARDO DIAZ MARTINEZ
Y
NUBIA GARCIA HERNANDEZ.

MÉXICO, D. F.

2004

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

LIBRERIA
DE ORO

Jurado Asignado

Presidente:	Profesora	Adela Castillejos Salazar.
Vocal:	Profesor	Rodolfo Torres Barrera.
Secretario:	Profesor	Elías Granados Hernández
1^{er} Suplente:	Profesor	Victor Manuel Luna Pabello.
2^o Suplente:	Profesor	Marcos Flores Alamo

Lugar donde se desarrollo del tema:

**Centro Tecnológico Aragón, ENEP Aragón y
Centro de Ciencias de la Atmósfera, Ciudad Universitaria.**

Asesor:

Francisco A. Elías

M. en C. Elías Granados Hernández

Sustentantes:



Eduardo Díaz Martínez



Nubia García Hernández

DEDICATORIAS

Eduardo:

Este trabajo está dedicado a Mi familia

A mis Padres Eduardo y Guadalupe:

Porque sin ellos no hubiera llegado hasta donde estoy, y que siempre han estado conmigo en todo momento con su apoyo y su cariño, sacrificando su vida y apoyándome cuando mas lo he necesitado, siempre estaré agradecidos con ustedes y nunca los defraudaré.

A mis hermanos Carlos y Misaela:

Porque me han enseñado muchas cosas valiosas y me han dado su apoyo y sobre todo su cariño y su apoyo para seguir adelante, siempre estaré agradecido con la vida de poder ser su hermano y tenerlos a mi lado.

A mis familiares:

Quienes han estado conmigo compartiendo mis alegrías y tristezas y me han dado su cariño con mucha devoción y alentándome a seguir adelante.

A mis amigos:

Quienes han vivido muchas experiencias agradables conmigo y me han dado su amistad y apoyo.

Y a ti Nubia, muchas gracias por darme tu amor y apoyarme para salir adelante.

Nubia:

Este trabajo está dedicado a mis familiares:

A mis Padres:

Por su gran apoyo, cariño incondicional y los valiosos consejos que me dieron y que me impulsaron a lograr realizar mi profesión.

A mis Abuelos Ignacio e Isabel:

Quienes por su amor, comprensión y apoyo me motivaron a seguir adelante en mis estudios y ser una mejor persona. Siempre los llevare en mi corazón.

A mis hermanos Lucero, Miguel Angel y Brisa, así como a mi tía Laura:

Por su compañía, cariño y los momentos de alegría que hemos compartido juntos.

Y a ti Eduardo, por tu cariño, comprensión y apoyo que han sido para mí grandes incentivos para seguir adelante.

GRACIAS POR CREER EN NOSOTROS

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por darnos la oportunidad y la dicha de la vida y cuidar de nosotros y de la gente que amamos. Gracias.

A mi Universidad Nacional Autónoma de México:

Por darnos una carrera y permitirnos desarrollarnos como profesionista para alcanzar todas nuestras metas y sueños, gracias a la máxima casa de estudios de México.

A la Facultad de Química:

Donde adquirimos los conocimientos científicos y profesionales que nos permiten ser obtener el grado de Ingenieros Químicos.

A nuestro asesor de tesis: Elías Granados Hernández:

Por apoyarnos en el desarrollo de la tesis y ofrecernos su amistad como amigo, gracias.

A nuestros sinodales: Adela Castillejos Salazar y Rodolfo Torres Barrera:

Por apoyarnos en la revisión de la tesis, realizando las correcciones necesarias y ofrecer su tiempo.

Al Centro Tecnológico Aragón:

Donde se desarrolló la tesis y quienes proporcionaron los insumos e instalaciones para llevar a cabo la parte experimental del proyecto.

Al Centro de Ciencias de la Atmósfera:

Donde se realizó la parte experimental de este proyecto, principalmente a Q. Omar Amador Muñoz quien nos asesoró y apoyó en la realización de esta tesis.

GRACIAS A TODOS

INDICE

OBJETIVOS	-----	1
RESUMEN	-----	2
HIPOTESIS	-----	4
JUSTIFICACION	-----	5
INTRODUCCION	-----	7
 CAPITULO 1: CONTAMINACION ATMOSFERICA		
1.1	Conceptos generales.	----- 10
1.2	Reactividad química de los contaminantes.	----- 12
1.3	Factores metereológicos y topográficos.	----- 16
 CAPITULO 2: LAS AEREOPARTÍCULAS		
2.1	Clasificación de las aereopartículas.	----- 21
2.2	Origen de las aereopartículas.	----- 25
2.3	Composición de las aereopartículas.	----- 30
2.4	Propiedades de las aereopartículas.	----- 33
2.5	Efectos de las aereopartículas.	----- 36
 CAPITULO 3: LOS HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICÍCLICOS (HAP's)		
3.1	Definición y propiedades.	----- 41
3.2	Origen de los HAP's.	----- 44
3.3	Efectos de los HAP's.	----- 47

CAPITULO 4: MONITOREO ATMOSFERICO DE AEREOPARTICULAS

4.1	Monitoreo atmosférico.	-----	50
4.2	Monitoreo de aereopartículas.	-----	52
4.3	Normatividad.	-----	58
4.4	Monitoreo atmosférico de aereopartículas y HAP's.	-----	60
 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL			 ----- 63
PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO			----- 74
RESULTADOS			----- 79
ANALISIS DE RESULTADOS			----- 110
CONCLUSIONES			----- 121
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS			----- 124
 APENDICES			
	Apéndice A	-----	131
	Apéndice B	-----	147
	Apéndice C	-----	163
 GLOSARIO			 ----- 174

TEMA

Muestreo y Análisis de Materia Orgánica adsorbida a las aereopartículas PST y $PM_{2.5}$ de la zona noreste de la Ciudad de México (ENEP- Aragón).

Objetivo general:

- Determinación de la concentración de aereopartículas PST y $PM_{2.5}$, extracción y cuantificación de materia orgánica total y análisis de HAP presente para la zona Noreste de la Ciudad de México.

Objetivos particulares:

- Muestrear y cuantificar la concentración de Partículas Suspensas Totales (PST) usando un equipo de muestreo de alto volumen (HI-VOL).
- Muestrear y cuantificar la concentración de Partículas Suspensas menores a $2.5\mu m$ ($PM_{2.5}$), usando un equipo de monitoreo Integrado para Compuestos Volátiles Orgánicos en fase Partícula – Gas por separador tipo ciclón (IOPVS).
- Determinar la concentración de la materia orgánica extraída (MOE) de las aereopartículas PST y $PM_{2.5}$ por gravimetría y secado por arrastre de vapor.
- Identificar y cuantificar los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) adsorbidos en las aereopartículas PST y $PM_{2.5}$ utilizando la técnica de cromatografía de Gases – Espectroscopia de Masas (GS-MS).
- Analizar y proponer los posibles puntos de emisión principales de las aereopartículas a través de los resultados experimentales junto con un análisis topográfico y urbano de la zona de monitoreo (Zona Aragón).
- Proponer algunas soluciones a la problemática de contaminación por aereopartículas.

RESUMEN

Se monitorearon “Partículas Suspensas Totales” (PST) y partículas menores a 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$), con la finalidad de conocer su concentración, así como el contenido de materia orgánica extraíble (MOE) adsorbida y la detección y cuantificación de “Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos” (HAP’s). El monitoreo tuvo una duración de 1 año y se realizó en el Centro Tecnológico Aragón de la ENEP Aragón, utilizando los equipos de muestreo de alto volumen (HI –VOL) para PST y el Muestreador Integrado para Compuestos Volátiles Orgánicos en fase Partícula – Gas por separador de tipo ciclón para $\text{PM}_{2.5}$ (conocido como IOPVS), estos fueron realizados por periodos de 24 horas cada 3 días, la colecta de material se llevó a cabo en filtros de fibra de vidrio y de Ze-Fúor respectivamente. Posterior al monitoreo los filtros estabilizados eran pesados y se tomaba la lectura de volumen de aire muestreado, obteniendo con ello la concentración de aereopartículas. Los filtros fueron sometidos al proceso de extracción del material orgánico presente en las aereopartículas empleando diclorometano como disolvente. A los extractos orgánicos se les determinó la “Materia Orgánica Extraída” (MOE) por método gravimétrico utilizando un sistema de secado por arrastre de vapor usando Nitrógeno como gas de arrastre. También se realizó la detección y cuantificación de HAP’s a través de la técnica de “Cromatografía de Gases – Espectroscopia de Masas” (GS-MS).

Con los resultados obtenidos se estableció el comportamiento de acuerdo a la temporada del año (secas o lluvias), donde se observó una mayor concentración de ambos tipos de

aereopartículas en la época de secas (Enero a Marzo y Octubre a Diciembre). Se realizó un estudio sobre el efecto de las variables meteorológicas: Temperatura, Humedad, Dirección y Velocidad del viento sobre la concentración; en el caso de PST la Humedad Relativa influyó de manera considerable sobre la concentración de modo inverso (con $r = -0.66$), mientras que en el caso de $PM_{2.5}$ su concentración no presentó una gran dependencia con respecto a las variables meteorológicas. Los resultados de concentración de MOE mostraron una predominancia en $PM_{2.5}$, mientras que el porcentaje de material orgánico con respecto a la concentración total de PST tuvo un promedio del 5% anual, mientras que el porcentaje encontrado en $PM_{2.5}$ osciló entre 30 y 80%. La correlación entre MOE y concentración de aereopartículas fue para PST de 0.60 y en $PM_{2.5}$ de 0.59 y se llevó a cabo el análisis de 27 HAP's de los cuales se detectaron 25 en PST y 24 en $PM_{2.5}$. El Coroneno, y el Benzo(ghi)perileno, fueron los HAP's que predominaron en PST, y para $PM_{2.5}$ el Fluoranteno, Pireno, Coroneno, y el Benzo(ghi)perileno. El Fluoranteno fue el HAP de mayor concentración con un porcentaje de 1.51% con respecto al total de MOE en $PM_{2.5}$. La concentración total de HAP's representaron un 2.7% del total de la MOE en PST mientras que para $PM_{2.5}$ fue 8.04%. El comportamiento para las aereopartículas PST presenta un aumento de concentración conforme aumenta el peso molecular del HAP, en el caso de $PM_{2.5}$ se observa un aumento para especies de peso molecular medio.

Utilizando los datos mensuales de dirección de viento se pudo realizar el análisis topográfico y urbano de la zona de monitorco (Zona Aragón), confirmando así que entre los puntos de emisión de aereopartículas principales de esta zona se encuentran los vehículos automotores y de carga (gasolina y diesel), así como las emisiones de la zona del Aeropuerto Internacional. Uno de los puntos de emisión importantes es el Basurero de Bordo Xochiaca el cual cuando se presenta un incendio provoca que los niveles de contaminantes se eleven de manera considerable. Se propone como mayor punto de emisión de PST la resuspensión de material (erosión eólica) y la emisión de vehículos y en el caso de $PM_{2.5}$ la emisión de automóviles y camiones de carga en primer lugar y en segundo lugar la emisión producida dentro del Aeropuerto y la quema de basura ó sucesos de incendios en el bordo Xochiaca. Una vez considerando los mayores puntos de emisión se propone algunas soluciones de la problemática de contaminación atmosférica.

HIPOTESIS

El monitoreo de aereopartículas en diferentes estaciones de colecta ha demostrado que existe una dependencia en la concentración del material particulado con respecto a las condiciones metereológicas de la zona, así como el tipo y grado de la fuente de emisión. El análisis químico de material particulado en diferentes estaciones de monitoreo a indicado que algunos de sus componentes están asociados con daños específicos a la salud, principalmente algunos compuestos orgánicos adsorbidos como los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's). Estos contaminantes orgánicos provienen principalmente de la combustión del carbón y otros combustibles fósiles usados por vehículos automotores, plantas generadoras de energía e industria, así como incendios forestales y de basureros, donde en estos últimos se ha encontrado que se generan concentraciones elevadas del material particulado y de las especies orgánicas adsorbidas.

JUSTIFICACIÓN.

En la zona norte de la Ciudad de México se concentra la mayor parte del asentamiento poblacional, lo cual ocasiona que gran cantidad de contaminantes se generen dentro de los lugares de mayor actividad urbana, industrial y de servicios, y estos sean dispersados a toda la zona atmosférica del DF. Dentro de la zona Noreste del D. F., en específico dentro de la zona de Aragón, se encuentra dos fuentes importantes de emisión de contaminantes: El basurero de “Bordo Xochiaca” y el “Aeropuerto Internacional de de Ciudad de México”; ambos ocasionan un serio problema atmosférico de emisión de contaminantes, y de elevadas concentraciones de sustancias cancerígenas, entre ellas se encuentran las Aereopartículas y los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP).

A través de las investigaciones realizadas sobre los efectos de los HAP por la “Agencia de Protección al Ambiente” de Estados Unidos (USEPA), en México por instituciones como la UNAM, UAM, entre otras mas, se ha encontrado que existe una alta probabilidad de que dichos compuestos sean precursores de problemas de mutagénesis y con ello derivar en la creación de células cancerígenas dañinas (Villalobos-Pietrini et. al, 1993).

Las aereopartículas PST provocan bloqueo de bronquios y sistemas de vías aéreas superiores, provoca además daños en la salud por materia orgánica absorbida, aunque en

menor medida debido a que gran parte de las partículas son retenidas en las mucosas del sistema respiratorio, sin embargo este tipo de contaminante contiene metales pesados como Cromo, Plomo, entre otros, los cuales son elementos de alto potencial dañino (Manahan, 1999). Las aereopartículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ son capaces de bloquear los mecanismos de defensa del sistema respiratorio, su acumulación dentro de los pulmones origina enfermedades como la silicosis, asbestosis, incluso pueden originar cáncer pulmonar y enfermedades cardiovasculares. No solo las aereopartículas pueden penetrar en el organismo por vía respiratoria, sino también por ingestión o atacar por vía cutánea, provocando enfermedades de la piel y del sistema digestivo (Holgate y Samet, 1999).

Los efectos que provocan las aereopartículas en el ambiente son deterioro en materiales de construcción y otras superficies. En las plantas provocan interferencia en la fotosíntesis debido al efecto de refracción de luz solar, ocasionando también con ello la disminución de visibilidad y provocando la formación de nubes debido a que pueden ser puntos de nucleación (Manahan, 1999).

Se ha encontrado que existe una influencia de las condiciones meteorológicas, geográficas y urbanas en las concentraciones de aereopartículas, ya sea para la dispersión ó retención de contaminantes, por lo cual ningún análisis de contaminantes atmosféricos puede excluir este punto.

El papel del Ingeniero Químico en el ámbito ambiental es sumamente importante ya que sus conocimientos acerca de los procesos físicos y químicos pueden ser aplicados en la comprensión de la problemática y su solución. Al estar involucrado directamente en la parte química y de procesos e interaccionar con otros campos como son Ingeniería Civil, Mecánico, Ambiental, entre otros, puede dar la solución de los problemas ambientales y proponer las medidas de prevención y control de los contaminantes que pueden ser desfavorables al entorno ecológico y a la salud humana, por ello es que el Ingeniero Químico debe estar comprometido con la sociedad en la búsqueda de la mejora ambiental.

INTRODUCCIÓN

En la Ciudad de México como en otras ciudades del mundo, la causa del mayor incremento de la contaminación atmosférica se debe a las fuentes de emisión móviles (automóviles, aviones, etc.) y las fuentes fijas (industrias, comercios, etc.). Las cuales emiten gran cantidad de contaminantes altamente tóxicos. Su concentración depende del grado de emisión, el tipo de fuente y de las condiciones meteorológicas de la zona como temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento, además de las condiciones topográficas de la zona, montañosa, árida, rural o urbana, etc. (Díaz, 1993).

Estudios realizados por el Premio Nóbel de Química (1996) Mario J. Molina, demostraron que contaminantes del aire como los Cloro-Fluoro-Carbonos (CFC's) son compuestos de origen antropogénico y que sus emisiones dañan en gran medida el grosor de la capa de ozono existente en la estratosfera terrestre, afectando a sí todo ser vivo (SSCN, 1998).

Uno de los contaminantes más dañinos en la salud humana son las aereopartículas, se definen como sólidos suspendidos en la atmósfera de forma coloidal (aerosol), su rango de tamaño va desde $0.002\mu\text{m}$ hasta 100μ . Para definir el tamaño de una aereopartícula se utiliza el concepto de diámetro aerodinámico, el cual es una relación entre la velocidad de

sedimentación con respecto a una partícula de referencia. Las aereopartículas se clasifican en 3 grupos principales: las PST (partículas suspendidas totales), PM_{10} (partículas menores a $10\ \mu\text{m}$) y las $PM_{2.5}$ (partículas menores a $2.5\ \mu\text{m}$) (USEPA, 1997). Las aereopartículas PST son principalmente de origen geológico (sulfatos, silicatos, metales, etc.), aunque contienen trazas de compuestos orgánicos y las PM_{10} y $PM_{2.5}$ son producidas generalmente por fuentes de combustión, principalmente fuentes móviles. En las aereopartículas suceden diversos fenómenos físicos y procesos fotoquímicos cuando se encuentran presentes en la atmósfera, generando otras de diferente tamaño y composición. (Holgate y Samet, 1999).

Los daños provocados por las aereopartículas son diversos, el principal es a la salud, provocando enfermedades respiratorias como bronquitis, asma, tos, etc., por el alto contenido de sustancias tóxicas adsorbidas a ellas, hidrocarburos, nitratos, sulfatos, metales, etc. Mientras el diámetro sea menor, el grado de penetración en el sistema respiratorio incrementa, un ejemplo son las aereopartículas $PM_{2.5}$ que debido a su tamaño pueden llegar a los alvéolos pulmonares provocando efectos nocivos directos de mayor gravedad (Allsopp *et. al.*, 2001)

Dentro de los compuestos orgánicos presentes en las aereopartículas se encuentran los HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) provenientes de la combustión incompleta de madera, gasolina, diesel, tabaco, basura, etc. Gran cantidad de estos compuestos provienen de reacciones que se llevan a cabo en la atmósfera. La tendencia de los hidrocarburos para formar HAP's por pirosíntesis es muy alta y son de los primeros en formarse. Al aumentar el peso molecular de los HAP's su presiones de vapor disminuye, por lo que se vuelve menos volátil, sin embargo, la gran mayoría por encontrarse adsorbidos principalmente a las aereopartículas de menor tamaño como las $PM_{2.5}$ y PM_{10} llevan a serios problemas de salud, como el cáncer en personas no fumadoras, hecho que se comprobó desde principios del siglo XX (Holgate y Samet, 1999).

Estos hidrocarburos también son altamente mutagénicos donde se ha encontrado que en un 70 a 90% de los HAP's han sido encontrados en partículas respirables $\leq 3.5\ \mu\text{m}$. Debido a la importancia de los efectos de las aereopartículas en la salud y el ambiente se crearon

metodos de monitoreo y equipos de muestreo ambiental para evaluar y conocer la distribución de los aerosoles atmosféricos y su composición a través de 2 dos etapas: Muestreo y Análisis de contaminantes.

En este trabajo se realizó el monitoreo de aereopartículas PST y $PM_{2.5}$ para conocer la concentración de los contaminantes, así como la concentración de Materia Orgánica Extraída (MOE) y detección y cuantificación de HAP's adsorbidos a las aereopartículas empleando dos métodos de monitoreo: para PST el método de referencia por muestreador HI-VOL (alto volumen) normado por la NOM-035-ECOL-1993 y para $PM_{2.5}$ el método equivalente utilizando el muestreador Integrado para Compuestos Volátiles Orgánicos en fase Partícula – Gas ("IOPVS") normado en el 40 CODE OF REGULATION- PART 50 APPENDIX L , 1997 emitido por la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (USEPA), quien es una de las organizaciones más importantes en materia ambiental.

En México sólo se encuentra normado el monitoreo de aereopartículas PST. Sin embargo se cuenta con un sistema de monitoreo automático conocido como Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) y la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA), creados desde 1986 los cuales tienen la finalidad de monitorear y evaluar la calidad del aire y mantener a la población informada, así como aplicar los planes de contingencia y control durante los episodios ambientales ó en casos de concentraciones elevadas de contaminantes.

CAPITULO 1

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

1.1. –Conceptos generales.

Un contaminante se define como un compuesto o sustancia, sus combinaciones o sus derivados químicos y biológicos que al incorporarse al medio ambiente altera o modifica sus características naturales (Bravo y Sosa, 1987).

La contaminación atmosférica se deriva de la alteración de los componentes de la atmósfera por efecto de los contaminantes (Díaz, 1993). Las fuentes de contaminación atmosférica se clasifican en dos tipos:

- Naturales: son fuentes que se encuentran en la naturaleza y siempre han existido, entre estos se encuentran erupciones volcánicas, incendios forestales, tolveneras, los océanos, entre otros.
- Antropogénicos: son fuentes de emisión originados por el hombre, estos a su vez tienen una clasificación en :
 - a) Fijos: estas involucran las industrias, plantas energéticas, comerciales y domésticas, entre otras más.

- b) Móviles: incluyen todas las fuentes emisoras en movimiento como vehículos, aviones, barcos, trenes, etc.

Los contaminantes a su vez se clasifican de acuerdo a su origen en: primarios que son aquellos emitidos directamente de la fuente y que se generan por medio natural o antropogénico (caso del bióxido de carbono (CO_2), Partículas suspendidas, óxidos de Nitrógeno (NO_x), bióxido de azufre (SO_2), entre otros) y secundarios que son contaminantes derivados de reacciones químicas y fotoquímicas y que se forman en la atmósfera (Ozono, sulfatos y nitratos, etc.). Estos contaminantes se pueden encontrar dentro de la atmósfera en estado gaseoso y en partículas, en los cuales se incluyen sólidos y líquidos (Quadri y Sánchez, 1992).

De acuerdo a la composición química de los contaminantes se agrupan en orgánicos e inorgánicos. Los primeros son definidos como aquellos que poseen en su estructura química carbono e hidrógeno, mientras que los inorgánicos son aquellos que incluyen compuestos simples de carbón y otros compuestos metálicos, óxidos, entre otros (Quadri, y Sánchez, 1992). En la tabla 1.1 se muestran algunos de los contaminantes atmosféricos más importantes de acuerdo a su fuente de origen.

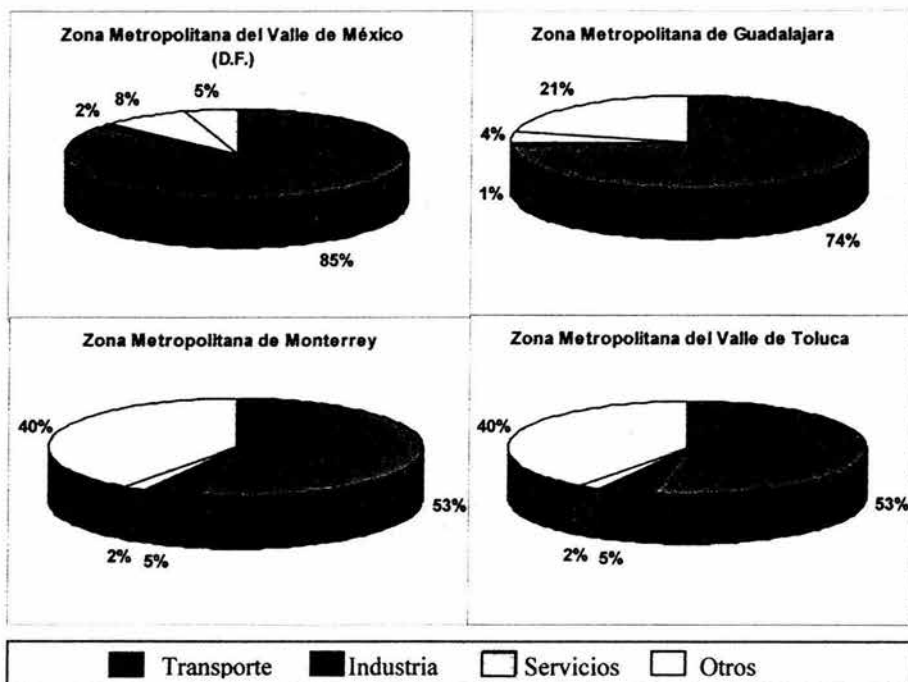
Tabla 1. 1 Principales contaminantes atmosféricos en zonas urbanas y sus orígenes.

Contaminantes primarios	Fuente de origen principal
Óxidos de Nitrógeno	Plantes generadoras de energía eléctrica. Combustión a alta temperatura de combustibles fósiles.
Óxidos de Azufre	Combustión de carbón y petróleo que contiene azufre, así como combustibles.
Óxidos de carbono	Uso de combustibles fósiles
Partículas suspendidas (PS)	Combustión de carbón, erosión eólica, uso de combustibles fósiles, etc.
Hidrocarburos (HC) y Compuestos orgánicos policíclicos	Uso de petróleo y derivados, gas natural y carbón
Metales pesados	Combustión de diesel, combustibles, industria siderurgia, etc.
Contaminantes secundarios	Fuente de origen principal
Sulfatos	Oxidación del SO_2
Ozono	Provocado por la interacción de HC y NO_x
Nitratos	Reacciones químicas en la atmósfera.

Fuente: Gutiérrez y Romieu, 1998.

En las ciudades la contribución de las fuentes antropogénicas es mayor en la concentración de los contaminantes (INE, 1997). En la figura siguiente se muestra en forma gráfica las fuentes antropogénicas de contaminantes principales en diversas zonas de la República Mexicana.

FIG. 1. A. Contaminación por diversas fuentes en zonas metropolitanas de México.



Fuente: INE – CENICA – JICA 1997.

1.2. Reactividad química de los contaminantes.

Dentro de la atmósfera existen gran cantidad de reacciones químicas y fotoquímicas ocasionadas por la diversidad de contaminantes y favorecido por las condiciones de temperatura, humedad, radiación solar y presión atmosférica. Las reacciones químicas presentadas son generalmente procesos de óxido – reducción y ácido – base, estos involucran compuestos de carbono, nitrógeno y azufre como los de mayor importancia. Los hidrocarburos (HC), el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de azufre (SO₂) dan lugar

a la formación de compuestos oxigenados tales como los aldehídos, dióxido de nitrógeno (NO_2) y el ácido sulfúrico (H_2SO_4), formando con ello contaminantes secundarios (Holgate y Samet, 1999).

El factor principal que produce la generación de radicales libres es la radiación solar, la cual influye en los procesos fotoquímicos en la atmósfera, esta produce disociación de moléculas estables y genera radicales libres que son muy reactivos y que reaccionan a su vez con otros compuestos produciendo derivados químicos secundarios perjudiciales. La respuesta de reactividad de los compuestos químicos de la atmósfera varía de acuerdo al tipo de compuesto, su estructura y peso molecular, así como de las condiciones atmosféricas presentadas (Gutiérrez y Romieu, 1998). Dentro de la tabla 1.2 se muestran los compuestos secundarios que se forman a partir de reacciones químicas de contaminantes primarios emitidos directamente de la fuente.

Tabla 1.2 Compuestos secundarios originados por reacciones químicas y fotoquímicas

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	Oxidos de nitrógeno (NO_x)
Ozono (O_3)	Formaldehído (HCHO)
Nitrato de peroxiacetilo (PAN)	Sulfhido de hidrógeno (H_2S)
Smog fotoquímico	Acido sulfúrico (H_2SO_4)
Material Particulado secundario	Derivados de Azufre

Fuente: Gutiérrez y Romieu (1998)

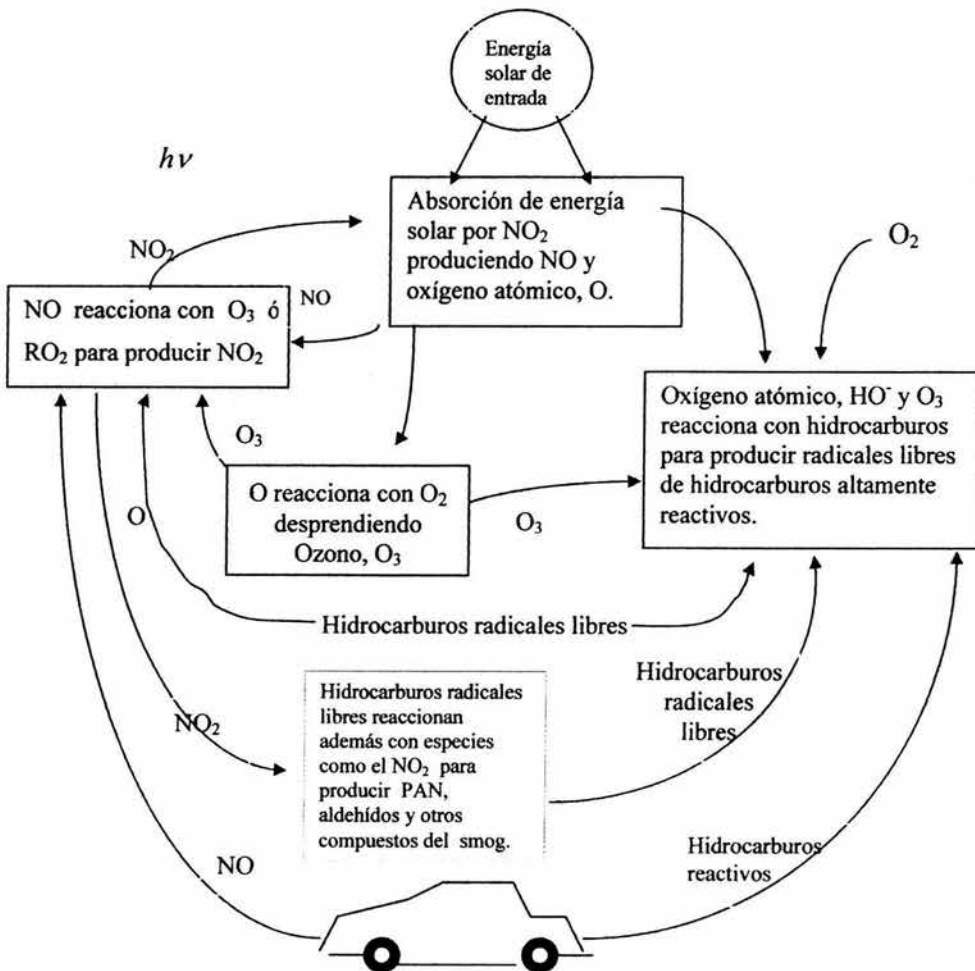
Uno de los contaminantes secundarios más importantes es el ozono (O_3), el cual se forma a través de una serie de reacciones químicas complejas de contaminantes primarios (principalmente de los NO_x , HC, y oxígeno molecular). Otro tipo de contaminante que es originado por reacción química es el Nitrato de peroxiacetilo (PAN) (Gutiérrez y Romieu, 1998).

Las condiciones meteorológicas favorables para estos procesos son el transporte y dispersión atmosférica limitada con una insolación abundante, combinación cuya eficacia es máxima hacia las primeras horas de la tarde. Esto demuestra que la luz solar esta formando ozono y oxidante a partir de las impurezas atmosféricas. A pesar de que este

compuesto es indispensable para la retención de radiación ultravioleta en concentraciones elevadas es dañino debido a su alta reactividad y capacidad de oxidación. (Manahan, 1999).

La secuencia de reacciones más importantes en el proceso de la formación del smog (véase la figura 1. B.) comienza con la formación de iones hidroxilo (OH^\cdot) de un átomo de hidrógeno produciendo un hidrocarburo y plomo (Pb), los cuales son precursores para la oxidación de NO a NO_2 .

Fig. 1. B. Mecanismo para la formación del smog a través de fuentes de emisión móviles



Fuente: Manahan, 1999.

Las máquinas de combustión interna usadas en automóviles y camiones producen hidrocarburos reactivos y óxidos nitrogenados, dos de los tres ingredientes clave requeridos para la formación del smog. A condiciones de temperatura y presión altas en una máquina de combustión interna, productos incompletamente quemados de la gasolina son sometidos a reacciones químicas que producen cientos de hidrocarburos diferentes, muchos de éstos son altamente reactivos y forman el smog fotoquímico (Manahan, 1999).

Entre los procesos fotoquímicos que se desarrollan en la atmósfera, se encuentra la “lluvia ácida” donde el agua de lluvia presenta un valor de pH inferior a 5.6 derivado de la formación de ácidos, este proceso tiene una importancia en lo que respecta a corrosión de materiales y daños ecológicos. Además de ello, existen sucesos conocidos como “Episodios Ambientales” los cuales son provocados por influencia del hombre ó de procesos naturales inesperados, entre estos se encuentran incendios forestales, erupciones volcánicas, quema de basureros, etc. Los incendios se caracterizan por presentar niveles elevados de contaminantes en la atmósfera los cuales afectan fuertemente sobre la salud humana y el medio ambiente (Gutiérrez y Romieu, 1998).

Una de las investigaciones importantes realizadas sobre los contaminantes atmosféricos fue hecha por Mario J. Molina (Premio Nobel de Química 1996) y Sherwood Rowland en los años 70's, quienes expusieron los resultados de un estudio acerca de los compuestos que provocan la disminución del tamaño de la capa de ozono, llegando a la conclusión de que productos sintéticos conocidos como “Cloro-Fluoro-Carbonos” (CFC) utilizados en la fabricación de aerosoles, equipos de refrigeración, etc., al ser emitidos a la atmósfera permanecen en esta por largos períodos de tiempo, siendo el suficiente para que logren llegar a la estratosfera donde al recibir la radiación ultravioleta se rompen sus enlaces químicos desprendiéndose moléculas de cloro, las cuales reaccionan con las moléculas de ozono formándose monóxido de cloro y oxígeno molecular, con ello rompiendo y disminuyendo la capa de ozono existente (IPS, 2002). El descubrimiento del efecto de los CFC ha llevado a la aplicación de medias para evitar el uso de estos contaminantes en los países productores para evitar la disminución de la capa de ozono y con ello los efectos sobre el planeta de sobrecalentamiento y radiaciones dañinas a la vida (SSCN, 1998).

1.3. –Factores meteorológicos y topográficos.

La distribución o concentración de todos los contaminantes generados de modo natural o antropogénicos está regido por las condiciones meteorológicas y topográficas de la zona de emisión. Las variables meteorológicas: temperatura, humedad atmosférica, velocidad y dirección del viento y precipitación pluvial son las más importantes dentro de los efectos de dispersión y efecto en la concentración de los contaminantes en la atmósfera, a su vez, las fuentes de emisión determinan el tipo y grado de contaminantes emitidos (Quadri y Sanchez, 1992).

El ciclo de estancia aérea de los contaminantes se inicia con su emisión seguida por un transporte y difusión de la atmósfera, en ella se llevan a cabo reacciones químicas y fotoquímicas entre las diferentes especies. El ciclo se completa cuando los contaminantes se depositan sobre la superficie por sedimentación, depuración por lluvia, reacciones químicas o se escapan al espacio (Quadri y Sanchez, 1992).

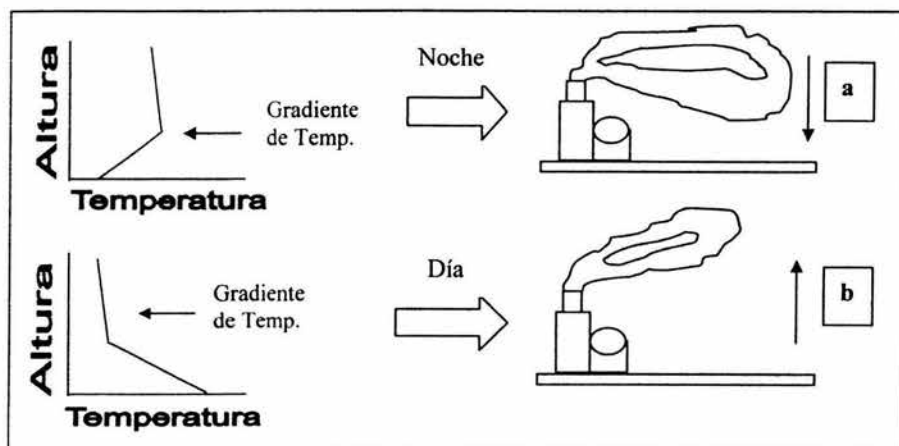
Las condiciones meteorológicas se encuentran asociadas sobre la concentración de los contaminantes del aire a través de dos efectos principales: **dispersión y difusión**. La primera se relaciona con el movimiento y transporte de los contaminantes horizontal y verticalmente por efecto del campo de vientos, mientras que la segunda se refiere a la dilución de los contaminantes debido al efecto de la turbulencia o estabilidad atmosférica (Holgate y Samet, 1999).

De acuerdo con Gutiérrez y Romieu (1998), el comportamiento de los contaminantes a lo largo del día varía debido al efecto de inversión de temperatura. En la noche el aire cercano al suelo se enfría más rápido que el aire a unos cientos de metros arriba, esto es lo que se conoce como “inversión de la temperatura”, la cual suprime la mezcla vertical de contaminantes y el resultado es un aumento de su concentración a nivel del suelo. Además esto produce una disminución de la velocidad del viento cercano al suelo junto con una aceleración compensadora en niveles superiores, provocando la disminución de la dispersión de contaminantes (véase la Figura 1.C. a). En el día la temperatura del suelo es

mayor y calienta el aire más rápidamente que el caso de la masa a niveles elevados de altura. lo cual favorece la dispersión vertical y la dispersión de contaminantes. (Véase la Figura 1. C. b).

La dispersión vertical se debe principalmente al efecto de estabilidad atmosférica, el cual enmarca los diferentes gradientes de temperatura referida a la tasa de cambio de temperatura entre una masa de aire generada a baja altura que se eleva de modo adiabático (sin intercambio de calor con los alrededores) corregido por la humedad ambiente (conocido como Lapso Adiabático Seco, "LAS"), que corresponde a una variación de 1°C por cada 100 metros de altura de elevación. Cuando la atmósfera se encuentra saturada en humedad (caso de lluvia o alta humedad), la velocidad de cambio corresponde a 0.6°C por cada 100 metros, en este caso se le conoce como Lapso Adiabático Húmedo, "LAH". (Mc Gregor, 1999).

FIG 1. C. Comportamiento de los contaminantes atmosféricos según el gradiente de temperatura de la capa atmosférica a lo largo del día



Fuente : Gutiérrez y Romieu, 1998.

Existen 3 tipos de estabilidad los cuales se explican a continuación:

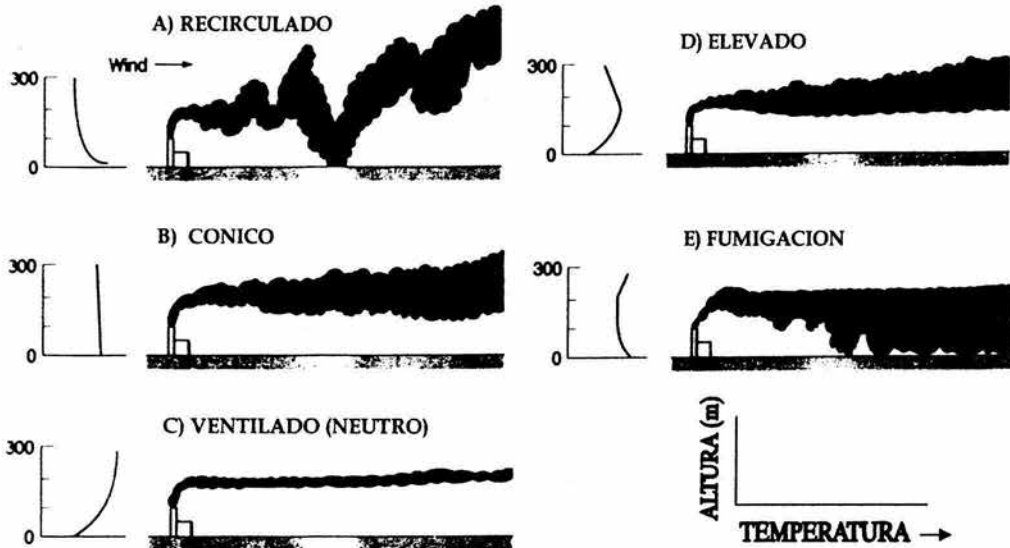
- a) Neutra: En este estado no se inhibe ni eleva la turbulencia de masas de aire, este lapso se caracteriza porque el gradiente de temperatura con respecto a la altura es igual que el LAS, por lo cual la atmósfera se encuentra en equilibrio. Dentro de estos efectos se encuentran la dispersión tipo ventilado (Figura 1. D. inciso c).

- b) Inestable: En este estado la masa de aire caliente generado a bajas alturas se enfría más rápidamente que el LAS, lo cual favorece la turbulencia y el movimiento vertical de contaminantes. Dentro de estos efectos se encuentran la dispersión tipo elevado (Fig. 1. D. inciso d).
- c) Estable: El proceso se le conoce como súper adiabático, este estado inhibe el movimiento de contaminantes debido a que no existe cambio de temperatura de la masa de aire con respecto a la altura (proceso isotérmico) o bien existe un aumento de temperatura, esto se le conoce como “Inversión térmica” que es el caso más severo de inhibición de dispersión de contaminantes. Dentro de estos efectos se encuentran la dispersión tipo recirculado, cónico y la fumigación (Fig. 1. D. inciso a, b y e.) (Quadri, y Sánchez, 1992).

La dispersión horizontal es originada por efecto del viento, el cual a su vez también influye en la dispersión vertical y la difusión de contaminantes por efecto de gradientes de presión (vistos a través de la velocidad del viento), a su vez la dirección predominante del gradiente de vientos determina la dirección de dispersión horizontal de contaminantes, esto debido a que a lo largo del día los gradientes de vientos tienen una variación importante (Bravo y Sosa, 1987). Dentro de la figura 1. E. se muestran los efectos de la atmósfera sobre los contaminantes generados desde las fuentes de emisión hasta su llegada a los receptores.

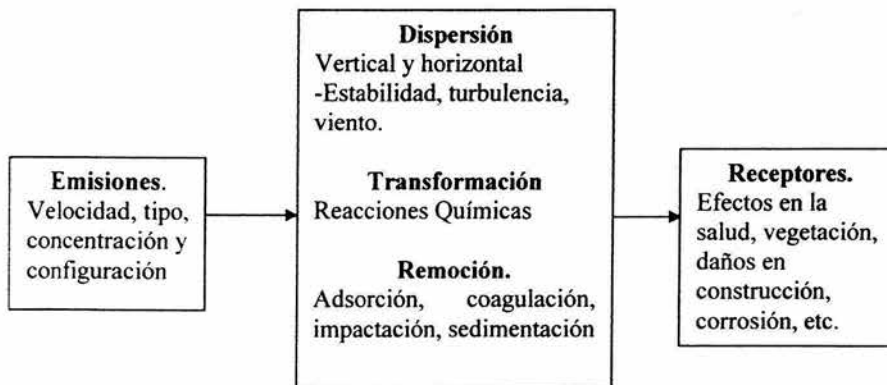
La estabilidad atmosférica y los gradientes de vientos son los factores más importantes que determinan el transporte y difusión de los contaminantes en la atmósfera, esto en conjunto con el tipo y cantidad de puntos de emisión los cuales determinan la cantidad de contaminantes emitidos. (Quadri y Sanchez, 1992).

FIG. 1. D. El efecto de la estabilidad atmosférica en la dispersión de contaminantes aplicado a una chimenea.



Fuente: OKE, T. R. 1987.

FIG. 1. E. El papel de la atmósfera sobre los contaminantes del aire y sus efectos.



Fuente: OKE, T. R. 1987.

Las grandes ciudades crean a su alrededor un microclima propio, el efecto “**isla urbana de calor**”, produciendo un penacho térmico que tiene gran incidencia en la capacidad de difusión de los contaminantes urbanos. A menudo, da lugar a la circulación de vientos locales que elevan el aire caliente del centro de la ciudad, creando una corriente compensada de aire frío de la zona rural circundante que penetra en la zona urbana a niveles bajos. A su vez éstas alteran el clima urbano de muchas formas, por lo general la temperatura es superior, hay menos viento, menos precipitaciones en forma de nieve, así las precipitaciones totales son ligeramente superiores en la ciudad que en las zonas rurales circundantes. (Gutiérrez y Romieu, 1998).

Un factor importante que influye sobre la dispersión de contaminantes es la topografía de la zona de emisión, ya que puede variar los campos de vientos y con ello afectar sobre la dispersión horizontal y vertical. Entre estos factores están la altitud a que se encuentra una ciudad respecto del nivel del mar y la topografía geográfica (planicies, hondonadas, montañas, valles) de la región en que se asienta (Gutiérrez y Romieu, 1998).

En el caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) existe un problema topográfico severo, donde no permite la dispersión de contaminantes debido a sus condiciones geográficas. La ZMCM se encuentra a una altura de 2240m sobre el nivel del mar, con una superficie aproximada de 9600km², además de ello, se encuentra rodeada de forma natural por una extensa cadena montañosa, la cual impide que las corrientes de viento entren fácilmente evitando la dispersión horizontal, provocando que los contaminantes producidos por las fuentes de contaminación permanezcan largo tiempo y se acumulen, siendo también un factor que favorece las “**inversiones térmicas**” y formación de contaminantes secundarios (INEGI, 1998).

CAPITULO 2

LAS AEREOPARTICULAS.

2.1 Clasificación de las aereoparticulas.

Las partículas en la atmósfera están compuestas de una inmensa variedad de materiales y compuestos químicos que se caracterizan por su tamaño, composición, textura, color, número, forma y estructura (Manahan, 1998). Algunas de los términos más importantes se encuentran en la Tabla 2.1:

TABLA 2. 1. Términos importantes que describen a las partículas atmosféricas

Término	Significado
Aerosol	Partícula atmosférica de forma coloidal.
Aerosol condensado	Formada por la condensación de vapores ó reacciones de gases.
Aerosol disperso	Formado por sólidos triturados, atomización de líquidos ó dispersión de polvos.
Neblina	Término que denota el alto nivel de gotas de agua.
Niebla ligera	Denota la disminución de la visibilidad debido a la presencia de partículas.
Humo	Partículas formadas por la combustión incompleta de combustible.

Fuente: Manahan, 1998.

Las partículas suspendidas o aereopartículas provienen de origen natural o antropogénico, algunas partículas son de origen biológico como virus, bacterias, esporas bacterianas, hongos con esporas y polen. Se consideran contaminantes de tipo aerosol, es decir, que son mezcla de sólidos o líquidos dispersos en la atmósfera (fase gaseosa) con un tamaño que va entre 0.002µm hasta 100µm de diámetro, este tipo de contaminantes es originado de modo natural o antropogénico (McGregor, 1999).

La concentración, forma, tamaño y composición química son parte fundamental de las propiedades de las aereopartículas y su interacción con la atmósfera, así como su efecto en el entorno. Gran parte de las aereopartículas son de forma irregular y no esférica, por lo que para determinar su tamaño se emplea la microscopía óptica y electrónica; sin embargo el diámetro de las aereopartículas se expresa en términos de sus propiedades físicas como la velocidad de sedimentación o su comportamiento aerodinámico. A través de esto, se define el “diámetro aerodinámico” basado en la ley de Stokes de velocidad de asentamiento de partículas (Manahan , 1999).

Diámetro aerodinámico “ d_a ”, es el término usado para expresar el tamaño de las partículas presentes en la atmósfera. Se define como el diámetro de una partícula esférica con una densidad de 1 g/cm³ (la densidad de una gota de agua) que tiene la misma velocidad de asentamiento que la partícula de interés. Otra definición de diámetro para aereopartículas pero menos común es el diámetro equivalente ó diámetro de Stokes “ d_s ”, definido como el diámetro de una esfera que tiene la misma densidad y velocidad de sedimentación que la partícula en estudio. (Manahan, 1999).

Cuando en las partículas sucede el fenómeno de asentamiento por gravedad, se utiliza entonces la ley de Stokes para la velocidad de asentamiento:

$$v_{TS} = \frac{\rho_1 * d_a^2 * g}{18 * \eta} = \frac{\rho_2 * d_s^2 * g}{18 * \eta}$$

Donde:

v_{TS} = Velocidad de asentamiento en cm/seg.

g = Aceleración de la gravedad en cm/seg².

d = Diámetro de la partícula en cm

ρ_1 = Densidad del aire g/cm^3

ρ_2 = Densidad de la partícula g/cm^3

η = viscosidad del aire en poise.

Cuando una partícula es de forma esférica irregular y se desconoce su densidad entonces se le asigna convencionalmente una densidad de $1 g/cm^3$, así se calcula el diámetro aerodinámico. Sin embargo este método está limitado para partículas extremadamente pequeñas ya que estas presentan movimientos brownianos (movimientos al azar) por lo que no se utiliza la ley de Stokes y se utiliza el diámetro real (Manahan, 1998).

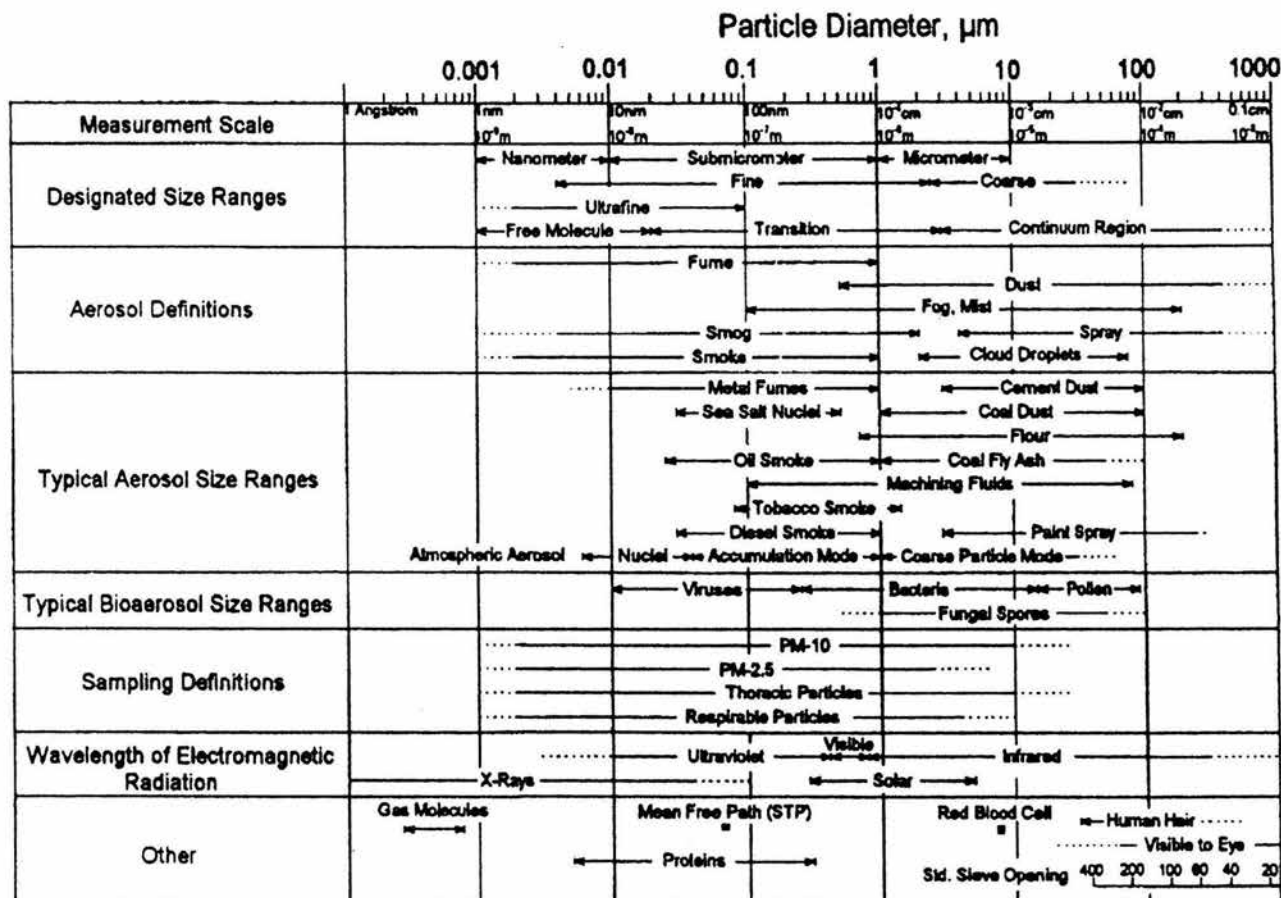
Una descripción amplia de los rangos de tamaño y definición de los aerosoles se muestra en la Figura 2. A. (Holgate y Samet, 1999). Las aereopartículas se clasifican de acuerdo a su diámetro aerodinámico en tres grupos principales:

1. **Partículas Suspendedas Totales** (conocidas como PST) las cuales abarcan un diámetro desde 1mm hasta $10\mu m$. Se les conoce también como aereopartículas “Inhalables” ó gruesas.
2. **Partículas Menores a $10\mu m$ ó Material Particulado menor a $10\mu m$** (conocidas como PM10 de sus siglas en inglés: “Particle Matter <10”), que abarcan de $10\mu m$ hasta las partículas menores a $0.8\mu m$, estas son conocidas como “Respirables”.
3. **Partículas menores a $2.5\mu m$ ó Material Particulado menor a $2.5\mu m$** (conocidas como PM2.5 de sus siglas en inglés: “Particle Matter <2.5”), que abarcan desde $2.5\mu m$ hasta las partículas menores a $0.8\mu m$.

Dentro de esta clasificación existen tres grupos:

- 1) menores a $0.8\mu m$: se les conoce como partículas ultrafinas ó de nucleación.
- 2) de 0.8 a $2\mu m$: conocidas como acumulativas.
- 3) De $2.5\mu m$ y mayores se les conoce como finas.

FIGURA 2.A. Rango de tamaño de partículas y definiciones para aerosoles.



Fuente: Holgate y Samet, 1999.

2.2 Origen de las aereopartículas.

Las partículas suspendidas son originadas de forma física y química a través de procesos naturales o antropogénicos. Según su origen se clasifican en:

1. Primarias: emitidas a la atmósfera directamente de la fuente de emisión.
2. Secundarias: estas se forman en la atmósfera mediante reacciones químicas o por condensación de gases.

Entre las fuentes naturales de formación de aereopartículas se encuentran la suspensión de polvos de la corteza terrestre, evaporación del agua de mar y partículas de origen biológico (esporas, virus, restos de plantas, etc.). La mayoría de las dispersiones de aerosoles se originan de forma natural como la brisa del mar, el polvo de los torbellinos y polvos volcánicos. Sin embargo una gran cantidad de actividades humanas descomponen materiales y los dispersan a la atmósfera (McGregor, 1999).

Las aereopartículas provenientes de origen antropogénico, principalmente de procesos de combustión, se encuentran integradas por partículas atomizadas, cenizas de combustible o carbón, materia orgánica, sulfatos, metales pesados, etc. Las aereopartículas originadas por combustión tienden a tener un rango de tamaño por debajo de $1\mu\text{m}$. Una de las principales fuentes de emisión de partículas suspendidas de tipo antropogénico es el transporte dentro de lugares urbanos que consiste principalmente de carbón y de compuestos orgánicos parcialmente quemados. (Holgate y Samet, (1999).

Los principales tipos de aerosoles secundarios son sulfatos y nitratos de amonio u orgánicos formados por oxidación atmosférica de las emisiones gaseosas de dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x) que reaccionan con el amoníaco. (USEPA, 1999). Entre los mecanismos de formación de aereopartículas secundarias vía reacción química se encuentra la reacción de cicloalquenos con el ozono, lo cual origina productos

oxigenados polifuncionales, estos a su vez son combinados con otras especies moleculares condensables o núcleos de moléculas que originan nuevas partículas en el ambiente.

Otro medio químico es por formación de sales a partir de ácidos (caso del nitrato de sodio (NaNO_3) mediante el NO_2 y HNO_3 y sulfatos a partir de SO_2 a H_2SO_4 por neutralización) (Finlayson., 1986).

Las fuentes principales de combustión que se relacionan con la generación de aereopartículas secundarias son los automotores de diesel y gasolina, combustión de madera, y quema de carbón, así como los procesos químicos en la atmósfera, que convierten grandes cantidades de gases atmosféricos en materia particulada. Casi la mayoría de las especies químicas responsables de esta conversión son los contaminantes orgánicos y óxidos de nitrógeno que causan la formación de ozono y humo fotoquímico en la troposfera, precursores de los procesos de oxidación química en la formación de las partículas suspendidas secundarias (Gutiérrez y Romieu, 1998).

Las aereopartículas PST provienen, en su mayoría, de dispersión de materiales de la superficie de la tierra (metales, minerales o sales inorgánicas), polen y esporas, erosión eólica, tolvaneras, procesos mecánicos de trituración, emisiones de polvos, etc. (Chow y Watson, 1998). Una pequeña parte de ellas son de origen antropogénico, como la combustión de materiales inflamables, madera y derivados del petróleo, entre otros (véase la Figura 2. B.). El tiempo de permanencia dentro de la atmósfera es pequeño debido a su tamaño, por lo que son fácilmente sedimentables.

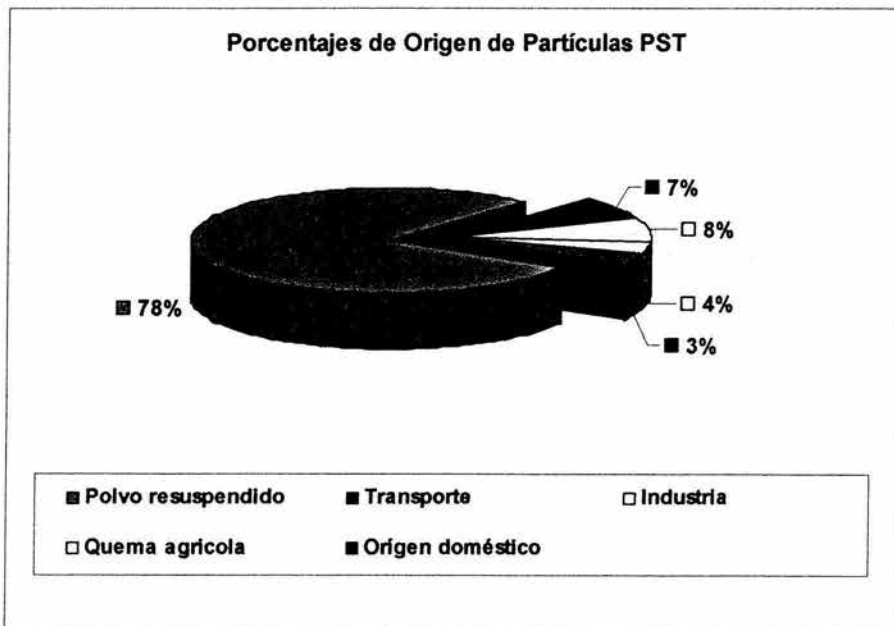
Las partículas $\text{PM}_{2.5}$ son aquellas originadas principalmente por procesos de combustión, fuentes móviles, etc.; se originan cuando se transforman los gases de la combustión químicamente en partículas o bien se emiten directamente como sólidos suspendidos por lo que en su gran mayoría son de origen antropogénicos. (véase la Figura 2. C.). Debido al tamaño que tienen su tiempo de permanencia en la atmósfera al igual que las partículas PM_{10} es mayor ya que tienen un comportamiento semejante al de un gas; aunque un fragmento apreciable tiene diámetros aerodinámicos menor a $1\mu\text{m}$, pueden existir como conglomerados hasta alrededor de $30\mu\text{m}$ de diámetro. Esto se origina debido a que la presión de vapor de una sustancia sobre la superficie curva o irregular de las aereopartículas

es mayor que sobre superficies planas (Adamson, 1973), lo que provoca que exista una nucleación homogénea de partículas más pequeñas. Si el sistema se sobresatura, la concentración de estas especies aumenta al igual que la adhesión de moléculas hasta alcanzar un diámetro crítico, si las aereopartículas formadas tienen un diámetro mayor a éste son estables, mientras que por debajo del él se evaporan (Friedlander, 1977).

Las partículas ultrafinas y de nucleación se emiten directamente de las fuentes de la combustión o bien, son formadas por condensación de vapores emitidos a la atmósfera. Las partículas de nucleación por lo general tienen una vida media menor de una hora ya que rápidamente coagulan con las partículas más grandes o sirve como núcleos para aglomerados. Las partículas acumulativas son el resultado de la coagulación de partículas más pequeñas emitida de las fuentes de la combustión, de la conversión de gas a partícula, de la condensación de especies volátiles y también de polvos finos. La mayoría de ácido sulfúrico, bisulfato de amonio, sulfato del amonio, nitrato del amonio, compuestos de carbono orgánico y el carbono elemental se encuentra en este rango del tamaño (Chow y Watson, 1998).

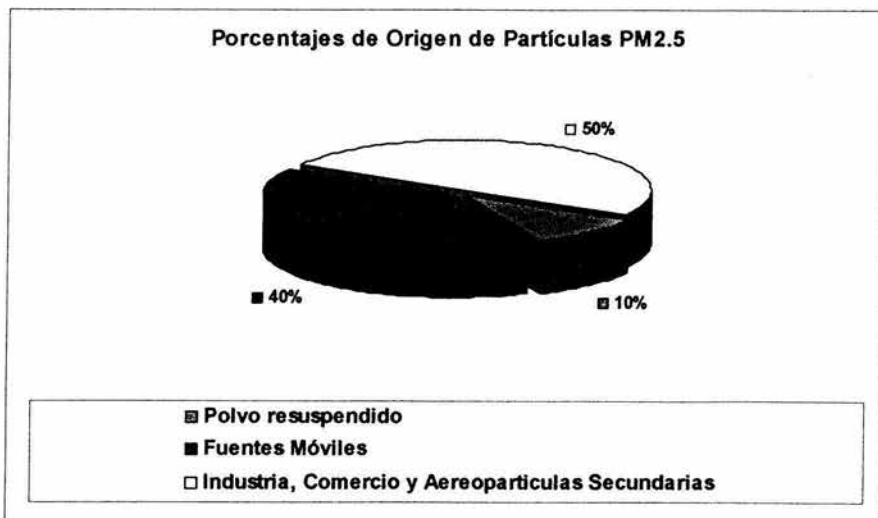
En la figura 2.B y 2.C se muestran la contribución de diferentes fuentes de emisión en la concentración de aereopartículas PST y $PM_{2.5}$ en general, predominando en PST los polvos resuspendidos (fuentes de emisión natural) y en $PM_{2.5}$ las industria, comercios etc. (fuentes de emisión antropogénicas). El porcentaje de emisión de aereopartículas está en función del tipo de fuente y grado de emisión (véase la Figura 2. D.). Dentro de la emisión de aereopartículas de las fuentes móviles se encuentra el hollín, este tipo de partículas procedente de la combustión del diesel así como de la gasolina. Son muy porosas y tienen una gran área superficial en el cual se puede adsorber contaminantes gaseosos y partículas más pequeñas, está formado principalmente por partículas de carbono y aereopartículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en las que se combinan los hidrocarburos y pueden formar diversas especies orgánicas. (Díaz, 1993)

Fig. 2. B. Porcentaje de emisión de aereopartículas PST de diferentes fuentes de emisión.



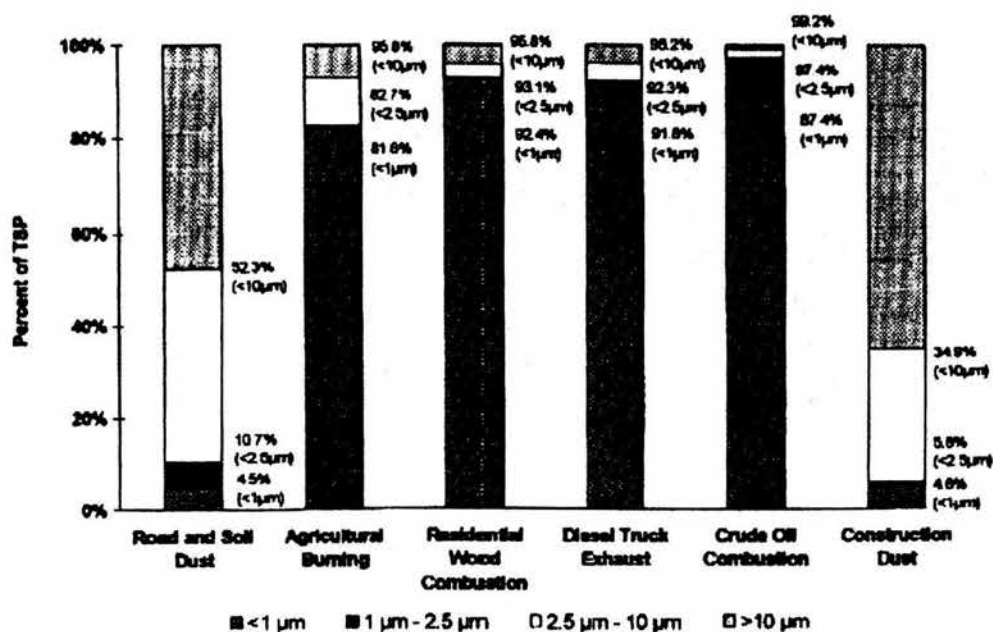
Fuente: OMS, 1997.

Fig. 2. C. Porcentaje de emisión de aereopartículas PM_{2.5} de diferentes fuentes de emisión



Fuente: USEPA, 1999.

Fig 2. D. Distribución de tamaño de aeropartículas en diferentes fuentes de emisión



Fuente: Leahey y Franklin, 1998.

La emisión de aeropartículas de fuentes móviles depende directamente del tiempo de vida útil de los automóviles. Los motores diesel emiten de 100 a 150 veces materia particulada (por masa) que un motor de gasolina adecuadamente instalado con catalizador, además de que estos emiten niveles significantes de partículas carbonosas y hollín (Nielsen y Feilberg, 1999).

2.3- Composición de las aereopartículas.

Las aereopartículas tienen una gran variedad de especies orgánicas e inorgánicas adsorbidas ya sea por proceso químico ó de superficie. Su contenido está en función de sus características físicas y químicas y de la fuente de emisión. La mayoría de la masa de PST y $PM_{2.5}$ en zonas urbanas y rurales puede ser definida por una combinación de los componentes siguientes (USEPA, 1999):

- Sulfatos: El sulfato ambiente puede ser un constituyente primario ó secundario. El sulfato de amonio, bisulfato de amonio y ácido sulfúrico son las especies químicas más comunes de sulfatos en las partículas atmosféricas, principalmente en $PM_{2.5}$. La mayoría de los sulfatos finos se produce por la oxidación de gas de SO_2 al sulfato sobre las aereopartículas.
- Nitratos: El nitrato del amonio es el compuesto más abundante formado del equilibrio reversible gas – partícula entre el gas del amoníaco y el gas del ácido nítrico, y el nitrato de amonio particulado. El nitrato de sodio se encuentra en las $PM_{2.5}$ y en partículas gruesas (PST y PM_{10}) siendo mayor en las primeras.
- Amonio: El sulfato del amonio, bisulfato del amonio, y nitrato del amonio son los compuestos más comunes y se encuentra en mayor proporción en partículas $PM_{2.5}$.
- Carbono Orgánico: Este tipo de material particulado orgánico es un agregado de miles de compuestos orgánicos separados que normalmente contienen más de 20 átomos del carbono. El carbono orgánico particulado se origina de los procesos de combustión, geológicos de erosión y fotoquímicos.
- Carbono Elemental: Son partículas emitidas desde la fuente de combustión, a menudo llamado carbón negro. Las aereopartículas gruesas tienen concentraciones elevadas y forman parte dentro de este grupo de contaminantes. El carbono elemental se encuentra presente junto con el carbono orgánico.
- Cloruro de sodio: Se encuentra la sal en las partículas suspendidas cerca de las costas del mar. Se encuentra normalmente en las aereopartículas gruesas y es

clasificado como un material geológico, aunque también se encuentra dentro del material fino.

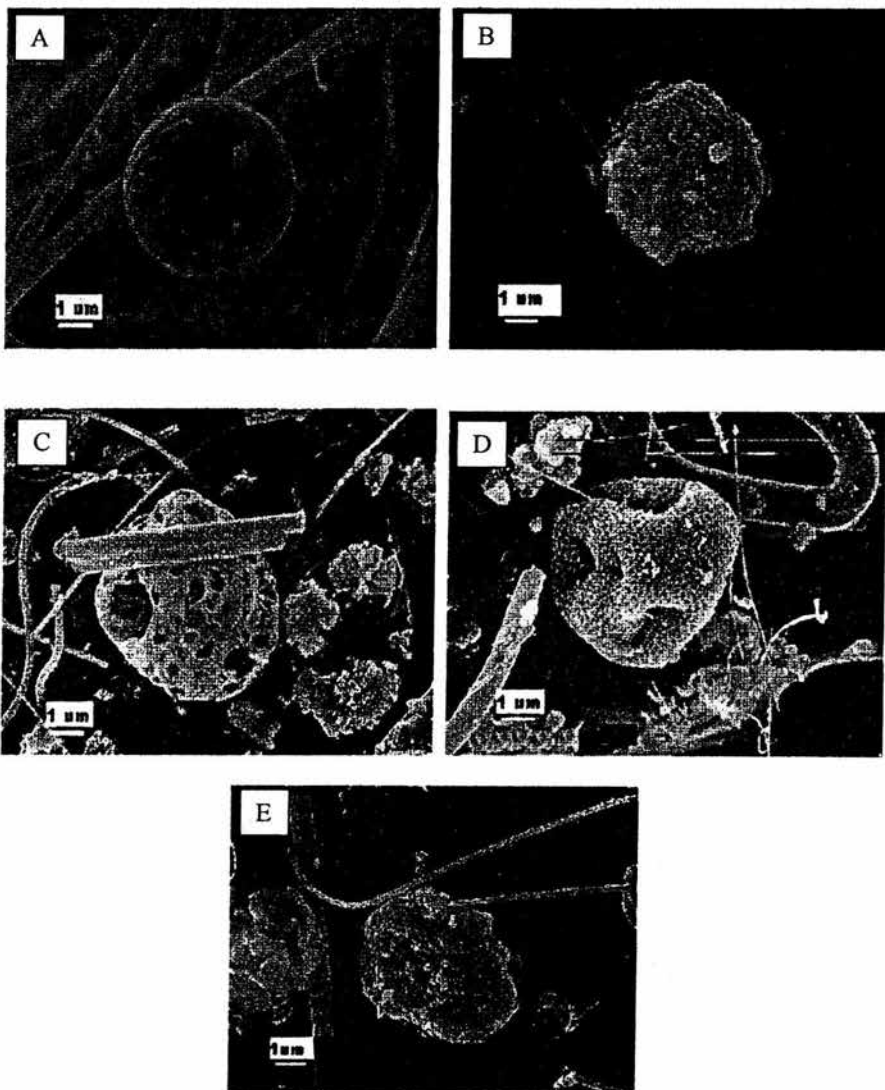
- Agua: Los nitratos solubles, sulfatos, el amonio, el sodio y otros iones inorgánicos, absorben el vapor de agua de la atmósfera, sobre todo cuando la humedad excede 70 por ciento. Por ello las PST son más hidrosolubles que el material fino.
- Material geológico: Polvos suspendidos que consisten principalmente en óxidos de aluminio, silicio, calcio, titanio, hierro y otros óxidos metálicos. La composición de éstos depende de la geología y de los procesos industriales del área. En aereopartículas PM_{2,5} representa un 5 a 15 % y puede llegar hasta 30 %, mientras que en PST y PM₁₀ constituye alrededor del 80% de su composición.

Una porción significativa del material orgánico adsorbido en las aereopartículas proviene de la emisión en máquinas de combustión interna en procesos que involucran pirosíntesis de compuestos nitrogenados, a través de los estudios de materia particulada emitida por maquinaria que utiliza gasolina (con y sin catalisis) y camiones diesel se ha encontrado que contiene más de 100 compuestos (Holgate y Samet, 1999).

Las aereopartículas PST contienen compuestos inorgánicos solubles en agua como el NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} . Los óxidos metálicos constituyen la mayor parte de las partículas inorgánicas en la atmósfera. Algunos de ellos encontrados en este tipo de partículas son los óxidos de aluminio, silicón, calcio, titanio, hierro, así como carbón orgánico y elemental (hollín), minerales y sales naturales provenientes del polvo, así como una fracción inferior de compuestos orgánicos (Sbarato y Manzo, 1998).

Las aereopartículas PM_{2,5} están constituidas por una gran diversidad de sustancias inorgánicas y orgánicas. Debido a la naturaleza de su fuente, contiene hidrocarburos, compuestos aromáticos y compuestos orgánicos con azufre, nitrógeno y oxígeno, aunque el 40% de la masa de la partícula consiste en hidrocarburos orgánicos extraíbles y derivados de hidrocarburos. En el caso de partículas suspendidas secundarias las especies abundantes son metales pesados, carbón elemental, compuestos orgánicos, nitratos y sulfatos (Holgate y Samet, 1999).

Figura 2.E. Micrografía de partículas atmosféricas. A) Partícula de combustión con alto contenido de carbono. B) Partícula Industrial con Hierro y Cobre. C) Partícula con Vanadio. D) Partícula Orgánica. E) Partícula de arcilla de suelo con Al, Si, Fe, y Ca.



Fuente: Maubert *et al.*, 2001

2.4 Propiedades de las aereopartículas.

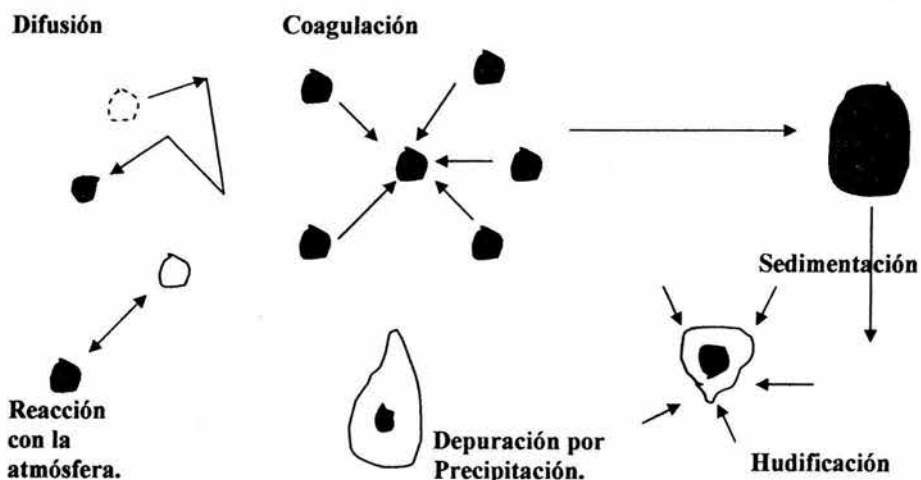
Las partículas en la atmósfera describen cierto número de procesos, las partículas de menor diámetro son sujetas a procesos de difusión, estas se juntan coagulándose para formar partículas más grandes. Estas partículas pequeñas tienen diámetros generalmente menores de $0.08\mu\text{m}$. (dentro del rango de nucleación o ultrafinas) y son emitidas directamente de fuentes de combustión donde posteriormente existe una condensación por enfriamiento de los gases posterior a la emisión. Las partículas de nucleación tienen generalmente tiempos de vida menores a 1 hora porque coagulan rápidamente con partículas más grandes. (Holgate y Samet, 1999)

El rango de nucleación se detecta solo cuando hay emisiones recientes, de ahí se origina la formación de partículas mayores las cuales siguen el fenómeno de acumulación, que abarca aereopartículas con diámetros entre 0.08 y hasta $2\mu\text{m}$. (rango de aereopartículas finas o de acumulación), éstas resultan de la coagulación de partículas más pequeñas emitidas de fuentes de combustión, de la conversión “gas a partícula” o la condensación de especies volátiles y de polvos de partículas finas granuladas. Este tipo de partículas abarcan a la mayor cantidad de las partículas suspendidas totales. Las partículas mayores de 2 ó $3\mu\text{m}$ se asientan generalmente por sedimentación, excepto en días de lluvia o viento existiendo precipitación inducida (véase la Figura 2. F.). (Manahan, 1999).

De acuerdo con Manahan (1999), la sedimentación y deposición por secado de partículas es uno de los 2 mecanismos eficaces de remoción de partículas de la atmósfera, sin embargo la deposición seca de las partículas finas es lenta y está en función del diámetro aerodinámico. Cuando se encuentran en tamaño de nucleación (ultrafinas) las partículas son eliminadas mediante procesos de coagulación o acumulación, por lo que los procesos de acumulación constituyen la forma primaria de eliminación de las aereopartículas es la atmósfera, dando lugar a la aparición de gotas de agua que caerán posteriormente hasta la tierra. Las partículas gruesas son eliminadas mediante procesos gravitacionales. El segundo mecanismo es a través de la depuración por gotas de lluvia y otras formas de precipitación de partículas si estas reaccionan con los gases atmosféricos. (véase la Fig. 2. F.).

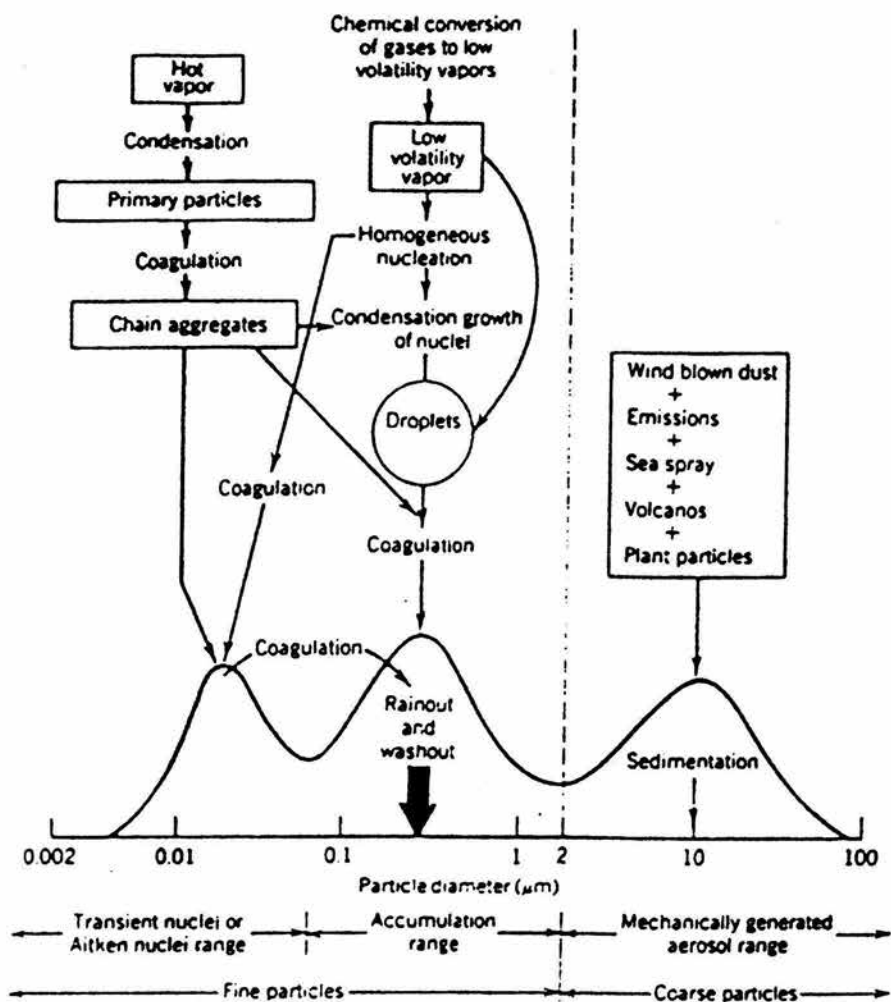
Las partículas $PM_{2.5}$ contienen una variedad de partículas primarias y secundarias, debido a su tamaño y composición tienen un tiempo de permanencia en la atmósfera largo que va de días a semanas y pueden viajar largas distancias (ciento a miles de kilómetros) distribuyéndose en ciudades y sus alrededores. El tiempo de vida en la atmósfera de la materia particulada puede llegar a los 10 días para partículas de menos de $1\mu m$ de diámetro (USEPA, 1998).

Figura 2. F. Proceso de deposición y depuración de aereoparticulas.



Fuente: Manahan, 1999.

Figura. 2. G. Distribución del tamaño de las partículas en la atmósfera.



Fuente: Whitby, Sverdrup, 1980.

2.5. EFECTOS DE LAS AEREOPARTICULAS

La materia particulada tiene numerosos efectos nocivos en la salud y sobre el medio ambiente, los efectos mas importantes se ven sobre los efectos adversos a la salud, efectos ópticos y daño estético por erosión.

El daño estético se observa principalmente en el hollín que provoca manchas y daño por erosión en edificios, estructuras, así como monumentos y estatuas. La presencia de material particulado con sales higroscópicas, depositadas sobre los metales, aceleran su corrosión como resultado de un descenso de la humedad relativa crítica de la superficie, incrementándose la capacidad de mezcla de los metales con las especies químicas presentes en el depósito. (Graedel y McGill, 1986)

La formación de gases ácidos disueltos en la capa de mezcla de la atmósfera, causa una generación de ácidos corrosivos y otras especies iónicas. La exposición a estos ácidos limitará necesariamente la vida útil de pinturas, causando también daños en materiales rocosos, cementos, y otros elementos expuestos de forma natural al depósito de la materia particulada (USEPA, 1999).

Las partículas de $0.1\mu\text{m}$ a $1\mu\text{m}$ causan fenómenos de interferencia porque tienen aproximadamente las mismas dimensiones como las longitudes de luz visible. Así sus propiedades de dispersión de luz son especialmente significativas además de reducir la radiación solar y la visibilidad (Manahan, 1999). Es la causa mayor de visibilidad reducida (la niebla) en algunas partes de Estados Unidos y principalmente en las grandes ciudades.

El efectos climáticos de las aereopartículas presentes en la atmósfera se realiza sobre el balance de energía en la tierra y tiene un impacto claro sobre el clima de dos formas: (a) directamente al incrementar la reflexión de la radiación solar en aquellas porciones de la atmósfera libres de nubes, y (b) indirectamente afecta a las propiedades microfísicas de las nubes al incrementar su brillo y estabilidad. (Trijonis, 1982). Junto con ello la dispersión del viento puede llevarse las partículas a grandes distancias del punto de emisión y

sedimentarse sobre la tierra o agua cambiando el equilibrio nutriente en las aguas costeras y las cuencas de ríos eliminando los nutrientes en la tierra.

La presencia de las aereopartículas ha sido asociada con la mortalidad y morbilidad de los seres humanos, considerándose como un contaminante potencialmente mutagénico y carcinogénico. Estudios toxicológicos controlados, han mostrado que algunos constituyentes específicos de la materia particulada suspendida son asociados con agravaciones específicas de la salud, en especial la fracción de partículas finas contiene una mezcla compleja de compuestos químicos y su grado de penetración en el sistema respiratorio, lo que provoca un efecto nocivo mayor en la salud (Holgate y Samet, 1999).

El efecto del material particulado en el ser humano depende de la capacidad de penetración del material en los mecanismos de defensa respiratorios. Partículas mayores a $10\mu\text{m}$ son retenidas en la cavidad nasal y en la faringe y pueden ser removidas del sistema respiratorio (denominadas "Inhalables"). Sin embargo, en el caso de las partículas menores a $2.5\mu\text{m}$ (denominadas "Respirables") pueden penetrar dentro los pulmones y llegar a los alvéolos pulmonares (McGregor, 1999).

El sistema respiratorio posee mecanismos para la expulsión de partículas inhaladas. En la región intermedia del sistema respiratorio, las aereopartículas son llevadas hasta la entrada al tracto gastrointestinal por un flujo de mucosa. El sistema respiratorio puede ser dañado directamente por materia particulada si entra al sistema sanguíneo o linfático a través de los pulmones. En suma, el material particulado o componentes solubles de esos pueden ser transportados a órganos del sistema respiratorio y ser atacados. Cuanto más pequeñas sean las partículas, es mayor el grado de penetración sobre las finas ramas de los pulmones. (Véase la Fig. 2. H). Una vez que las partículas se han depositado en el sistema respiratorio, su acción irritante es producto por una parte, de su composición química y su toxicidad y, por otra, de su facilidad de absorber y adsorber otras sustancias en su superficie, lo cual incrementa su agresividad. (Allsopp *et al.*, 2001)

La Agencia de sustancias tóxicas y registro de enfermedades (ATSDR en inglés) ha encontrado que las aereopartículas provocan:

- Aumento en la frecuencia de cáncer pulmonar
- Muertes prematuras
- Síntomas respiratorios severos
- Irritación de ojos y nariz
- Agravamiento en casos de asma
- Agravamiento en caso de enfermedades cardiovasculares

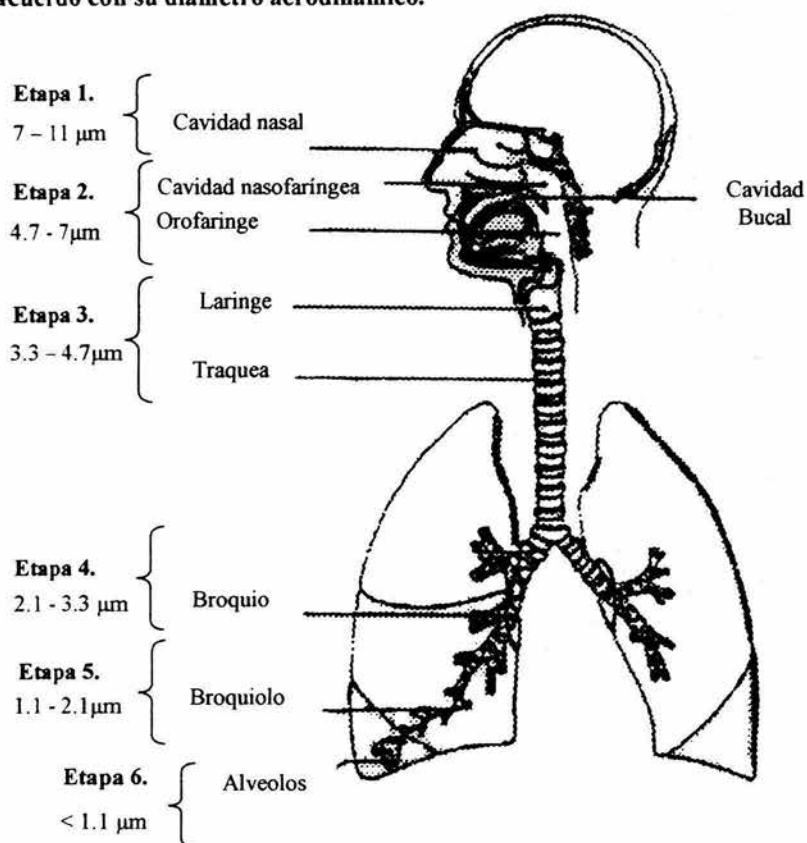
Su acumulación en los pulmones origina enfermedades como:

- Silicosis
- Asbestosis

No solo las aereopartículas pueden penetrar en el organismo vía respiratoria, sino también por ingestión o atacar por vía cutánea, provocando enfermedades de la piel y del sistema digestivo (Holgate y Samet, 1999). Dentro de las tablas 2.3 se menciona los efectos de las aereopartículas a diferentes concentraciones y tiempos de exposición y la tabla 2.4 muestra los efectos estimados de larga exposición a partículas suspendidas $PM_{2.5}$ y PM_{10} .

Dos tercios del riesgo de cáncer que se produce por los contaminantes en la atmósfera se atribuyen al tráfico rodado, siendo las emisiones de diesel las que suponen el mayor peligro en potencia. Estudios realizados en Japón indican que los gases de escape de diesel en combinación con las alergias pueden aumentar la sensibilidad de las vías respiratorias. En Australia se ha demostrado que las aereopartículas finas de hollín son capaces de introducirse en los canales respiratorios hasta los alvéolos pulmonares, concentrándose en el sistema respiratorio, desencadenado con ello ataques asmáticos. Por otro lado, las emisiones de diesel aumentan las irritaciones alérgicas en las vías respiratorias y las vuelven hipersensibles (Wolfgang, 1999).

Fig. 2. H. Diagrama de penetración de las aereoparticulas en el sistema respiratorio de acuerdo con su diametro aerodinamico.



Fuente: Gutiérrez y Romieu, 1998.

Tabla 2. 3. Efectos de la materia particulada a diferentes concentraciones y tiempos de exposición.

Concentración de aereoparticulas $\mu\text{g} / \text{m}^3$		Tiempo de Exposición(h)	Efectos en la salud
PST	PM ₁₀		
2000	-	2 Horas	Malestar Personal
1000	-	10 Minutos	Cambios directos mecánicos en la respiración
-	350		Empeoramiento de la bronquitis
180	90		Aumento en los síntomas de las enfermedades respiratorias
110	55	24 Horas	Riesgo de enfermedad respiratoria

Fuente: USEPA, 1981 y 1982.

Tabla 2. 4: Efectos estimados de larga exposición a partículas suspendidas con un aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la media anual de concentración.

EFECTO SOBRE LA SALUD	PM _{2.5}	PM ₁₀
R. R. (95% Confianza)		
Muerte	1.14 (1.04 – 1.24)	1.10 (1.03 – 1.18)
Muerte	1.07 (1.04 – 1.1)	-
Bronquitis	1.34 (0.94 – 1.99)	1.29 (0.96 – 1.83)
% de cambio.		
Funciones respiratorias en niños	-1.9% (- 3.1 - -0.6)	- 1.2% (-2.3 - - 0.1)
Funciones respiratorias en adultos	-	- 1.0 (N. A.)

R. R.: Razón de respuesta.

Fuente: USEPA, 1981 y 1982.

CAPITULO 3

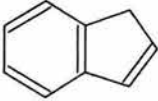
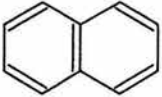
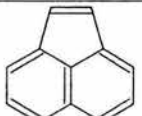
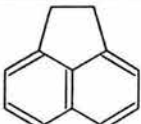
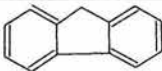

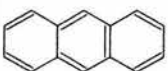
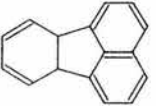
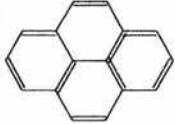
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAP's).

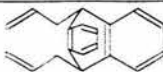
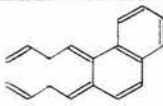
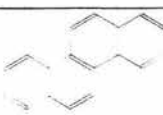

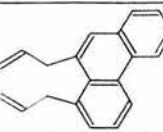
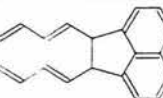
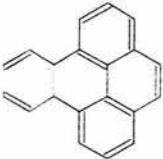
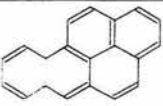
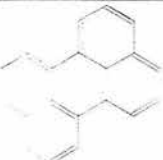
3.1.- Definición y propiedades.


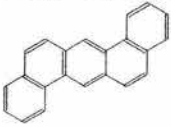
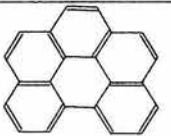
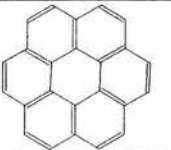
Uno de las especies químicas que se encuentra adsorbida en las aereopartículas más importantes son los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP), estos compuestos se caracterizan por tener en su estructura 2 ó mas anillos aromáticos (Morrison y Boyd, 1996).

Las características fisicoquímicas de estos compuestos están en función del número de anillos bencénicos y de su estructura molecular, algunos de ellos son mencionados en la Tabla 3. 1. Los HAP's se encuentran habitualmente en estado sólido, su estructura de anillos aromáticos les permite tener una particular resistencia a agentes químicos y otro tipo de ataques. Su solubilidad en agua decrece al ir aumentando el peso molecular y el tamaño de la molécula. (Fieser y Fieser, 1968).

Tabla 3.1. Estructuras y propiedades físicas de los HAP.

Estructura	Nombre	Peso Molecular	Punto de fusión y punto de ebullición.	Propiedades
	Indeno	116.6 C_9H_8	PF = $-1.8^\circ C$ PE = $181^\circ C$	Se encuentra en estado líquido en el alquitrán de carbón, y el petróleo crudo. Insoluble en el agua. Miscible con la mayoría de los solventes orgánicos.
	Naftaleno (Naf)	128.1 $C_{10}H_8$	$81^\circ C$ $218^\circ C$	Cristales blancos, insoluble en agua (1:13) metanol (1:3:5) benceno (1:2), d (100,4)=0.9628 d (20,4)=1.162, irritante, causa cáncer y dermatitis.
	Acenaftileno (Actil)	152.21	$93^\circ C$ $270^\circ C$	Cristales amarillos, soluble en tolueno y ciclohexano, irritante para los ojos, piel y tracto respiratorio. Riesgo de cáncer.
	Acenafteno (Acno)	154.21 $C_{12}H_{10}$	$96^\circ C$ $271^\circ C$	Cristales blancos, insoluble en agua, en alcohol (1:56) en metanol (1:25) en propanol (1:2:5) en $CHCl_3$, d=1.189, irritante a ojos y piel.
	Fluoreno (Fno)	166.26 $C_{13}H_{10}$	$117^\circ C$ $294^\circ C$	Cristales blancos, soluble en ácido acético, CS_2 , éter, benceno y alcohol caliente, d=1.202. Irritante a ojos y piel, riesgo de cáncer.
	Fenantreno (Fen)	178.24 $C_{14}H_{10}$	$101^\circ C$ $338^\circ C$	Cristales blancos, insoluble en agua (1:60) en etanol frío (1:2:4) en tolueno o CCl_4 , (1:2) en benceno, d(25,4)=1.179. Irritante a ojos y piel, riesgo de cáncer.
	Antraceno (Ant)	178.24 $C_{14}H_{10}$	$216^\circ C$ $340^\circ C$	Cristales blancos, insoluble en agua, (1:67) en etanol abs., (1:70) en metanol, (1:62) en benceno. Irritante a la ojos, decolora la piel.
	Fluoranteno (Flt)	202.26	$111^\circ C$ $383^\circ C$	Cristales blancos traslúcidos. Soluble en tolueno y ciclohexano, irritante a ojos y piel.
	Pireno (Pir)	202.26	$156^\circ C$ $393^\circ C$	Cristales amarillo claro, insol. en agua, sol. en disolventes orgánicos, en solución ligera, d(23,4)=1.271 Irritante a ojos quema la piel, riesgo de cáncer, daña el hígado.

	Triptaceno	254.33 C ₂₀ H ₁₄	225°C	Cristales Incoloros, no reactivo
	Benzo(a) antraceno (B(a)A)	228.3 C ₁₈ H ₁₂	162°C 435°C	Polvo blanco, insol. en agua, soluble en etanol hirviendo y en la mayoría de los disolventes orgánicos. Irritante a ojos y piel, riesgo de cáncer.
	Criseno (Cris)	228.3 C ₁₈ H ₁₂	256°C 441°C	Polvo blanco sol. en éter, CS ₂ , ác. acético, (1:1300) en etanol abs., lig. sol. (1:480) en sol. de tolueno al 5% en benceno hirviendo, insol. en agua y ciclohexano. Irritante a ojos y piel, cancerígeno.
	Naftaceno	228.29 C ₁₈ H ₁₂	335°C	Naranja, Originado del alquitrán de carbón contamina el Antraceno comercial. Es muy poco soluble en solventes.
	Benzo(b) fluoranteno (B(b)F)	252.32 C ₂₀ H ₁₂	168°C 481°C	Agujas blancas, soluble en ciclohexano y tolueno. Irritante a ojos y piel, riesgo de cáncer.
	Benzo(k) fluoranteno (B(k)F)	252.32 C ₂₀ H ₁₂	217°C 481°C	Agujas amarillo ópalo, soluble en tolueno y ciclohexano. Irritante a ojos y piel, riesgo de cáncer.
	Benzo (e)pireno	252.32 C ₂₀ H ₁₂	178 ° C	Constituyente del alquitrán de carbón. Prismas o agujas del benceno.
	Benzo(a)pireno (B(a)P)	252.32 C ₂₀ H ₁₂	177°C 496°C	Agujas amarillas, sol. en benceno, tolueno, xileno, sol. en metanol, insol. en agua. Irritante a ojos y piel, riesgo de cáncer. Teratógeno y mutágeno.
	Perileno	252.32 C ₂₀ H ₁₂	265°C 350° C	Cristal amarillo, soluble en el cloroformo, moderadamente en benceno; ligeramente en el éter, alcohol y acetona e insoluble en el agua.

	Indeno(1,2,3-cd) Pireno	278.36	270°C 524°C	Cristales blancos soluble en éter de petróleo, disolventes orgánicos(Benceno, tolueno, xileno) y en algunos aceites. Insoluble en agua y es potencial carcinogénico.
	Dibenzo(a,h) antraceno (B(a,h)A)	278.36	270°C 524°C	Cristales blancos, soluble en éter de petróleo, benceno, tolueno, xileno y aceites, lig. soluble en etanol y éter, insoluble en agua y ciclohexano. Carcinógeno.
	Benzo(ghi) perileno (B(ghi)P)	276.34	278°C >500°C	Agujas amarillo paja, soluble en tolueno, insol. en ciclohexano. Irritante a ojos y piel, riesgo de cáncer.
	Coroneno (Cor)	300.36	439°C 525°C	Polvo amarillento, soluble en tolueno insoluble en ciclohexano y agua. Riesgo de cáncer. Irritante.

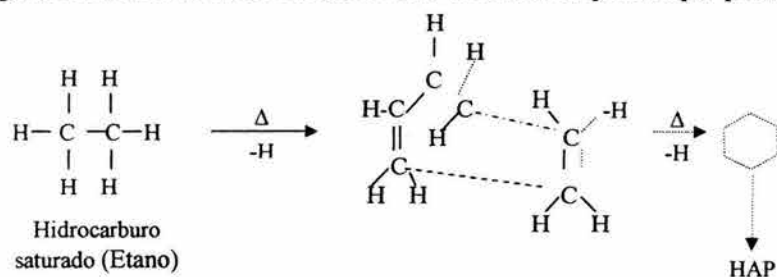
3.2 Origen de los HAP.

Entre las fuentes principales de origen de los HAP se destacan 3 (Coutant *et al.* 1988):

1. **Origen Pirolítico**, procedente de la combustión incompleta de la materia orgánica, reciente o fósil, bien por causas naturales (incendios de bosques, erupciones volcánicas, etc.) o antropogénicas (utilización de combustibles fósiles, incineración de residuos, emisiones de vehículos, etc.).
2. **Origen Petrogénico**, producido por vertidos accidentales o intencionados de derivados del petróleo. Se caracterizan por ser mezclas complejas formadas por compuestos con cadenas alquílicas de hasta 5 o 6 átomos de carbono.
3. **Origen químico**, producido como compuestos secundarios mediante reacciones químicas de descarboxilación, aromatización, desfuncionalización, pirolisis, etc.

El origen principal de estos compuestos proviene de la combustión incompleta de materia orgánica, como carbón, petróleo, tabaco y de emisión de fuentes móviles. De forma secundaria se forman los HAP's dentro de la atmósfera a través de la piro síntesis, este es un proceso químico que comienza con hidrocarburos saturados de bajo peso molecular y a través de calor con ataque de radicales libres y bajo condiciones deficientes de oxígeno, resulta en la formación de estructuras estables de HAP. Hidrocarburos con muy baja masa molecular como el metano y etano pueden actuar como precursores de HAP's secundarios (ver Fig. 3.A) a través de piro síntesis, esto ocurre a temperaturas que exceden los 500 °C en los cuales los enlaces carbono - hidrógeno y carbono-carbono son rotos para formar radicales libres. La tendencia de los hidrocarburos para formar HAP's por piro síntesis es en el orden: aromáticos > cicloolefinas > olefinas > parafinas. (Manahan S. E. 1999).

Figura. 3. A. Proceso de formación de HAP vía reacción química por pirolisis.



Fuente: Lao y Thomas, 1980.

Al ser emitidos a la atmósfera su distribución se lleva a cabo de acuerdo a sus presiones de vapor en equilibrio con la temperatura ambiente. Los HAP's de cinco anillos o más se encuentran en forma particulada, los de tres y cuatro en ambas fases y aquellos de dos en forma gaseosa, esto es debido al efecto de disminución de presión de vapor y punto de ebullición por su peso molecular y su estructura química (Lee y Shuetzle 1983). Sin embargo, estas presiones de vapor se ven alteradas en algunos casos debido a las condiciones del medio y a los diferentes tipos de sustrato donde se encuentran las especies adsorbidas. Es por ello que al tener mayor temperatura la fuente de combustión, las especies en fase gaseosa serán mayores (Lao y Thomas, 1980).

El benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Benzo(g,h,i)perileno, indeno(1,2,3-cd)pireno son indicadores de fuentes vehiculares que emplean diesel, combustión de la basura, del humo del tabaco y de la producción de aluminio. Mientras que los compuestos de peso molecular mas bajo se originan por procesos de combustión de fuentes vehiculares. (Daisey, 1986). El origen predominante de algunos HAP's se muestra en la Tabla 3. 2.

Tabla 3.2. HAP encontrados de diferentes orígenes de emisión y en el aire ambiente

Especies	Orígenes predominantes	Presión de vapor (mmHg) a 25°C	Distribución de fases partícula-gas (emitiendo desde la fuente de origen)
Naftaleno	Motor de vehículos y humo de madera.	$7.8 * 10^{-2}$	Fase gas
Metilnaftalenos	Motor de vehículos y humo de madera.	-	Fase gas
Dimetilnaftalenos	Motor de vehículos y humo de madera.	-	Fase gas
Bifenil	Motor de vehículos y humo de madera.	-	Fase gas
Acenaftileno	Motor de vehículos y humo de madera.	$6.7 * 10^{-3}$	Fase gas
Acenafteno	Motor de vehículos y humo de madera.	$2.15 * 10^{-4}$	Fase gas
Fluoreno	Motor de vehículos y humo de madera.	$6.0 * 10^{-4}$	Fase partícula-gas
Fenantreno	Motor de vehículos y humo de madera.	$1.2 * 10^{-4}$	Fase partícula-gas
Antraceno	Motor de vehículos y humo de madera.	$6.0 * 10^{-6}$	Fase partícula-gas
Fluoranteno	Motor de vehículos y humo de madera.	$9.20 * 10^{-6}$	Fase partícula-gas
Pireno	Motor de vehículos y humo de madera.	$4.50 * 10^{-6}$	Fase partícula-gas
Reteno	Humo de madera blanda	-	Fase partícula-gas
Benzo(b)nafto(2,1)triofeno	Motor de vehículos	-	Fase partícula(adsorbido)
Benzo(a)antraceno	Motor de vehículos y humo de madera.	$2.10 * 10^{-7}$	Fase partícula(adsorbido)
Criseno	Motor de vehículos y humo de madera.	$6.40 * 10^{-9}$	Fase partícula(adsorbido)
Benzo(b+j+k)fluoranteno	Motor de vehículos y humo de madera.	-	Fase partícula(adsorbido)
Benzo(e)pireno	Motor de vehículos y humo de madera.	-	Fase partícula(adsorbido)
Benzo(a)pireno	Motor de vehículos y humo de madera.	$5.60 * 10^{-9}$	Fase partícula(adsorbido)

Indeno(1,2,3-cd)pireno	Motor de vehículos y humo de madera.	-	Fase partícula(adsorbido)
Dibenzo(ah+ac)antraceno	Motor de vehículos y humo de madera.	-	Fase partícula(adsorbido)
Benzo(g,h,i)perileno	Motor de vehículos y humo de madera.	-	Fase partícula(adsorbido)
Coroneno	Motor de vehículos y humo de madera.	-	Fase partícula(adsorbido)

Fuente: Chow y Watson, 1998.

En general, del 70 al 90% de los HAP's han sido encontrados en partículas respirables menores o igual a $2.5\mu\text{m}$, (Kertesz y Saringer, 1971). Los hornos de carbón despiden gases que pueden contener por encima de $1000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ de HAP's y el humo de cigarro casi $100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estudios realizados hacia los HAP's más representativos en el aire muestran que se encuentra una concentración entre $0.02 - 1.2\ \text{ng}/\text{m}^3$ en áreas rurales y de $0.15-19.3\ \text{ng}/\text{m}^3$ en áreas urbanas. (ATSDR, 1995).

3.3 Efectos de los HAP.

Diversos estudios han comprobado que este tipo de contaminante, al encontrarse presentes en las aereopartículas que respiramos diariamente, provoca efectos nocivos a la salud donde uno de los más importantes y severos es el cáncer pulmonar (ATSDR, 1995).

En los últimos años se ha encontrado un número cada vez mayor de compuestos carcinógenos; de hecho, se ha sugerido que el cáncer pulmonar es primordialmente una enfermedad ambiental. Los HAP's han sido considerados como marcadores de la calidad del aire debido a su estabilidad en la atmósfera (IARC, 1983) y al riesgo que implica su presencia ya que son en su mayoría mutagénicos y carcinogénicos (De Raat et al. 1987 - 1988).

Una de las características químicas de los HAP's, es estar dotados de una notable susceptibilidad para las reacciones de sustitución la cual sobrepasa a la de todos los demás hidrocarburos aromáticos conocidos (Fieser y Fieser, 1968); el Benzo(a)pireno se ha considerado como el HAP de referencia por la USEPA debido a la estabilidad en la atmósfera y su conocido efecto nocivo sobre la salud, además de ser un precursor potencial

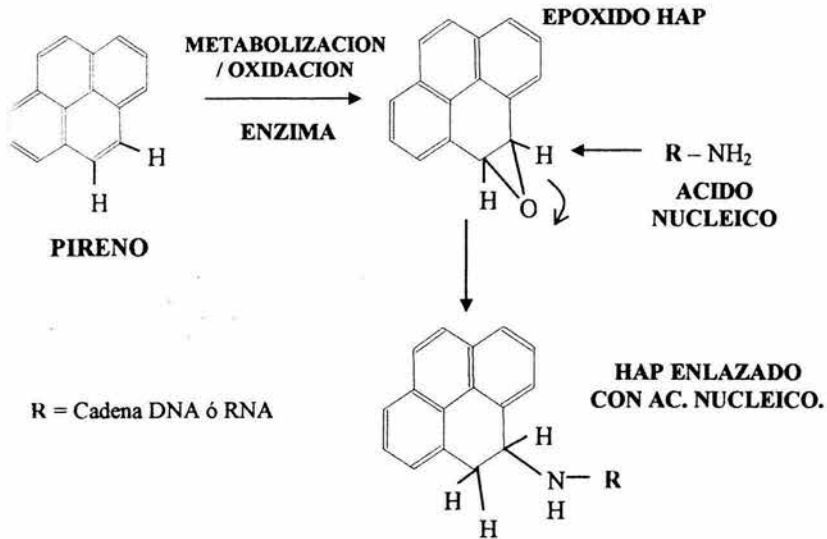
de riesgo de cáncer, siendo responsable de hasta 1120 muertes/ año en Estados Unidos (USEPA, 1990). Al igual que este compuesto existen otros igualmente peligrosos como el 7, 12-Dimetilbenzo(a)antraceno, Dibenzo(a,h)antraceno, Criseno Benzo(j)fluoranteno, 3-Metilconantreno, Indeno, Benzo(e)Acefanantrileno, entre otros. (Morrison y Boyd 1996).

Dentro del cuerpo humano, cuando una sustancia foránea penetra en el organismo, éste trata de eliminarla. Si la sustancia adsorbida a las aereopartículas es de baja solubilidad en agua, dicha eliminación generalmente se realiza por excreción a través de la mucosa. Pero gran parte de los HAP's al encontrarse adsorbidas a partículas finas de diámetro sumamente pequeño ($\leq 2.5 \mu\text{m}$) penetran con mayor facilidad a los pulmones hasta llegar a los alvéolos, por lo que el efecto es directo sobre el sistema pulmonar, es por ello que se puede presentar problemas relacionados con el sistema respiratorio como asma bronquial y enfermedades respiratorias e incluso ser precursores de formación de cáncer pulmonar (Holgate y Samet, 1999).

El efecto carcinogénico de los HAP's dentro del organismo humano es provocado por la formación de óxidos de areno, es decir, epóxidos en los que necesariamente ha sido destruida la aromaticidad de uno de los anillos (Ver figura 3. B.) (Olah y Molnar, 1995), este compuesto intermediario se enlaza covalentemente con los ácidos nucleicos (DNA o RNA) produciendo la ruptura del ácido; ésto genera un corto del sistema metabólico formando con ello células cancerígenas. (Wingrove y Caret, 1981).

La baja solubilidad en agua de los HAP's no permite su remoción de las aereopartículas y permanecen largos periodos de tiempo adsorbidos. (Holgate y Samet, 1999). Este tipo de compuestos se acumulan dentro del sistema respiratorio. Su acumulación y persistencia en el sistema respiratorio está en función de su peso molecular (Anton y Lizaso, 2001).

Figura 3. B. Mecanismo de formación de óxidos de areno a partir de la metabolización de HAP's



Fuente: Wingrove y Caret, 1981.

Los HAP's adsorbidos a las aereopartículas PST tienen concentraciones mayores a 1 ng/m^3 generalmente siguen un orden benzo(b)fluoranteno > fenantreno > benzo(g,h,i)perileno > indeno(1,2,3-cd)pireno. Sin embargo, se ha detectado niveles elevados de HAP's por arriba de $20 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en aereopartículas finas (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) han sido encontrados en zonas urbanas y en la cercanía de incendios naturales, llanuras incendiadas e incendios de basureros. (Amador *et. al.*, 2001). Las emisiones de hidrocarburos aromáticos policíclicos de acción cancerígena en los motores diesel son aún más elevadas que en los motores de gasolina con catalizadores debido a la cantidad de HAP's generados por la combustión del diesel. (Wolfgang, 1999).

CAPITULO 4

MONITOREO ATMOSFERICO DE AEROPARTICULAS.

4.1 - MONITOREO ATMOSFÉRICO.

Para determinar el comportamiento y niveles de concentración de los contaminantes en la atmósfera se emplea el monitoreo atmosférico, siendo una fase fundamental de cualquier programa de control de la contaminación porque permite identificar los contaminantes presentes en la atmósfera, determinar su concentración y predecir su comportamiento.

A través de los resultados del monitoreo se ha podido realizar la investigación epidemiológica desarrollada durante los últimos años que ha generado información sobre los efectos en la salud de la contaminación del aire sobre la población y el ambiente, además ha brindado un amplio fundamento para la predicción de varios efectos adversos que pueden estar relacionados con la exposición a contaminantes presentes en la atmósfera.

El monitoreo atmosférico se compone de 2 procedimientos: muestreo y análisis. El muestreo es el procedimiento por el cual las muestras son recolectadas, mientras que el análisis involucra los métodos químicos o analíticos para determinar, de forma tanto cualitativa como cuantitativa, los contaminantes en la muestra de aire obtenida (Konig, 1980).

Los monitoreos son realizados de 2 formas (Gutiérrez y Romieu, 1998):

1. Monitoreo continuo, en el cual se realiza el proceso de muestreo y análisis en una sola etapa.
2. Monitoreo manual, en el cual se realiza el muestreo y el análisis en dos etapas diferentes.

Aquellos contaminantes que se encuentran normados a nivel internacional se les conoce como “contaminante criterio” sobre los cuales se aplican normas primarias de concentración en la atmósfera, éstas tienen como finalidad proteger la salud humana y el entorno ecológico (Chow y Watson, 1998).

Para determinar la concentración de los contaminantes atmosféricos se aplican “métodos” de detección y cuantificación de contaminantes, estos son procedimientos establecidos que permiten medir los niveles de concentración de contaminantes. Existen dos tipos de métodos de detección (Ramirez, 1996).

- a) Métodos de referencia: Estos métodos son también llamados estándar los cuales son los establecidos dentro de la normatividad y se encuentran validados por las instituciones de monitoreo ambiental.
- b) Método equivalente: Estos métodos son aquellos que proporcionan datos semejantes ó comparables al método de referencia.

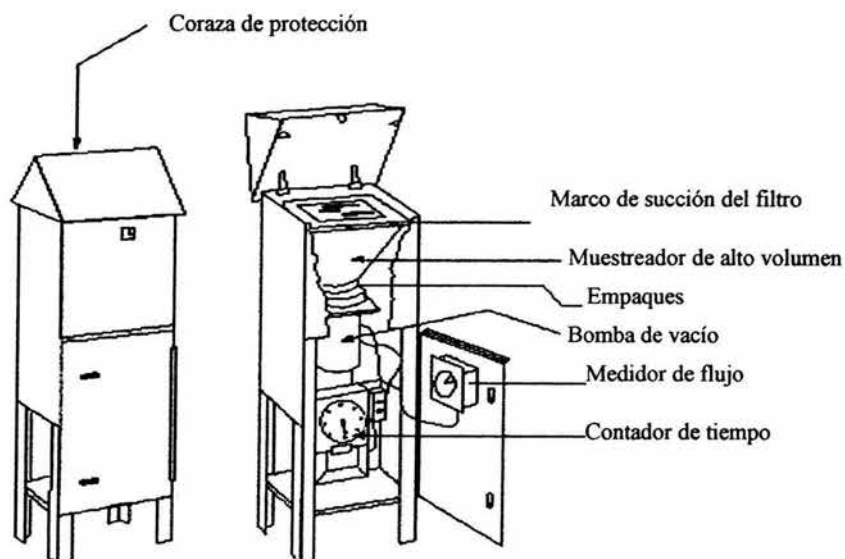
La diferencia entre ambos reside en la técnica y confiabilidad de monitoreo, para aceptar la equivalencia de un método con respecto al de referencia se realizan pruebas estándar a la característica o principio del equipo y se determina el grado de exactitud y semejanza de los valores arrojados.

4.2.-MONITOREO DE AEREOPARTICULAS.

El monitoreo de las aereopartículas se realiza en equipos especiales. Para el monitoreo de aereopartículas PST se emplea el **método de referencia de monitoreo de PST por muestreador de Alto Volumen** (llamado HI – VOL por sus siglas en inglés). Este equipo consta de 3 partes importantes:

- Zona de succión
- Muestreador de alto volumen
- Dispositivo de control de tiempo de monitoreo

FIG. 1.- Esquema del muestreador de alto volumen (HI –VOL) para PST.



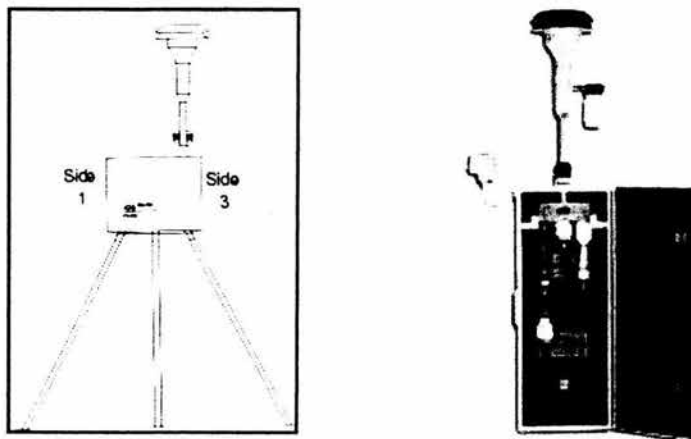
Fuente: INE, NOM-035-ECOL-1996.

La succión es realizada por una bomba de vacío, en el cual se hace pasar sobre el filtro un flujo de aire reteniendo las aereopartículas, existe también un contador de tiempo y un medidor de flujo para contabilizar el volumen de aire muestreado. La colección de partículas se realiza en filtros de fibra de vidrio el cual es colocado en la parte superior del equipo (INE, 1996).

Para el monitoreo de aereopartículas $PM_{2.5}$ se emplean equipos de alto y bajo volumen, (HIVOL y MINIVOL), existen varios tipos de equipos de monitoreo de referencia y equivalentes, la variación entre ellos reside en el principio físico de separación de las aereopartículas y con ello su costo (USEPA 1997), algunos de los más importantes son los siguientes:

a) Método de referencia “FRM – $PM_{2.5}$ ” por separador de impactador WINS (Well Impactor 96): Este tipo de equipos separan las partículas finas menores a $2.5 \mu m$ a través de impacto del flujo de aire sobre una placa la cual retiene las partículas de diámetro superior, permitiendo la resuspensión de las partículas más pequeñas y estas ser recolectadas en filtros. El salto de la partícula y la resuspensión es el principio usado en este método, sin embargo un fragmento del flujo total (normalmente 10%) se pierde sobre la superficie de impactación, por lo que disminuye su eficiencia de colección (USEPA 1997). El esquema y fotografía del equipo se muestran en la siguiente figura:

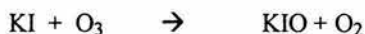
Figura. 4. B. Esquema y fotografía del muestreador por impactador de aereopartículas $PM_{2.5}$.



Fuente: USEPA, 1999.

b) Método equivalente de Monitoreo de $PM_{2.5}$ Integrado para Compuestos Volátiles Orgánicos en fase Partícula – Gas (“IOPVS”) por separador tipo ciclón: este tipo de muestreadores separa las partículas usando un ciclón, el cual opera por flujo ascendente permitiendo la sedimentación de las partículas gruesas por la fuerza centrípeta, estas chocan en las paredes del separador, permitiendo que aquellas de menor diámetro puedan pasar a través del sistema y poder ser recolectadas (USEPA, 1999). Las partes del equipo de IOPVS principales son las siguientes:

- a) Ciclón: El cual es la succión de aire y es donde se produce la separación de partículas grandes con respecto a las pequeñas (<2.5mm).
- b) Cámara de eliminación de Ozono: Es la parte donde se elimina el ozono que se encuentra en el aire muestreado por medio de Yoduro de potasio, la reacción que se lleva a cabo es:

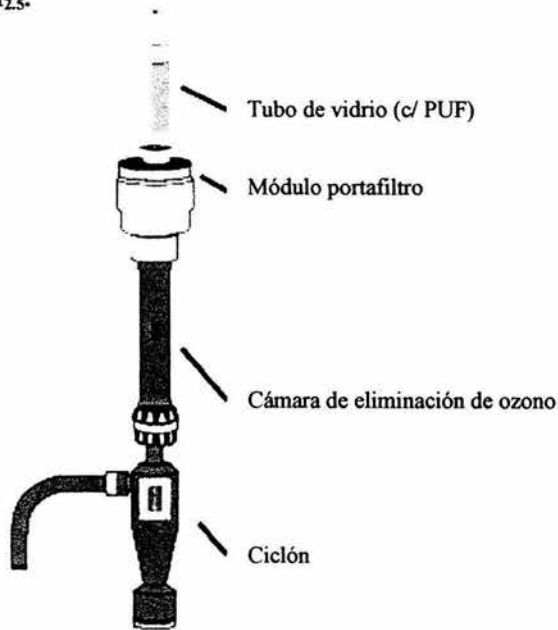


Este tipo de equipos utiliza la tecnología “Anular Dennuder” la cual consiste en anillos concéntricos rugosos de vidrio los cuales permiten que la superficie de contacto entre aire y solución sea mayor.

- c) Módulo portafiltro: consiste en un cámara de plástico la cual sostiene dentro al filtro de monitoreo.
- d) Tubo de vidrio (para Espuma de Poliuretano, “PUF”): Es un tubo de vidrio en el cual se coloca PUF, su finalidad es retener parte de los compuestos orgánicos volátiles del material particulado que no queda adsorbido y del aire muestreado.

El esquema del muestreador IOPVS se muestra en la figura 4. C.

FIG. 4. C. Esquema del muestreador "IOPVS" por separador de tipo ciclón para monitoreo de $PM_{2.5}$.



Fuente: USEPA, 1999.

El estudio y monitoreo de la concentración de las aereopartículas en México ha sido tomado en cuenta recientemente en México; actualmente se cuenta con un sistema de monitoreo automático conocido como la "Red Automática de Monitoreo Atmosférico" (RAMA) y la "Red Manual de Monitoreo Atmosférico" (REDMA). Creados desde 1986 ambas tienen la función de llevar a cabo el monitoreo y evaluación de la calidad del aire con el propósito de mantener informada a la sociedad de los niveles de concentración de los principales contaminantes atmosféricos, informar a la población y tomar las medidas de control en casos de la presencia de elevadas concentraciones o episodios ambientales (SMA, 1988).

Dentro de la RAMA se monitorea aereopartículas PM_{10} utilizando un equipo automático de monitoreo conocido como "TEOM". En REDMA, se realiza el monitoreo de PST de modo manual; además se realizan monitoreos de concentración de plomo contenido en las

aereopartículas. Sin embargo no se realizan monitoreos de aereopartículas $PM_{2.5}$ ni el análisis de material orgánico adsorbida a las aereopartículas.

El monitoreo y análisis de los HAP's se encuentra establecido para Estados Unidos dentro del procedimiento denominado "TO-13A" creado por la USEPA donde se describe el método de referencia de análisis y determinación de HAP adsorbido en la materia particulada a través de la técnica de cromatografía de gases/ espectroscopia de masas. Este contempla el análisis de 19 HAP's los cuales se muestran en la tabla 4. 1.

Tabla 4. 1. Listado de HAP analizados a través del Método TO-13A de la USEPA

Acenafteno	Coroneno	Dibenz(a, h)antraceno
Acenaftileno	Fluoranteno	Fluoreno
Antraceno	Benzo(b)fluoranteno	Benz(a)antraceno
Indeno(1,2,3-cd)pireno	Benzo(a)pireno	Naphthalene
Benzo(e)pireno	Benzo(g,h,i)perileno	Fenantreno
Benzo(k)fluoranteno	Pireno	Criseno
Perileno		

Estudios realizados de monitoreos ambientales han demostrado que en períodos largos de monitoreo se pierden HAP's por arrastre y formación de derivados por la interacción con contaminantes gaseosos como el O_3 , NO_x , SO_x y el PAN durante el muestreo (Pitts, 1988). Por ello el monitoreo de compuestos orgánicos es, en su mayoría, realizado en equipos especiales donde se evite la interacción de agentes oxidantes a través de su retención por resinas o módulos de eliminación

En la selección de la colección de las aereopartículas depende directamente del tipo de filtro a emplear y su interacción con las sustancias adsorbidas, para que este sea elegido debe cumplir con lo siguiente (Bravo y Sosa, 1987):

- Ser inerte con las sustancias químicas de interés.
- Ser eficiente en la colección de partículas en el rango deseado.

Existen varios tipos de filtros de colección empleados para el monitoreo de aereopartículas, los filtros de Fibra de Vidrio (conocidos como FVFPST), este tipo de

filtros tienen un tamaño de poro de $30\mu\text{m}$, están clasificados para el monitoreo de aereopartículas PST tiene una eficiencia de colección de 94.1 a 99.9%. En el monitoreo de aereopartículas $\text{PM}_{2.5}$ se cuenta con una gama amplia de filtros de colección, existen filtros de cuarzo, fibra de vidrio, celulosa, etc., la selección del tipo de filtro a emplear está en función de dos aspectos: primero es el tipo de compuestos adsorbidos a las aereopartículas que se desea analizar por métodos analíticos y la interacción de los mismos con los componentes del filtro y segundo el tamaño de poro del filtro y su eficiencia de colección. (USEPA, 1997).

Para el monitoreo de aereopartículas $\text{PM}_{2.5}$ y los HAP's adsorbidos a las mismas se ha encontrado en monitoreos realizados por Villalobos (1998) que los filtros de Zefluór soportados en Politetrafluoruro de etileno "PTFE" (conocidos como ZFPM25) tienen una eficiencia de colección de aereopartículas $\text{PM}_{2.5}$ de 99.9%, así como muy baja interacción sobre los HAP's adsorbidos en las aereopartículas, permitiendo que puedan permanecer un periodo mayor de tiempo colectados en el filtro.

4.3 NORMATIVIDAD.

La Normatividad en México para el monitoreo de aereopartículas sólo se tiene para aereopartículas PST dentro de la Norma Oficial Mexicana **NOM-035-ECOL-1993** emitida por la Secretaría del Medio Ambiente (SMA) en la cual se menciona el procedimiento de monitoreo y calibración del equipo de monitoreo, así como las condiciones de operación y manejo de muestras. En el caso de las partículas $PM_{2.5}$ en Estados Unidos se encuentra normado por la “Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos” (USEPA por sus siglas en inglés) dentro del Código Federal CFR-40 parte 50 en el cual se establece el procedimiento de referencia para el monitoreo de partículas $PM_{2.5}$.

Tabla 4. 2.-Normatividad de Aereopartículas en México y E. U.

Tipo de contaminante	NORMATIVIDAD	ENTIDAD FEDERATIVA	REGLAMENTACIÓN
PST	NOM-035-ECOL-1993 (MEXICO)	SMA	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.
PST	NOM-024-SSA1-1993 (MEXICO)	SMA	“Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a las PST. Valor permisible para la concentración de PST en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población”.
PM_{10}	NOM-025-SSA1-1993 (MEXICO)	SMA	"Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas menores de 10 micras (pm_{10}). Valor permisible para la concentración de partículas menores de 10 micras (pm_{10}) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población”.
$PM_{2.5}$	40 CODE OF REGULATION- PART 50 APPENDIX L 1997	USEPA	“Método de Referencia Para la determinación de Materia Particulada Fina $PM_{2.5}$ en la Atmósfera”

La normatividad establecida en México para los límites de concentración máxima permisible se encuentra las siguientes:

- Para PST se establece dentro de la **NOM-024-SSA1-1993** una concentración máxima de $260\mu\text{g} / \text{m}^3$ en un periodo de 24 horas y un promedio anual máximo de $75\mu\text{g} / \text{m}^3$ para protección a la salud de la población susceptible.
- Para PM_{10} se establece dentro de la **NOM-025-SSA1-1993** una concentración máxima de $150\mu\text{g} / \text{m}^3$ en un periodo de 24 horas y un promedio anual máximo de $50\mu\text{g} / \text{m}^3$.

En México no se tiene una normatividad de límites de concentración para $\text{PM}_{2.5}$. La USEPA establece dentro del 40-CFR PART 50 los límites máximos permisibles siendo de $65\mu\text{g} / \text{m}^3$ para un periodo de 24 horas y $15\mu\text{g} / \text{m}^3$ de promedio anual (USEPA, 1997).

Con respecto a los HAP's no existe normatividad para sus límites máximos permisibles de forma general; sin embargo, debido a la importancia de estos contaminantes, en Estados Unidos se ha establecido en diferentes Estados para algunos de ellos límites en el aire ambiente anuales, estos se muestran en la Tabla 4. 3 (Sitting, 1994).

TABLA 4. 3. Límites de HAP's en el aire establecidos para algunos sitios de los Estados Unidos de América.

Hidrocarburo Aromático Policíclico	Límite en el aire ambiente (ng/m^3 anual)	Lugar en Estados Unidos de América	Referencia
Fenantreno	1,300.00	Vermont	NATICH(1992)
Fluoranteno	60.00	Louisiana	NATICH(1992)
Pireno	3,400.00	Vermont	NATICH(1992)
Criseno	50.00	Texas	NATICH(1992)
Benzo(a)pireno	0.57	Arizona	NATICH(1992)
	2.00	Pensilvania	TACB(1992)
Dibenzo(ah)antraceno	0.57	Arizona	NATICH(1992)
	0.071	Florida	

Fuente: Sitting, 1994.

4.4 MONITOREO ATMOSFERICO DE AEREOPARTICULAS Y HAP.

Los monitoreos de aereopartículas se han realizado en diferentes puntos del mundo, algunos de ellos se mencionan a continuación:

En la ciudad de Córdoba, Argentina, en 1998 se llevó a cabo un estudio de aereopartículas PST y PM₁₀ a través de monitoreo con equipos HI-VOL por períodos de 24 horas cada 6 días, se analizó el material adsorbido a las aereopartículas utilizando una extracción por Soxhlet y una combinación de Diclorometano y Hexano como disolventes de extracción. Se realizó la separación de los 3 tipos de compuestos extraídos en polares, no polares y la fracción de HAP's por cromatografía en columna usando sílica gel como agente de separación. Específicamente se analizaron 7 HAP's a través de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), siendo el Benzo(a)antraceno, Criseno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Benzo(g,h,i)perileno, Indeno(1,2,3-c,d)pireno, se encontró que los niveles de concentración estaban por debajo de la media de ciudades similares en distintas partes del mundo, alcanzando máximos de 1.8 ng/m³ en promedio, el Benzo(g,h,i)perileno fue el HAP con mayor concentración, lo que indica que la fuente principal de emisión son las fuentes móviles como automóviles y vehículos de carga pesada que emplean diesel (Sbarato, 1998).

En la Ciudad de los Ángeles, California (E. U.) se realizó el monitoreo de aereopartículas ultrafinas en la cercanía de las autopistas donde había gran tránsito de vehículos de combustible diesel. Se comprobó que la velocidad y dirección del viento son importantes para la dispersión de las aereopartículas emitidas por los automóviles en las autopistas. Se encontró además que la dilución atmosférica y los fenómenos de coagulación de aereopartículas juegan un papel importante en la disminución rápida de su concentración (Nielsen, Feilberg y Binderup, 1999).

Houk en 1989 estableció que a través de la relación entre aereopartículas PST y PM₁₀ se puede determinar las principales fuentes de emisión, en el caso de un factor PM₁₀ / PST menor a 0.5 indica que el origen son la tierra, pavimento o material geológico, en el caso de

una relación alta de 0.70 a 0.95 se determina que la fuente de emisión pertenece a fuentes de combustión cercanas al punto de monitoreo.

En el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM se han llevado a cabo monitoreos de aereopartículas utilizando equipos HI -VOL. En 1993 se realizó un monitoreo dentro de la estación del Pedregal de San Ángel al Suroeste del D. F. de aereopartículas PST y PM₁₀ junto con ello se llevó a cabo la detección y cuantificación de 10 HAP's a través de la técnica de cromatografía de gases – espectrometría de masas (GS-MS). Las concentraciones anuales promedio de ambas aereopartículas rebasaron los límites permitidos por las normas mexicanas. También se observó que la concentración de aereopartículas era afectada por las condiciones meteorológicas, siendo la Humedad Relativa la más importante, se observó que en época estacional de secas hubo mayor concentración que en la temporada de lluvias, lo que indica que la lluvia actúa como agente depurador de este tipo de aereopartículas. En este estudio se encontró la presencia de 9 HAP en ambos tipos de partículas, con una concentración promedio anual de $8.1 \pm 3.6 \text{ ng / m}^3$ en PST y $11.6 \pm 4.7 \text{ ng / m}^3$ en PM₁₀, encontrando con ello que las fuentes de emisión para esta zona son fuentes vehiculares. (Amador *et al.* 2001).

En E. U. se ha realizado monitoreos usando muestreadores IOVPS basados en la tecnología “Annular denuder” (anillos concéntricos), utilizando también resina adsorbente conocida como XAD-4 para la determinación directa de las distribuciones de fase de los HAP semivolátiles. Se realizaron evaluaciones para varias condiciones de velocidad de flujo del IOVPS para la obtención de concentraciones y distribuciones de fase de varios HAP's semi-volátiles en el aire interior y el humo de tabaco ambiental. Se encontró que esta resina es eficiente y utilizando otras resinas como la “Tenax -GC” pueden ser empleada para el monitoreo de nitroHAP's y algunos pesticidas. El IOVPS es también una contribución importante para los estudios de dosimetría pulmonar porque la deposición, captación de tóxicos y especies carcinogénicas en el sistema respiratorio humano depende de las distribuciones de fase de los compuestos así como su grado de adsorción sobre las aereopartículas. (USEPA, 2000).

Las siguientes tablas muestran algunos niveles de concentración encontrados en diferentes partes del mundo de Benzo(a)pireno y de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos a través del monitoreo de aereopartículas.

TABLA 4. 4. Valores de concentración de Benzo(a)Pireno en el aire reportados en diferentes sitios del mundo.

Medio / procedencia	País	Valor
Aire urbano (Berlín, smog, 1980-82)	Alemania	8-92 ng/m ³
Áreas poco contaminadas (1981)	Alemania	1,3-1,4 ng/m ³
Áreas no contaminadas (1981)	Alemania	< 0,11-0,52 ng/m ³
Precipitaciones urbanas (1979/80)	Alemania	1,8-3,6 ng/m ³ (media anual)
Precipitaciones urbanas (1979/80)	Alemania	0,30-15 ng/m ³ (media mensual)
Agua de lluvia (Los Angeles, 1982)	EEUU	<2-115 ng/l
Neblina (Bosque de Franconiaz, 1983)	Alemania	260-880 ng/l (n=3)
Polvo (Área del Ruhr, 1970-75)	Alemania	50-100 ng/l
Lugar de trabajo	Canadá	0,04-43 mg/m ³
Aire en ambiente lleno de humo	EEUU	22 ng/m ³

Fuente: Kertesz, 1984.

Tabla 4. 5. Concentraciones promedio (en ng / m³) de HAP's observadas en Birmingham, Reino Unido, durante estaciones de verano e invierno en 1992

Compuesto	Sitio urbano		Sitio rural
	Verano	Invierno	Verano
Acenafteno	13.50	4.23	0.81
Acenaftileno	15.40	2.72	0.66
Antraceno	4.49	0.61	0.17
Benzo(a)antraceno	5.59	0.34	0.08
Benzo(a)pireno	0.81	0.25	0.06
Benzo(b)Fluoranteno	2.15	0.38	0.14
Benzo(g,h,i)perileno	1.97	0.76	0.21
Coroneno	1.03	0.27	0.06
Dibenz(a,h)antraceno	0.83	0.07	0.03
Fluoranteno	12.40	2.11	0.41
Fluoreno	13.70	7.00	2.02
Indeno[1,2,3-cd]Pireno	1.96	0.42	0.11
Naftaleno	13.2	1.87	0.34
Fenantreno	24.1	3.84	0.60
Pireno	38	3.33	1.00

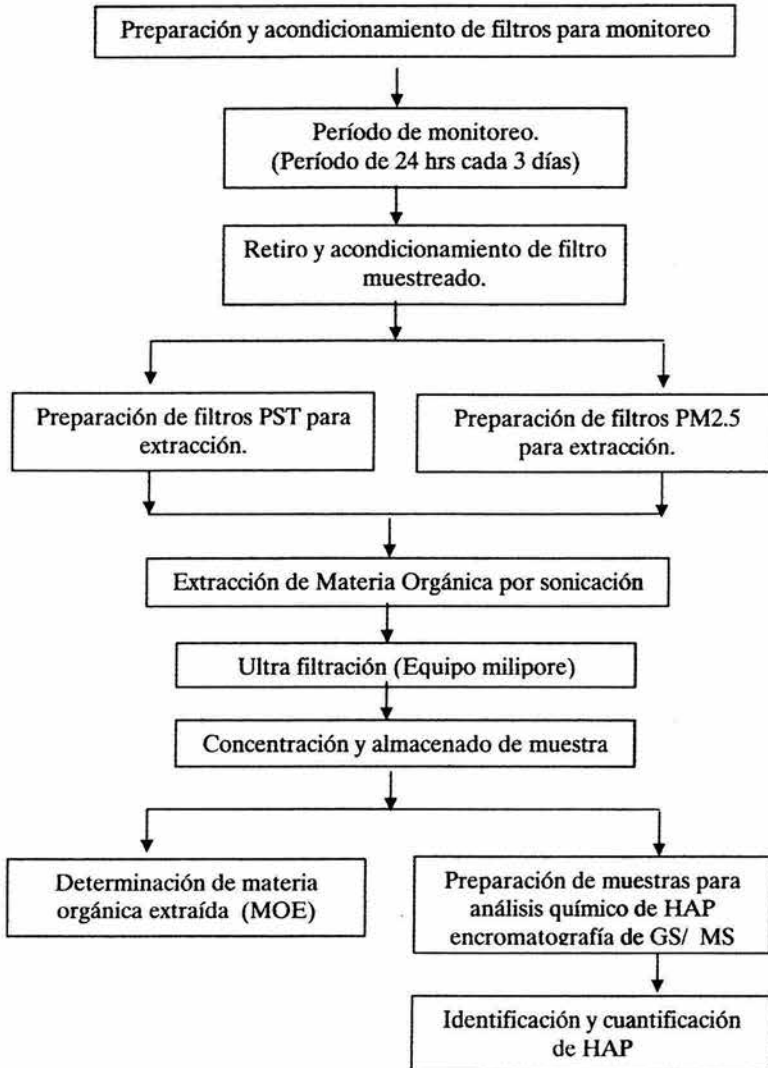
Fuente: RIPPEN, 1989.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La figura 1 muestra el procedimiento general de muestreo de aereopartículas PST y $PM_{2.5}$, determinación de Materia Orgánica Extraída (MOE), así como identificación y cuantificación de HAP's.

El monitoreo de aereopartículas PST se realizó utilizando el equipo HI -VOL, este procedimiento está basado en lo estipulado por la NOM-035-ECOL-1993 para monitoreo de aereopartículas utilizando el equipo HI -VOL. En el caso de $PM_{2.5}$ se empleó el equipo "IOPVS" empleando el procedimiento de preparación de filtros y monitoreo estipulado por la CFR 40 PART 50 Apéndice L junto con las condiciones de operación del equipo mencionadas por el proveedor del equipo (URG Corporation). Para ambos monitoreos se llevó a cabo la misma secuencia de trabajo realizando los monitoreos cada 3 días iniciando a las 0:00 horas y culminando a la misma hora del día siguiente, con un período de monitoreo de 24 horas, ambos monitoreos se realizaron de forma simultánea.

Figura 1. Procedimiento general experimental.



Los pasos experimentales se explican a continuación:

PREPARACIÓN DE FILTROS PARA MONITOREO EN HI-VOL Y EN IOPVS.

Filtros para monitoreo en PST:

La preparación previa al monitoreo de los filtros PST se realizó de la siguiente manera:

- El equipo PST (HI- VOL) emplea filtros de Fibra de vidrio rectangulares de 20.32 x 25.4 cm aproximadamente, retiene partículas hasta de 30 μ m de diámetro, el manejo y uso de este tipo de filtros se menciona dentro de la NOM-035-ECOL-1993, MEXICO.
- Previo al monitoreo los filtros son preparados envolviendo una cierta cantidad (alrededor de 5) dentro de papel aluminio, del lado de la cara opaca, procurando no maltratar o tocar los filtros directamente con las manos directamente por lo que se debe usar guantes de algodón y pinzas para evitar contaminación.
- Los filtros se introducen dentro del horno en un período mínimo de 24 horas a 220° C. Al término de este tiempo se preparan para su estabilización previa al muestreo.

Filtros para monitoreo en PM_{2.5}:

La preparación previa al monitoreo de los filtros 2.5 se realizó de la siguiente manera:

- El equipo IOPVS emplea una diversa variedad de filtros de diferente composición, en este caso se emplearon filtros de Ze- Flúor soportado sobre Politereftalato (PTFE) marca "German Sciences" de 47mm de diámetro capaces de retener partículas con diámetros hasta 0.5 μ m, este tipo de filtro se recomienda debido a que no interaccionan con los HAP y tienen una alta efectividad en retención del material particulado.
- Se introduce una cantidad de filtros de Ze -Flúor (entre 10 a 15) dentro del equipo soxhlet (Ver Fig. 2), aquí se lleva a cabo un proceso de extracción con diclorometano para extraer impurezas que puedan contener, este procedimiento debe tener una duración de 16 horas.
- Posterior al proceso de extracción se retiran los filtros, se deja evaporar los residuos de diclorometano y se guardan para su estabilización dentro de cajas petri.

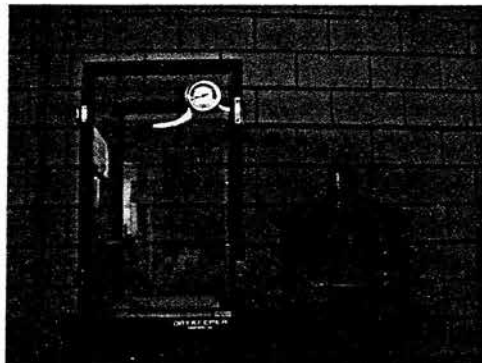
Figura 2. Equipo soxhlet para extracción con Diclorometano en preparación de filtro de Ze- Flúor para monitoreo de $PM_{2.5}$)



ESTABILIZACIÓN DE FILTROS.

En ambos casos, para PST y $PM_{2.5}$, la estabilización de los filtros se realiza colocándolos dentro de desecadores a condiciones de temperatura y humedad estables, éstas no deben ser mayores a $30^{\circ}C$ y una humedad por debajo del 30%. Los filtros de $PM_{2.5}$ se guardan en cajas petri, (ver figura 3) mientras que los filtros de PST se colocan dentro del desecador especial (ver figura 3), estos deben estar un período mínimo de 24 horas dentro del desecador antes del monitoreo.

Figura 3.- Desecadores para estabilización de filtros. A la izquierda se presenta el desecador de filtros para PST, a la derecha se encuentra el desecador de filtros para $PM_{2.5}$.



COLOCACIÓN DE FILTROS.

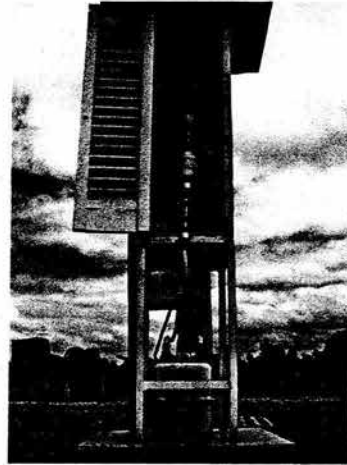
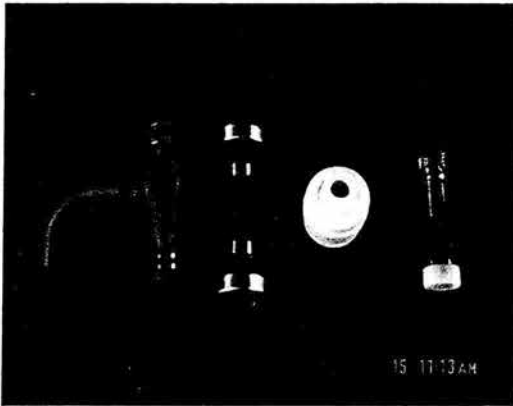
PST

- El filtro de fibra de vidrio para monitoreo de PST es pesado antes de ser colocado procurando no dejar expuesto el filtro al ambiente durante un tiempo prolongado en el pesado ya que absorbe humedad del ambiente ocasionando error de medición.
- Una vez pesado el filtro es lleva al equipo HI- VOL para ser colocado, procurando evitar el maltrato del mismo y evitar cualquier contacto directo con las manos, por lo cual se emplearan pinzas y guantes.
- El filtro es montado en el marco ubicado en la parte superior del equipo, éste se retira desatornillando en forma diagonal y se retira la placa. El filtro es colocado con la parte más rugosa hacia arriba.

PM_{2.5}

- El equipo IOPVS cuenta con un módulo desmontable que se divide en 4 secciones: **Ciclón, Módulo de eliminación de ozono, Porta filtro y Tubo de vidrio.** (Véase Figura 4. A)
- Todas las partes deberán limpiarse con acetona. En el caso del módulo de anillos concéntricos se realiza un enjuague con solución de Yoduro de Potasio (KI) al 10% en peso para eliminar el ozono del aire monitoreado.
- El filtro se coloca por medio de pinzas sin tocarlo dentro de la unidad portafiltro, posterior a ello se conectan todos las partes, una vez listo éste se coloca en el módulo para monitoreo. (Fig. 4. B).

Figura. 4. A) Partes del equipo "IOPVS". B) Equipo armado para monitoreo en el módulo para monitoreo.



Los filtros muestreados se colocan dentro de los desecadores, estos deberán permanecer por un período mínimo de 24 horas (Figura 3). Posteriormente se pesan los filtros, se reporta el peso, la temperatura y la humedad, así como la fecha de muestreo de cada uno.

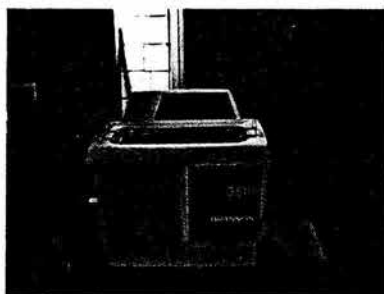
PREPARACION DE FLTROS PARA EXTRACCION.

Cada filtro es colocado dentro de un matraz Erlenmeyer de 250ml previamente sometido a proceso de eliminación de material orgánico (Véase el Apéndice C); en el caso de los filtros de monitoreo de $PM_{2.5}$ se agregan 30 ml. de diclorometano (DCM) y para PST 70 ml. Los matraces son tapados con papel aluminio para evitar evaporación del disolvente usando la cara opaca del papel.

EXTRACCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.

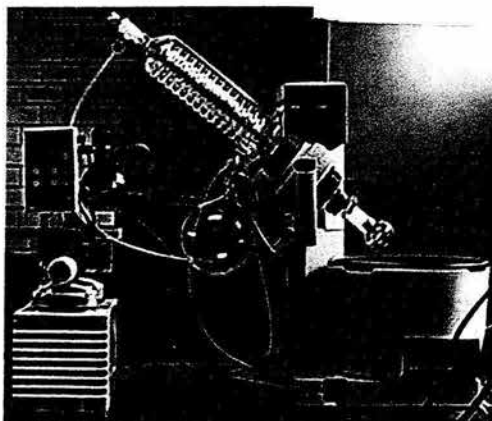
Los filtros preparados para extracción se colocan dentro del equipo sonicador (Ver Figura 5). El tiempo de sonicación para cada muestra es de 30 minutos por triplicado (con un total de 90 minutos), pasado este tiempo los matraces son retirados del sonicador, el disolvente es retirado y colocado dentro de un matraz bola de fondo plano, agregando nuevamente disolvente al matraz con el filtro, continuando la sonicación.

Figura 5. Equipo sonicador “Branson”.



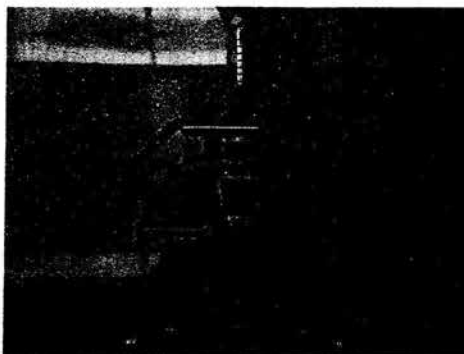
En cada filtro se realizan 3 cambios de disolvente obteniendo con ello el extracto orgánico dentro del matraz bola. Este se coloca en el equipo Rotavapor Büchi (Ver Figura 6) donde se lleva a cabo una reducción del disolvente. El volumen final deberá ser de aproximadamente 10 ml. Una vez obtenido el volumen deseado se lleva el extracto al proceso de ultrafiltración usando el equipo “Milipore” (Ver Figura 7) el cual retira material sólido no disuelto usando filtros de “Fluoropore”. Al realizar el vaciado se hacen tres enjuagues con DCM limpio para evitar pérdida de materia orgánica.

Figura 6. EQUIPO ROTAVAPOR "BÜCHI B-490".



La muestra filtrada se pasa al matraz bola realizando tres enjuagues con DCM colocándolo en el rotavapor por segunda vez, en este caso el volumen es llevado hasta 1 o 2 ml aproximadamente. Finalmente, éste es el extracto de materia orgánica extraída, el cual se coloca dentro de viales de 4 ml., usando pipetas pasteur, cada uno se etiqueta y se almacena dentro del congelador. Los filtros extraídos de Fibra de vidrio y Ze - Fúor junto con el Fluoropore empleado se colocan dentro de papel aluminio y se almacenan en el congelador.

Figura 7. EQUIPO MILIPORE DE ULTRAFILTRACION.



PROCEDIMIENTO DE DETERMINACION DE LA MATERIA ORGÁNICA EXTRAIDA (MOE).

Este procedimiento consiste en secar la muestra y retirar el DCM por medio de arrastre de vapor, siendo el nitrógeno el agente de arrastre, dejando solamente la materia orgánica en estado sólido determinando su concentración por gravimetría.

A continuación se explican las etapas del procedimiento:

1. Las muestras deben haberse mantenido bajo refrigeración en un período mínimo de 24 horas.
2. Se pesa un vial limpio de 2ml en el cual será colocada la alícuota de extracto de la muestra, este vial no debió ni deberá ser manipulado directamente con las manos.
3. Se prende y calibra la balanza hasta obtener una variación de +/- 0.01mg.
4. Del tubo de aforo se toma una alícuota de la muestra con microjeringa. Para muestras de PST se tomarán 200 μL y para PM_{2.5} 500 μL . Este volumen se colocará dentro de los viales de 2 ml. previamente pesados. (Véase Figura 8).
5. Se coloca el vial en el sistema de secado, se abre el paso de Nitrógeno y se aplica un flujo pequeño tal que solamente la superficie del líquido se mueva,
6. Se elimina totalmente el disolvente de la muestra hasta dejar sólo la MOE. Este punto se identifica cuando no se observa líquido y se ven pequeños cristales en el fondo del vial.
7. Posteriormente los viales se pesan nuevamente y se registra la lectura de peso.
8. Finalmente la MOE es resuspendida en diclorometano y se regresa al vial inicial de 4 ml.

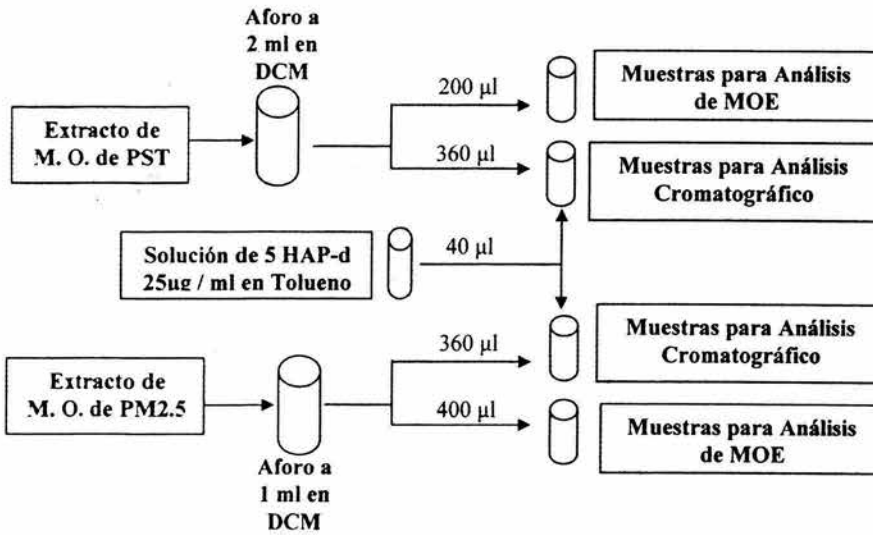
TÉCNICA EXPERIMENTAL PARA ANALISIS DE HAP'S POR MEDIO DE CROMATOGRAFIA DE GASES / ESPECTROSCOPIA DE MASAS (GS-MS).

Una vez obtenidas las muestras aforadas a 1ml con DCM se toman dos alícuotas diferentes, la primera de 200 μ l en PST y de 400 μ l en PM_{2.5} para la determinación de MOE mientras que la segunda alícuota de 360 μ l se utiliza para la detección y cuantificación de HAP en GS-MS.

A continuación se prepara una solución estándar de 5 HAP "Deuterados" los cuales son: D₈-Naftaleno, D₁₀-Acenafteno, D₁₀-Fenantreno, D₁₂-Criseno y D₁₂-Perileno a partir de un estándar de 250 μ g/ml en Tolueno, una característica es que son inertes al extracto orgánico y tienen como objetivo obtener los tiempos de retención relativos y predecir con mayor exactitud la detección de los compuestos. Posteriormente se extrae una alícuota de 500 μ l de la solución de HAP deuterados y se afora en un matraz de 5ml con Tolueno. A cada una de las alícuotas de las muestras se le agrega 40 μ l de solución estándar y se homogeniza (Ver figura 8). Posterior a ello se almacenan en viales de 2ml con cepta de Teflón[®] y se mantienen bajo refrigeración antes del análisis.

Se realizó el análisis de 27 HAP's desde Indeno hasta Coroneno en un equipo de Cromatografía de Gases acoplado a un Espectrómetro de Masas (GS-MS), las condiciones de operación se especifican dentro del TO- 13A para detección y cuantificación de HAP's. Las muestras son homogeneizadas y se inyectan en el equipo, el gas de acarreo utilizado fue Helio de alta pureza, se empleó una columna capilar al 5% de fenil y 95% polidimetilsiloxano afin a las especies de mayor peso molecular marca SUPELCO, con una rampa de temperatura hasta un máximo de 310 °C., la inyección de la muestra fue sin división (Muestra total), a excepción de las muestras de PST las cuales fue dividida a un 50% (Split). El método seleccionado para la detección es el Método de ión selectivo (SIM) comparando los tiempos de retención absolutos con la de los iones formados por el proceso de ionización en el espectrómetro de masas. La identificación de los HAP's fue obtenida por el espectro y el tiempo de retención del compuesto, mientras que la cuantificación fue obtenida a partir de la integración del área bajo las curvas del ión respectivo.

Figura 8. Distribución de volúmenes del extracto orgánico para determinación de MOE y Análisis de HAP's.



PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

CÁLCULOS PARA CONCENTRACIÓN DE AEREOPARTÍCULAS PST

- Para determinar la masa de PST colectada se emplea la siguiente ecuación:

$$\Delta g = PF - PI.$$

Donde:

Δg : es el peso de la muestra colectada dada por la diferencia en peso del filtro antes y después de monitoreo en μg .

PF: es el peso del filtro después del monitoreo y sin humedad (estabilizado).

PI: es el peso del filtro antes del monitoreo.

- Para determinar el flujo de monitoreo a condiciones Estándar (STD) se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{STD} = Q_{REAL} * (P_{atm} / P_{ref}) * (T_{ref} / T_{monitoreo}).$$

Donde:

Q_{STD} : Flujo Estándar de monitoreo en m^3/min .

Q_{REAL} : Flujo de monitoreo real en m^3/min .

P_{atm} : Presión atmosférica a las condiciones de operación en mmHg (Presión en la Ciudad de Méx.).

P_{ref} : Presión atmosférica de referencia (760mmHg).

T_{ref} : Temperatura de referencia (25°C).

$T_{monitoreo}$: Temperatura promedio de monitoreo (°C).

- Para obtener el volumen de aire muestreado a condiciones estándar es:

$$V_{STD} = Q_{STD} * 60 * \Delta\theta$$

Donde:

V_{STD} = Volumen de aire muestreado en m^3

$\Delta\theta$ = Diferencia del Timer del equipo HI-VOL al inicio y al final del monitoreo.

- La concentración de PST estándar (STD) se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_{PST\ STD} = \Delta g / V_{STD} \quad [\text{dado en } \mu\text{g} / \text{m}^3]$$

CÁLCULOS PARA CONCENTRACIÓN DE AEREOPARTÍCULAS $PM_{2.5}$

- Para determinar la masa de $PM_{2.5}$ colectada se emplea la siguiente ecuación:

$$\Delta g = PF - PI.$$

Donde:

Δg : es el peso de la muestra colectada dada por la diferencia en peso del filtro antes y después de monitoreo en μg .

PF: es el peso del filtro después del monitoreo y sin humedad (estabilizado) en μg .

PI: es el peso del filtro antes del monitoreo en μg .

- Para calcular el Volumen de aire monitoreado a condiciones estándar (STD) es:

$$V_{STD} = \Delta TM / 1000 * (P_{atm} / P_{ref}) * (T_{ref} / T_{monitoreo})$$

Donde:

V_{STD} = Volumen de aire muestreado a condiciones estándar (STD) en m^3

ΔTM : Diferencia de Timer del equipo al inicio y al final del monitoreo

P_{atm} : Presión atmosférica a las condiciones de operación en mmHg
(Presión en la Ciudad de Méx.).

P_{ref} : Presión atmosférica de referencia (760mmHg).

T_{ref} : Temperatura de referencia (25°C).

$T_{monitoreo}$: Temperatura promedio de monitoreo (°C).

- Para determinar el flujo de monitoreo Estándar (STD) se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{STD} = V_{REAL} * (P_{atm} / P_{ref}) * (T_{ref} / T_{monitoreo}) / (60 * \theta m)$$

Donde:

Q_{STD} : Flujo Estándar de monitoreo en m^3/min .

Q_{REAL} : Flujo de monitoreo real en m^3/min .

P_{atm} : Presión atmosférica a las condiciones de operación en mmHg (Presión en la Ciudad de Méx.).

P_{ref} : Presión atmosférica de referencia (760mmHg).

T_{ref} : Temperatura de referencia (25°C).

$T_{monitoreo}$: Temperatura promedio de monitoreo (°C).

θ_m : Tiempo de monitoreo registrado en Horas.

- La concentración de $PM_{2.5}$ estándar (STD) se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_{PM_{2.5} STD} = \Delta g / V_{STD} \quad [\text{dado en } \mu g / m^3]$$

DETERMINACIÓN DEL IMECA PARA PST.

Para determinar el valor IMECA en PST se emplea las siguientes ecuaciones:

1. $I_{PST} = 0.384615 * C_{PST}$
2. $I_{PST} = 0.540540 * C_{PST} - 40.540541$

La primera ecuación se emplea para concentraciones de PST ($C_{PST STD}$) en un rango de 0 a $260 \mu g / m^3 STD$, la segunda ecuación se emplea para concentraciones entre 260 hasta $1000 \mu g / m^3 STD$.

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE DETERMINACION DE MOE.

La determinación de la MOE se realiza en ambos casos de la misma forma, el procedimiento se muestra a continuación:

- Para determinar la MOE extraída se calcula como:

$$M_{MOE} = V_{aforo} * \Delta g_m / V_{evaporado}$$

Donde:

M_{MOE} : Concentración de MOE de la muestra total expresada en mg / ml.

V_{aforo} : Volumen de aforo de la muestra obtenida del proceso de extracción.

Δg_m : Diferencia de peso del vial vacío y después de evaporar la alícuota de muestra

$V_{evaporado}$: Volumen de la alícuota tomada de la muestra aforada.

- Para determinar la concentración de MOE estándar extraída del monitoreo se calcula como:

$$C_{MOE\ STD} = M_{MOE} * 1000 / V_{STD}$$

Donde:

$C_{MOE\ STD}$ = Concentración de MOE total contenida en la aereopartículas PST ó $PM_{2.5}$ expresada en $\mu g / m^3$

V_{STD} = Volumen de monitoreo a condiciones estándar en m^3 .

- Para determinar el porcentaje de MOE con respecto a la concentración total de aereopartículas se calcula como

$$\%MOE = 100 - \left(\frac{C_{MOE-STD}}{C_{Aereopartícula-STD}} * 100 \right)$$

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LA CONCENTRACION DE HAP's.

En la determinación de la concentración de los HAP's encontrados en las aereopartículas se calcula de la siguiente manera:

Dentro del equipo de cromatografía / espectroscopia de masas (GS- MS) se inyectan muestras preparadas con alícuotas de la muestra con un volumen total de $400\mu l$ ($360\mu l$ de muestra y $40\mu l$ con la solución de 5 HAP-d).

- Para determinar la concentración de los HAP's detectados por el equipo GS- MS se calcula como:

$$C_{HAP} = C_{HAP-EQ} - C_{HAP-BLANCO} / V_{MONITOREO\ STD}$$

Donde:

C_{HAP} : Concentración de HAP en la muestra total expresada en ng / m^3_{STD} .

C_{HAP-EQ} : Concentración de HAP reportado por el equipo GS- MS expresada en ng / ml .

$C_{HAP-BLANCO}$: Concentración de HAP encontrado en el filtro blanco aplicable a la muestra expresada en ng / ml (datos en el Apéndice B).

$V_{MONITOREO\ STD}$: Volumen de monitoreo a condiciones estándar.

COEFICIENTE DE CORRELACION.

El coeficiente de correlación simple (r) es empleado para relacionar dos variables dadas en matrices de datos y determinar la relación entre ambas, así como su dependencia entre sí. Su valor se encuentra entre $0 \leq r \leq 1$. La diferencia existente entre la correlación multivariable(p) y la simple (r) reside en que se toman en cuenta la influencia de diversas variables independientes sobre una dependiente, caso contrario de la simple, donde se toma en cuenta solo una variable independiente.

RESULTADOS

Los datos arrojados en esta tesis involucran los siguientes puntos:

- a) Concentraciones de Aereopartículas en el período de Enero hasta Octubre del 2002 para PST y de Enero a Diciembre del 2002 para $PM_{2.5}$.
- b) Cuantificación de MOE para PST y $PM_{2.5}$.
- c) Identificación y cuantificación de HAP adsorbido a las aereopartículas PST y $PM_{2.5}$.
- d) Comportamiento mensual y anual de concentración de PST y $PM_{2.5}$, MOE y HAP's, así como el análisis estadísticos de cada uno.
- e) Correlación entre Concentración de aereopartículas vs. MOE y HAP's y entre ambos tipos. Así como la correlación entre variables metereológicas (Humedad, Temperatura y Velocidad del viento)

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

a) Cuantificación de Concentraciones de PST y PM_{2.5}.

Los períodos de muestreo abarcaron tanto la época de secas (Enero a Mayo y Octubre a Diciembre) y la época de lluvias (Junio a Septiembre), en estos se reportan los resultados por promedio anuales y mensuales. Se eliminaron aquellas muestras donde el monitoreo se realizó de manera inadecuada.

Los monitoreos invalidados de PST fueron 5, tres en Enero y dos en Febrero, estos se descartaron debido a que los tiempos de monitoreo fueron mayores a 24 horas. El monitoreo de PM_{2.5} no registró ningún monitoreo eliminado ya que todos fueron realizados dentro de los parámetro adecuados de operación y procedimiento.

El equipo HI- VOL se calibró 2 veces en todo el período de monitoreo debido a mantenimiento y modificaciones técnicas del equipo, los datos obtenidos se indican en el apéndice B. Para el equipo IOPVS se llevó una carta control de flujo de monitoreo, esta indica que los monitoreos fueron realizados dentro del rango de flujo aceptado para la operación adecuada de equipo. Junto con ello dentro del apéndice B se muestra las cartas control de monitoreo y la carta de pesado para los filtros de Zeflúor del equipo IOPVS para determinar el porcentaje de variabilidad en el pesaje de los filtros.

b) Determinación de MOE.

Se determinó en los extractos de los monitoreos realizados la cuantificación de MOE tomando alícuotas de 400µl para muestras de PM_{2.5} y 200µl para PST utilizando el proceso de secado por arrastre de vapor. En el caso de las determinaciones de MOE en PST no se realizó para la muestra especial del 16 de Mayo debido a que se tomó para un estudio alterno. En el caso de PM_{2.5} todas las muestras obtenidas de los monitoreos se realizó la determinación de MOE.

c) Identificación y cuantificación de HAP.

El procedimiento de preparación de muestra para el análisis en el equipo de GS-MS se realizó simultáneamente con la determinación de MOE, esto para evitar error por pérdida

de disolvente, en el caso de PST se realizó la determinación de HAP a todas las muestras que se realizó la determinación de MOE. En el análisis de $PM_{2.5}$ se eliminaron 10 muestras las cuales se presentan en la tabla II-A del Apéndice B debido a que se sospechó la existencia de contaminación de las muestras preparadas para inyección.

En la validación de datos obtenidos se realizó los registros de filtros blancos, la determinación del porcentaje de pérdida de MOE por el proceso de secado de arrastre de vapor a través del procedimiento de acumulados, y la determinación del porcentaje de recuperación de 17 HAP's utilizando el estándar 1649^a elaborado por NIST empleando la misma técnica de extracción, estos valores se muestra dentro del apéndice B. Cada HAP fue detectado empleando el procedimiento de estándar interno tomando en cuenta el tiempo de retención relativo (TRR) para cada uno con respecto al estándar HAP "Deuterado" descrito dentro del procedimiento "TO - 13" de la EPA, el proceso y listado de identificación se describe dentro del apéndice B.

e) Datos meteorológicos.

Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (R. A. M. A.) del Distrito Federal; se tomaron los datos de la estación "Hangares" debido a la cercanía con el sitio de monitoreo, estos eran reportados por hora, por lo que para el día de monitoreo se obtuvo la media aritmética ó la tabla de frecuencia.

Las variables obtenidas fueron: Temperatura, Humedad Relativa, Velocidad del viento y Dirección del viento, en las 3 primeras se obtuvo el promedio, en el caso especial de la velocidad y dirección del viento se obtuvo también el intervalo predominante a través de la distribución de frecuencia de los datos. Para la obtención de datos mensuales y anual se tomo únicamente los datos meteorológicos de los días de monitoreo.

En las tablas R. 1 y R.2 se muestran los datos experimentales obtenidos de los monitoreos de aereopartículas PST y PM_{2,5} respectivamente, así como sus valores estadísticos anuales.

Tabla R. 1.- Valores estadísticos de concentración de PST anual obtenido durante el periodo 2002.

	# Monitoreos	Media Anual $\mu\text{g} / \text{m}^3\text{-año}$	Desviación Estándar	Error Estándar	Máximo Registrado $\mu\text{g} / \text{m}^3\text{-año}$	Mínimo Registrado $\mu\text{g} / \text{m}^3\text{-año}$	Límite Promedio Máximo Anual permitido $\mu\text{g} / \text{m}^3\text{-año}$
PST	66	126.76	62.65	7.60	309.9	26.06	75

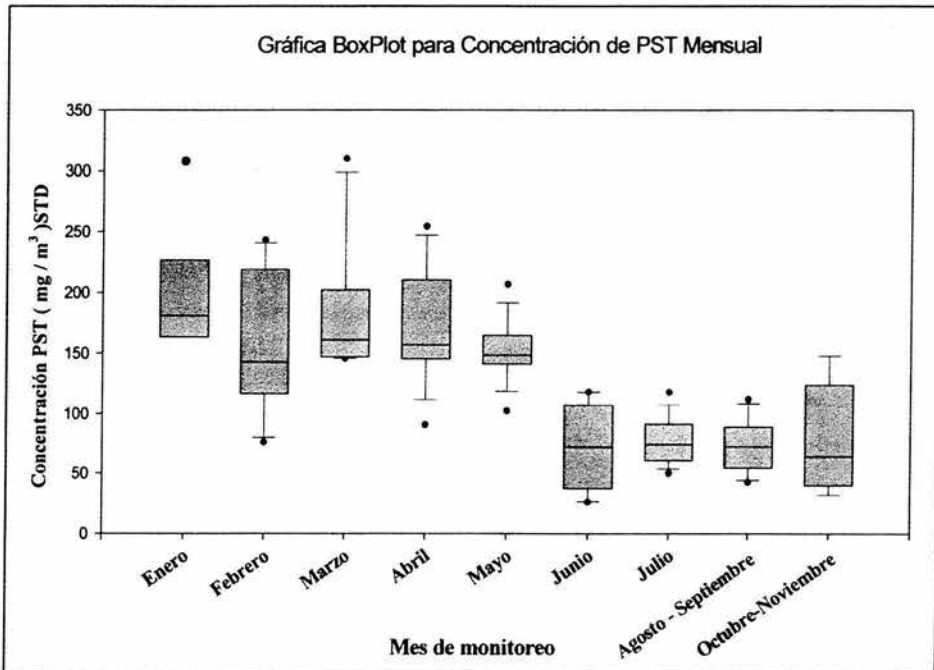
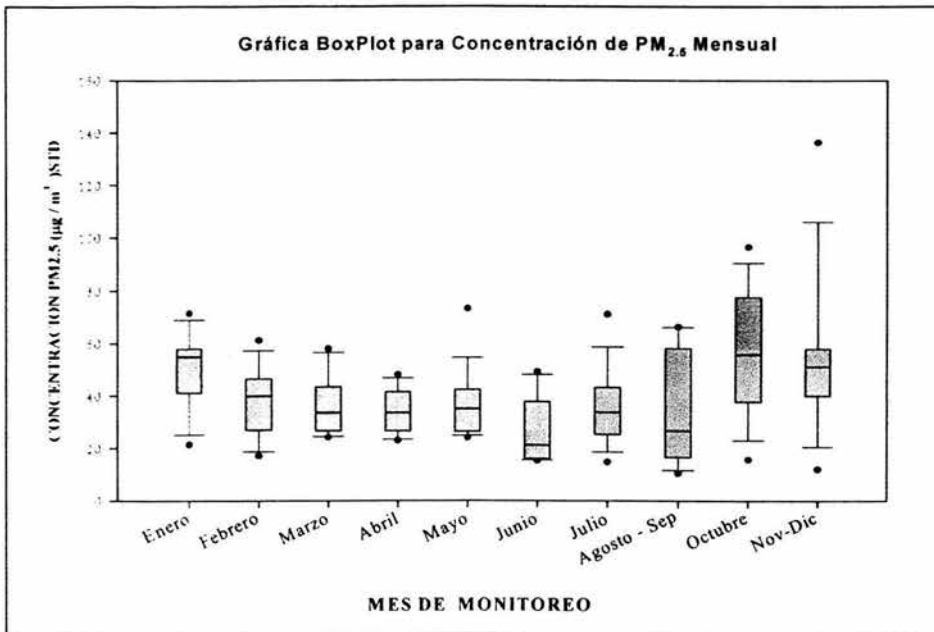
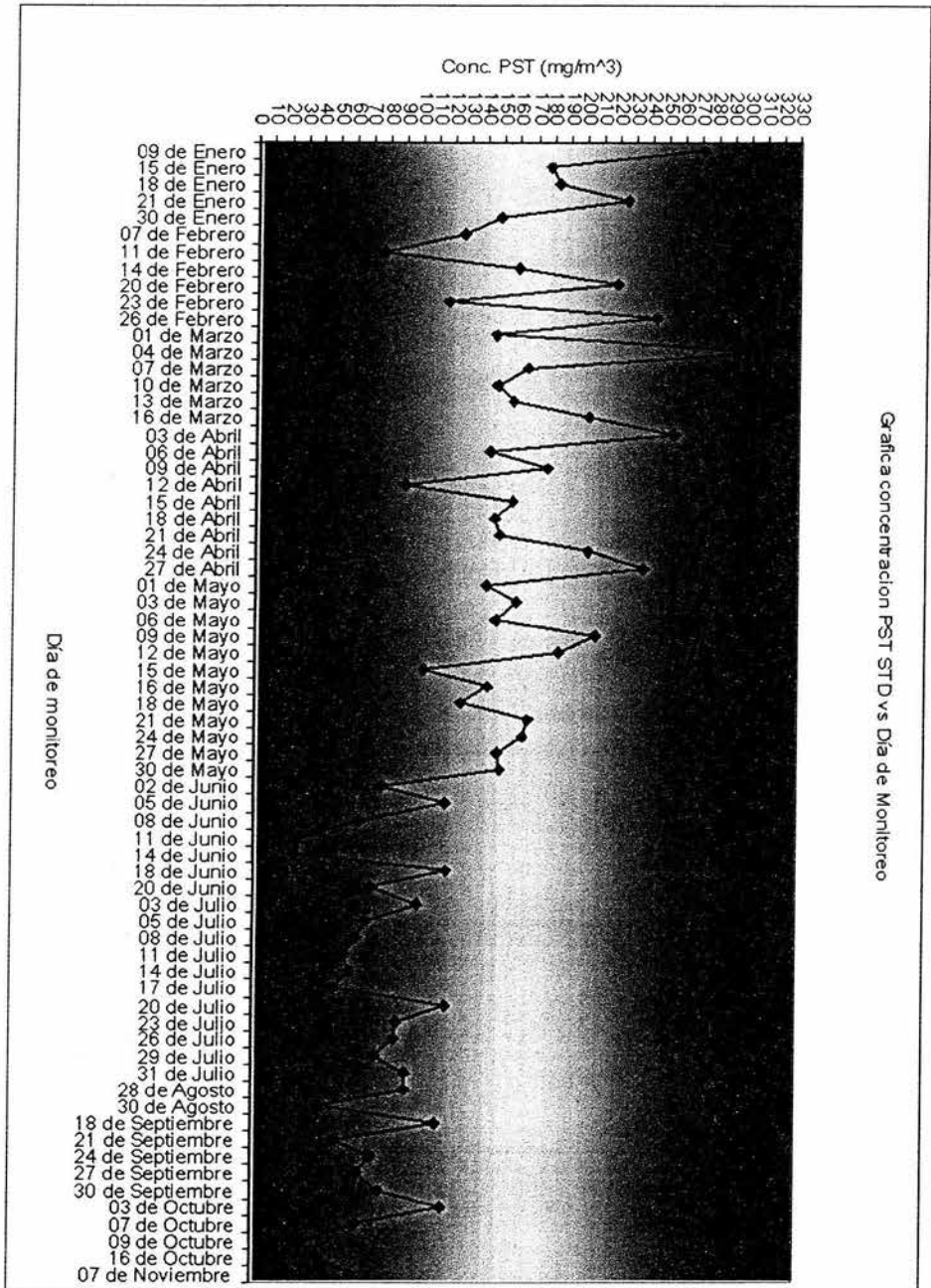


Tabla R. 2.- Valores estadísticos de concentración de PM_{2.5} anual obtenido durante el periodo 2002.

	# Monitoreos	Media Anual µg / m ³ STP	Desviación Estándar	Error Estándar	Máximo Registrado µg / m ³ STP	Mínimo Registrado µg / m ³ STP	Límite Promedio Máximo Anual permitido µg / m ³ STP
PM _{2.5}	89	40.19	20.40	2.16	136.4	10.5	15





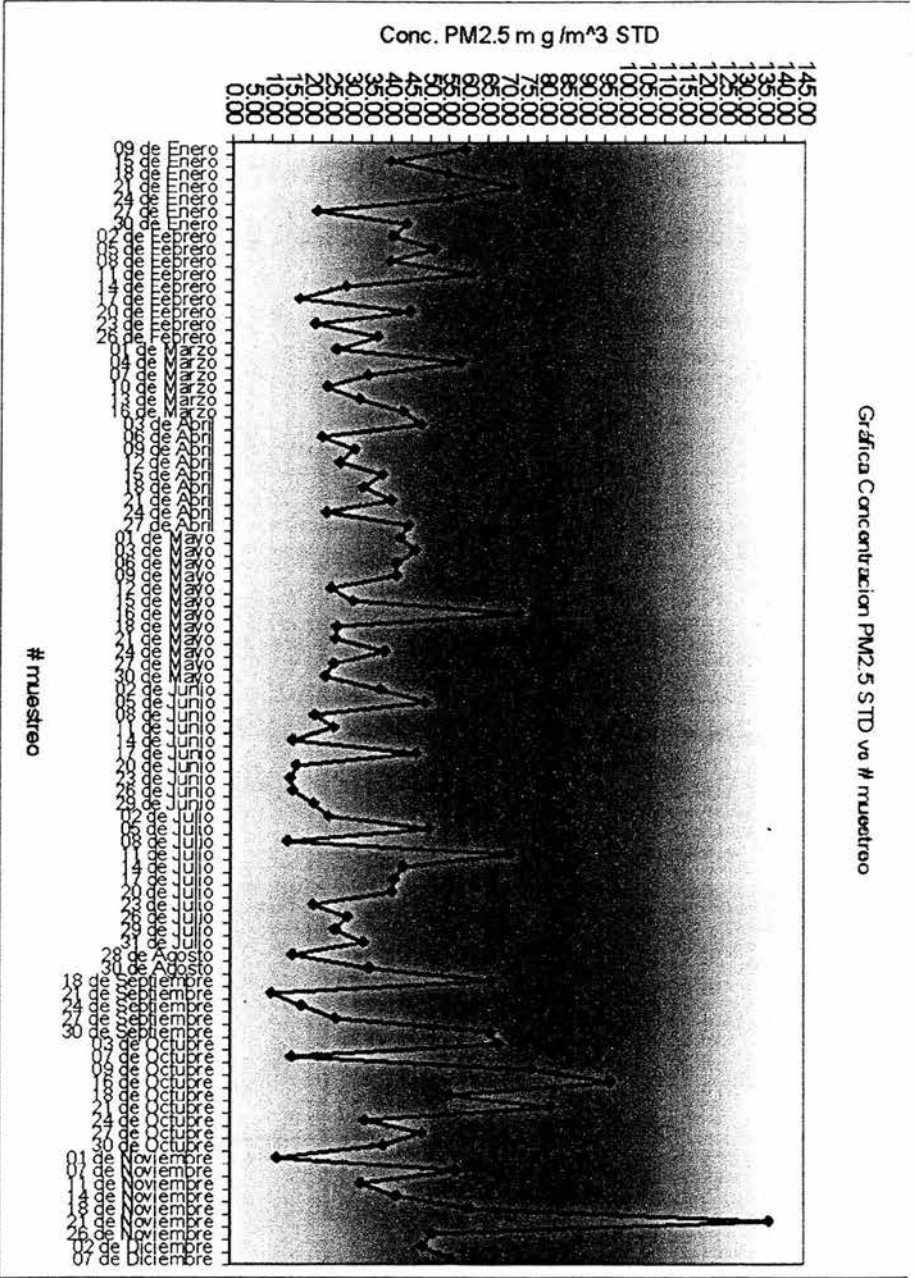
Gráfica concentración PST STD vs Día de Monitoreo

Gráfica 1. Gráfica de concentración de PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenido de los monitoreos para el período 2002.

RESULTADOS

RESULTADOS

Gráfica 2. Gráfica de concentración de $PM_{2.5}$ obtenidos de los monitores para el período 2002.



Dentro de las tablas R.3 y R.4 se muestran los datos estadísticos obtenidos de los monitoreos de aereoparticulas por mes.

Tabla R. 3. Datos estadísticos mensuales para concentraciones de PST en $\mu\text{g} / \text{m}^3_{\text{STD}}$

Mes	# Monitoreos	Media aritmética	Desviación estándar	Error Estándar	Máximo Reg.	Mínimo Reg.
Enero	4	219.7	68.0	26.51	309.9	147.6
Febrero	6	156.7	64.02	26.14	243.3	76.3
Marzo	6	187.9	63.3	25.84	309.9	145.9
Abril	8	152.9	26.9	18.89	254.4	90.8
Mayo	12	152.9	26.9	7.76	206.9	102.4
Junio	7	72.0	37.1	13.7	118.1	26.1
Julio	11	77.7	21	6.33	117.8	49.7
Agosto - Septiembre	7	73.3	23.9	9.04	111.9	42.4
Octubre - Noviembre	5	80.3	49.7	22.23	147.8	31.8

Tabla R. 4. Datos estadísticos mensuales para concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ en $\mu\text{g} / \text{m}^3_{\text{STD}}$

Mes	# Monitoreos	Media aritmética	Desviación estándar	Error Estándar	Máximo Reg.	Mínimo Reg.
Enero	7	49.4	16.0	6.06	71.5	21.4
Febrero	9	38.0	14.1	4.69	61.2	17.1
Marzo	6	36.6	12.5	5.10	58.0	24.2
Abril	9	34.5	9.0	3.00	48.1	22.9
Mayo	10	36.5	14.04	4.05	46.6	24.0
Junio	7	26.5	13.2	4.17	73.2	24.0
Julio	11	36.1	15.8	4.76	71.1	14.6
Agosto - Septiembre	7	34.1	23.2	8.78	66.2	10.5
Octubre	9	57.2	25.7	8.57	96.5	15.6
Noviembre - Diciembre	9	55.2	33.9	11.3	136.4	11.9

La tabla R.5 y R.6 muestran los monitoreos que sobrepasaron el límite máximo permisible de concentración de aeropartículas dentro del período de monitoreo.

Tabla R. 5. Monitoreos que rebasaron la concentración máxima permisible en la NOM-024-SSA1-1993 (MEXICO) para PST.

NUMERO DE MONITOREO	DÍA DE MONITOREO	CONCENTRACIÓN REGISTRADA $\mu\text{g} / \text{m}^3$ STD	% DE INCREMENTO CON RESPECTO A LA NORMA
		Límite = 260 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ en 24 Hrs	
01	Miércoles, 09 de Enero de 2002	270.96	4.21 %
17	Lunes, 04 de Marzo de 2002	309.90	19.93%
# DE DIAS QUE REBASARON LA NORMA = 2			

Tabla R. 6. Monitoreos que rebasaron la concentración máxima permisible establecido en el 40-CFR-PART 50-APENDICE L de USEPA (Estados Unidos) para $\text{PM}_{2.5}$.

NUMERO DE MONITOREO	DÍA DE MONITOREO	CONCENTRACIÓN REGISTRADA $\mu\text{g} / \text{m}^3$ STD	% DE INCREMENTO CON RESPECTO A LA NORMA
		Límite = 65 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ en 24 Hrs	
04	Lunes 21 de Enero de 2002	71.53	10.04 %
Especial	Jueves 16 de Mayo de 2002	73.25	12.69%
56	Jueves 11 de Julio de 2002	71.08	9.35%
66	Miércoles 18 de Septiembre de 2002	66.22	1.87%
70	Lunes 30 de Septiembre de 2002	65.84	1.29%
71	Jueves 3 de Octubre de 2002	68.02	4.65%
73	Miércoles 9 de Octubre de 2002	76.49	17.67%
74	Miércoles 16 de Octubre de 2002	96.49	48.45%
76	Lunes 21 de Octubre de 2002	81.32	25.10%
85	Viernes 21 de Noviembre de 2002	136.35	109.77%
# DE DIAS QUE REBASARON LA NORMA = 10			

La tabla R.7 muestra los valores IMECA de aeropartículas PST promedio mensual (calculado a partir de la fórmula del Procedimiento de Cálculo).

TABLA R. 7. DATOS ESTADÍSTICOS DE VALORES “IMECA” EN PST.

Mes	# Monitoreos	Media aritmética	Máximo Reg.	Mínimo Reg.
Enero	4	83.2	127.0	56.8
Febrero	6	60.3	93.6	29.3
Marzo	6	73.6	127.0	56.1
Abril	8	67.7	97.9	34.9
Mayo	12	58.8	79.6	39.4
Junio	7	27.7	45.4	10.0
Julio	11	29.9	45.3	19.1
Agosto - Septiembre	7	28.2	43.1	16.3
Octubre - Noviembre	5	30.9	56.8	12.2

Tabla R.8. Promedios anuales de concentración de aeropartículas PST por día de monitoreo.

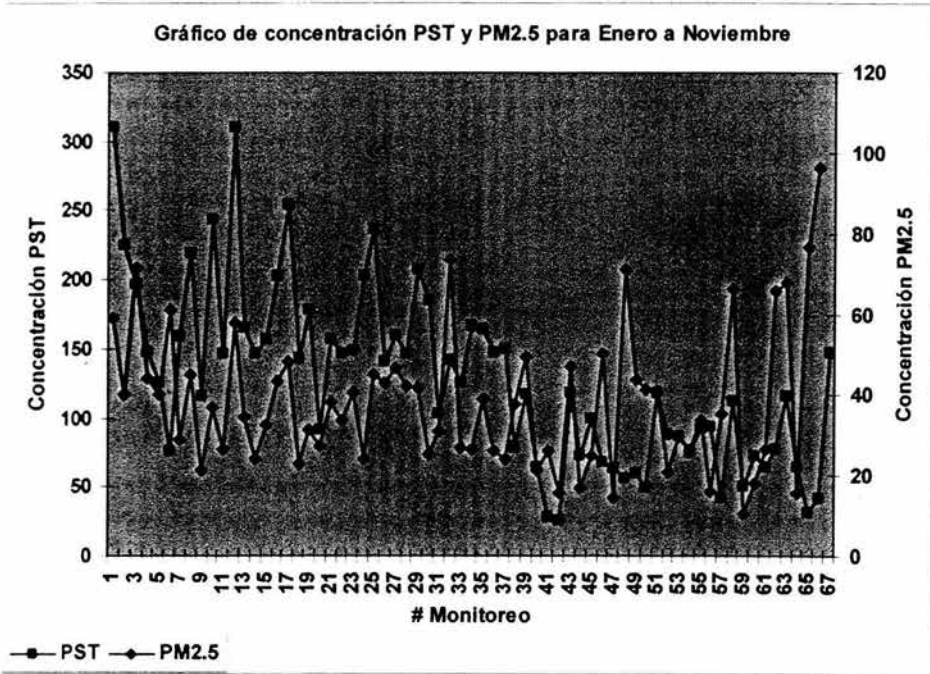
DIA DE MONITOREO	PROMEDIO DE CONCENTRACION ANUAL EN PST $\mu\text{g} / \text{m}^3_{\text{STD}}$
LUNES	132.7
MARTES	134.1
MIERCOLES	134.2
JUEVES	133.7
VIERNES	94.2
SABADO	132.0
DOMINGO	127.6

Tabla R. 9. Promedios anuales de concentración de aeropartículas PM_{2.5} por día de monitoreo

DIA DE MONITOREO	PROMEDIO DE CONCENTRACION ANUAL EN PM _{2.5} $\mu\text{g} / \text{m}^3_{\text{STD}}$
LUNES	46.01
MARTES	32.7
MIERCOLES	44.7
JUEVES	51.21
VIERNES	35.3
SABADO	32.1
DOMINGO	30.4

El siguiente gráfico muestra una gráfica comparativa entre PST y PM_{2.5} para observar el comportamiento de ambos tipos de aeropartículas a lo largo del periodo de monitoreo.

Gráfica 3. Comparativo entre concentración de PST y PM_{2.5} en $\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{STD}}$.



En la Tabla R.10 se muestra los valores de correlación encontrados entre la concentración de PST y PM_{2.5} mensual, así como la correlación anual.

Tabla R. 10. Tabla de correlación simple (r) entre concentración de PST Y PM_{2.5} mensual.

Mes de Monitoreo para PST	Correlación (r)
Enero	0.23
Febrero	-0.20
Marzo	0.96
Abril	0.60
Mayo	0.001
Junio	0.82
Julio	-0.34
Agosto – Septiembre	0.47
Octubre – Noviembre	-0.23
ANUAL	0.129

Dentro de la tabla R.11, R12 y R.13 se muestran los valores estadísticos obtenidos para MOE en PST y PM_{2.5} anuales y mensual.

Tabla R. 11.- Valores de concentración promedio anual de MOE en PST y PM_{2.5}.

	Numero De Extracciones	Media Anual MOE µg / m ³	Desviación Estándar	Error Estándar	Máximo Registrado µg / m ³ STD	Mínimo Registrado µg / m ³ STD
PST	67	5.57	2.92	0.375	17.7	1.16
PM2.5	89	12.04	4.82	0.510	26.0	3.9

Tabla R.12. Estadísticas mensuales para concentraciones de MOE en PST(µg / m³ std)

Mes	# de Extracciones realizadas	Media aritmética	Desviación estándar	Máximo Reg.	Mínimo Reg.
Enero	4	11.67	7.05	17.74	2.73
Febrero	6	5.75	2.18	8.19	2.73
Marzo	6	7.26	2.27	9.01	3.66
Abril	9	6.03	1.95	9.70	3.80
Mayo	12	5.05	1.06	7.17	3.12
Junio	7	3.23	2.31	7.33	1.16
Julio	11	4.87	1.30	7.05	2.88
Agosto - Septiembre	7	4.63	1.48	6.52	2.92
Octubre - Noviembre	5	4.96	2.99	9.67	1.91

Tabla R.13. Estadísticas mensuales para concentraciones de MOE en PM_{2.5} ($\mu\text{g} / \text{m}^3 \text{ STD}$)

Mes	# de Extracciones realizadas	Media aritmética	Desviación estándar	Máximo Reg.	Mínimo Reg.
Enero	7	20.19	3.14	25.62	16.08
Febrero	9	16.68	3.47	23.86	12.56
Marzo	6	15.73	2.68	19.06	12.56
Abril	9	11.91	2.63	16.39	8.74
Mayo	10	11.61	2.76	15.70	7.35
Junio	7	10.98	7.02	25.97	5.19
Julio	11	10.87	2.57	15.79	6.55
Agosto - Septiembre	7	8.21	2.77	11.73	3.92
Octubre	9	9.21	3.84	15.83	5.20
Noviembre - Diciembre	9	11.71	3.68	19.44	6.43

En la siguiente tabla se muestran los valores de correlación obtenidos entre concentración de aereopartículas y la concentración de MOE obtenida por mes.

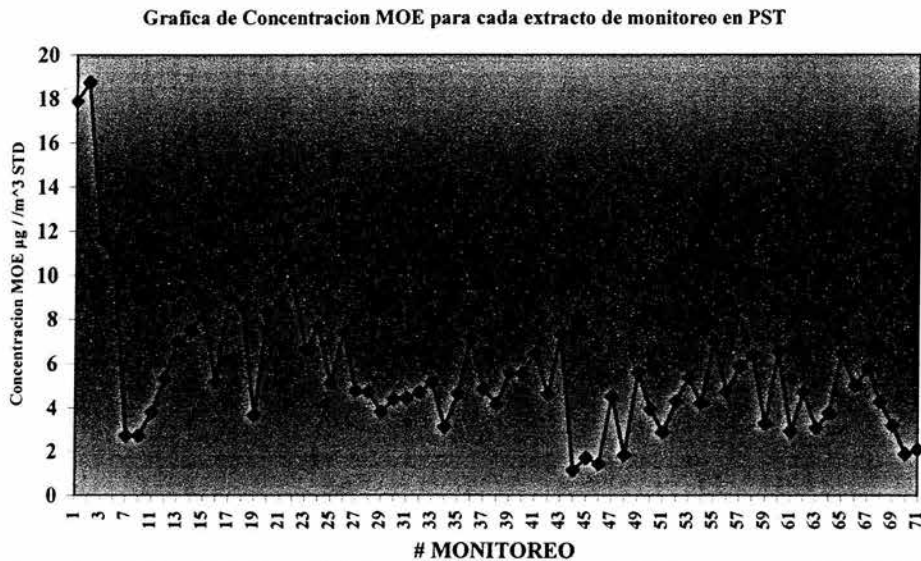
Tabla R. 14. Tabla de correlación simple (r) entre concentración de PST y PM_{2.5} vs. MOE por mes de monitoreo.

Mes de Monitoreo para PST	Correlación MOE
Enero	0.781
Febrero	0.686
Marzo	0.565
Abril	0.172
Mayo	-0.734
Junio	0.806
Julio	0.523
Agosto - Septiembre	0.542
Octubre - Noviembre	0.942
ANUAL	0.601

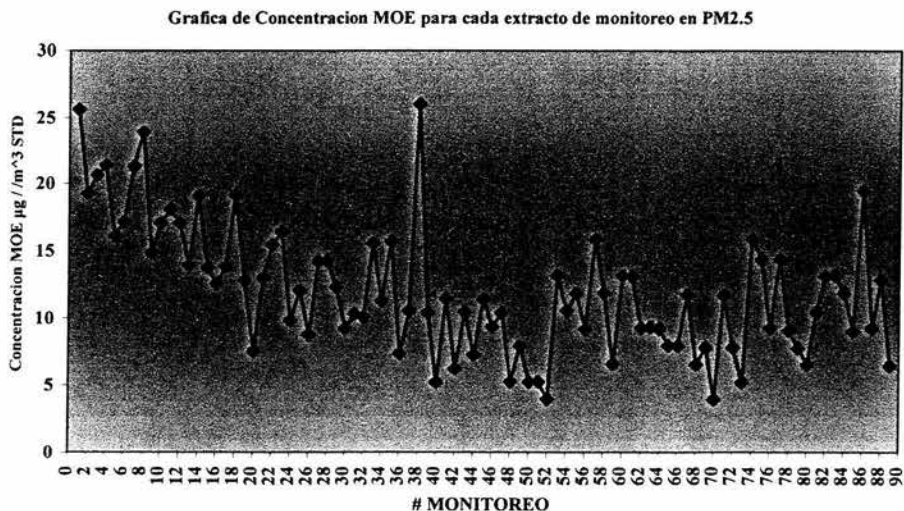
Mes de Monitoreo para PM _{2.5}	Correlación MOE
Enero	0.478
Febrero	0.395
Marzo	0.879
Abril	0.676
Mayo	0.916
Junio	0.441
Julio	0.539
Agosto - Septiembre	0.792
Octubre	0.847
Noviembre - Diciembre	0.639
ANUAL	0.492

Las gráficas 4 y 5 muestran la concentración de MOE para PST y PM_{2.5} a lo largo del periodo de monitoreo.

Gráfica 4. Comportamiento de la concentración de MOE adsorbido en PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ STD anual.

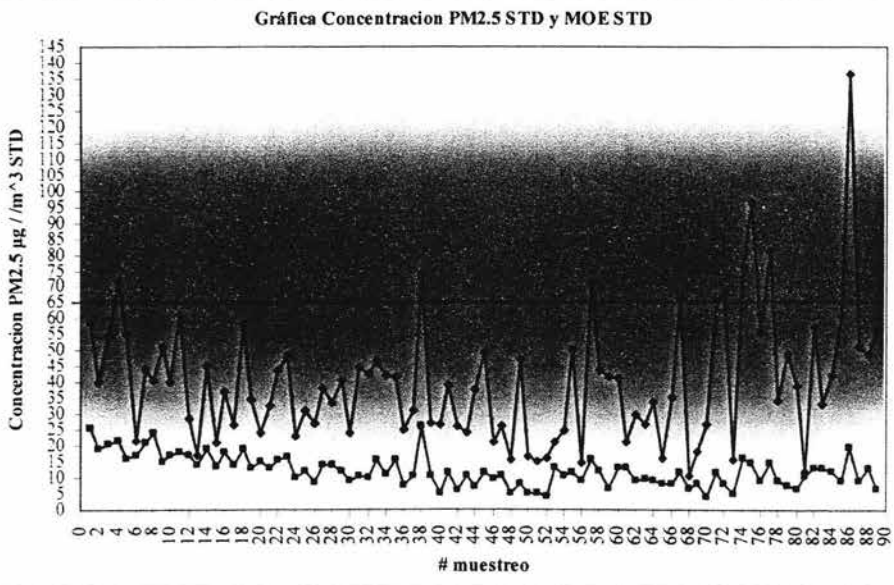
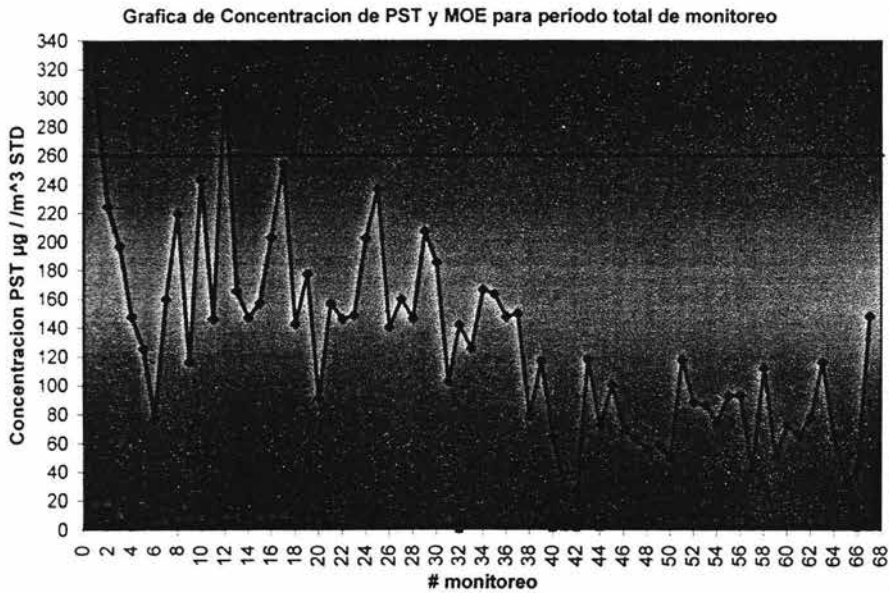


Gráfica 5. Comportamiento de la concentración de MOE adsorbido en PM_{2.5} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ STD anual.

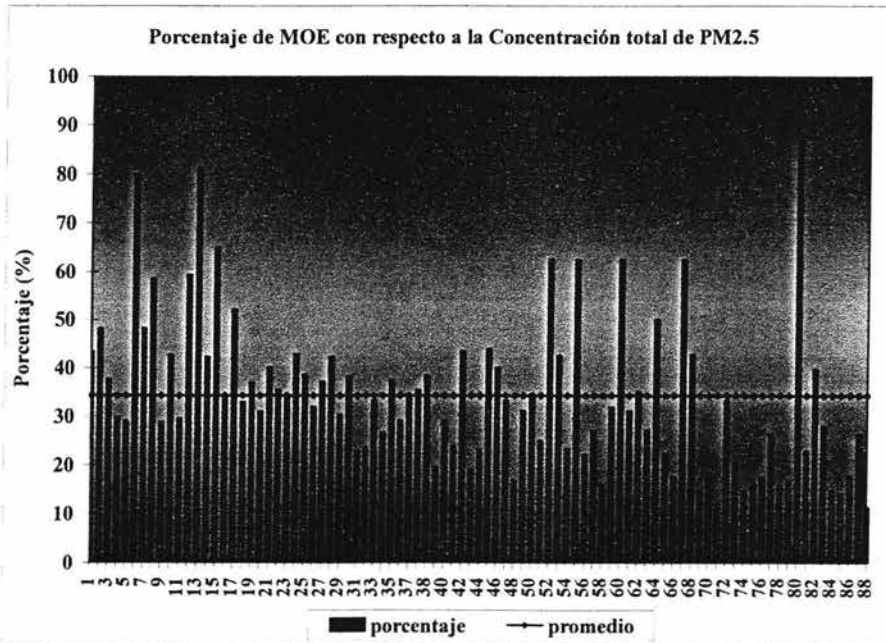
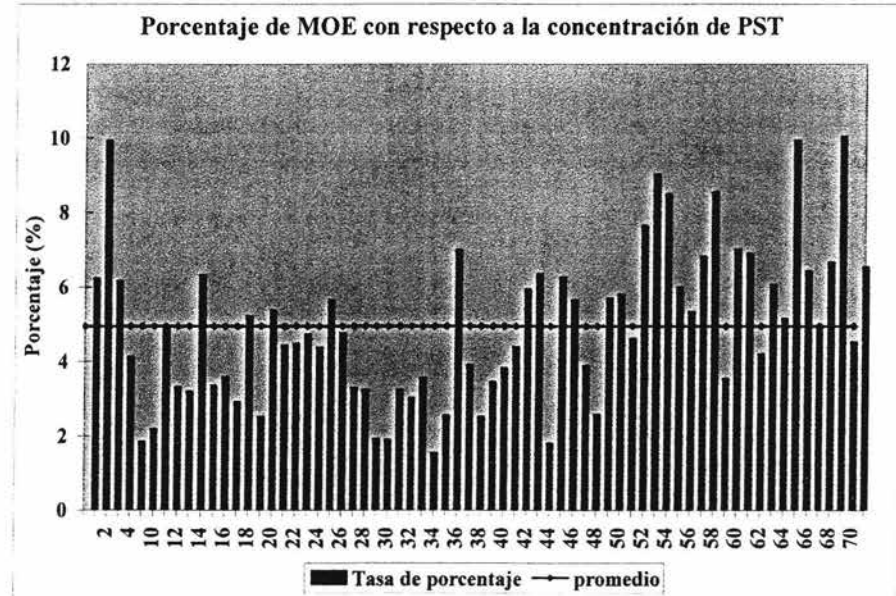


En las siguientes gráficas (6 y 7) se presenta un comparativo entre la concentración de aeropartículas y la concentración de MOE a lo largo del período de monitoreo.

Grafica 6 y 7. Graficas comparativas entre concentración de aeropartículas y MOE en $\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{std}}$ anual.



Graficas 8 y 9. Gráficos de porcentaje de MOE con respecto al total de concentración de aereopartículas. (Calculados con fórmula del Procedimiento de cálculo).



Dentro de las Tablas R.15 se muestran los datos estadísticos de las variables meteorológicas presentadas por mes dentro del período de monitoreo. En la Tabla R.16 se muestran los promedios mensuales de velocidad y dirección del viento, así como los intervalos de frecuencia predominantes por mes.

TABLA R. 15. DATOS ESTADISTICOS MENSUAL PARA VARIABLES METEOROLOGICAS.

MES DE MONITOREO	PROMEDIO MENSUAL Temperatura °C	Desviación Estándar	PROMEDIO MENSUAL %H. R.	Desviación Estándar	PROMEDIO MENSUAL Velocidad del viento (m/s)	Desviación Estándar
Enero	15.1	2.1	37.1	7.6	1.04	0.21
Febrero	14.6	2.1	52.4	13.1	1.62	0.20
Marzo	14.3	2.5	51.9	15.6	1.57	0.24
Abril	19.7	1.8	52.3	8.5	1.80	0.41
Mayo	20.1	2.5	52.7	12.8	2.24	0.74
Junio	18.8	1.0	67.2	8.9	2.06	0.66
Julio	17.6	0.8	76.0	6.2	1.64	0.31
Agosto-Sep	17.1	1.4	76.5	14.5	1.79	0.41
Octubre	17.8	1.6	69.4	7.0	1.78	0.31
Nov. - Dic.	14.3	2.5	59.3	14.0	1.39	0.51

TABLA R. 16. DATOS ESTADISTICOS MENSUAL PARA VELOCIDAD Y DIRECCION DEL VIENTO.

MES DE MONITOREO	PROMEDIO MENSUAL Velocidad del viento (m/s) ₁	INTERVALO DE VELOCIDAD PREDOMINANTE MENSUAL (m/s) ₂	PROMEDIO MENSUAL Dirección del viento (°) ₁	INTERVALO DE DIRECCION PREDOMINANTE MENSUAL (°) ₂
Enero	1.62	0.5 - 1	154.6	75 - 100
Febrero	1.79	1 - 1.5	149.5	75 - 100
Marzo	2.05	1 - 1.5	171.8	50 - 75
Abril	1.96	1.5 - 2	126.3	50 - 75
Mayo	2.32	1.5 - 2	117.3	25 - 75
Junio	1.71	1 - 1.5	153.5	50 - 75
Julio	1.70	1.5 - 2	149.7	50 - 75
Agosto-Sep	1.58	1 - 1.5	135.4	325 - 360
Octubre	1.36	0.5 - 1	131.3	25 - 50
Nov. - Dic.	1.52	1 - 2	132.3	75 - 100

1 - Los datos son reportados como promedios de los días de monitoreo únicamente.

2 - El intervalo obtenido de frecuencia se tomó en cuenta todos los días del mes.

Las siguientes tablas muestran los valores obtenidos de correlación entre las concentraciones de aeropartículas y MOE contra las variables meteorológicas: temperatura, humedad relativa y velocidad del viento.

TABLA R. 17. TABLA DE CORRELACIONES SIMPLE (r) ENTRE CONCENTRACION DE PST MENSUAL vs VARIABLES METEOROLOGICAS.

Mes de Monitoreo	Correlación Temperatura (°C)	Correlación Humedad Relativa (%H.R.)	Correlación Velocidad del Viento (m/s)
Enero	-0.719	-0.677	-0.989
Febrero	0.853	-0.054	-0.384
Marzo	0.011	-0.428	-0.176
Abril	0.639	-0.459	-0.058
Mayo	0.426	-0.452	0.155
Junio	0.218	-0.159	0.195
Julio	0.225	-0.332	0.009
Agosto - Septiembre	0.601	-0.111	-0.199
Octubre - Noviembre	-0.623	0.590	0.117
ANUAL	0.297	-0.658	-0.010

TABLA R. 18. TABLA DE CORRELACIONES SIMPLE (r) ENTRE CONCENTRACION DE PM_{2.5} MENSUAL vs VARIABLES METEOROLOGICAS.

Mes de Monitoreo	Correlación Temperatura (°C)	Correlación Humedad Relativa (%H. R.)	Correlación Velocidad del Viento (m/s)
Enero	-0.020	-0.115	0.404
Febrero	-0.040	0.410	0.496
Marzo	0.225	-0.537	-0.388
Abril	0.371	-0.148	-0.346
Mayo	-0.008	0.238	-0.494
Junio	0.165	0.141	-0.228
Julio	-0.087	0.531	-0.488
Agosto - Septiembre	0.449	0.248	-0.657
Octubre	0.325	0.371	-0.189
Noviembre - Diciembre	-0.879	-0.087	0.284
ANUAL	-0.283	0.00024	-0.333

TABLA R. 19. COEFICIENTE DE CORRELACION “p” SIMPLE ENTRE CONCENTRACION MOE vs TEMPERATURA- % H. R. -VELOCIDAD DEL VIENTO PARA PST.

Mes de Monitoreo	Correlación Temperatura (°C)	Correlación Humedad Relativa (%H. R.)	Correlación Velocidad del Viento (m/s)
Enero	-0.93	-0.15	-0.72
Febrero	0.26	-0.52	-0.66
Marzo	0.43	-0.44	-0.80
Abril	-0.49	0.65	-0.43
Mayo	-0.46	0.42	-0.45
Junio	0.06	-0.29	-0.16
Julio	0.05	0.17	-0.33
Agosto – Septiembre	0.30	-0.16	-0.35
Octubre- Noviembre	-0.81	0.77	0.07
ANUAL	-0.09	-0.32	-0.40

TABLA R. 20. COEFICIENTE DE CORRELACION “p” SIMPLE ENTRE CONCENTRACION MOE vs TEMPERATURA- % H. R. -VELOCIDAD DEL VIENTO PARA PM_{2.5}.

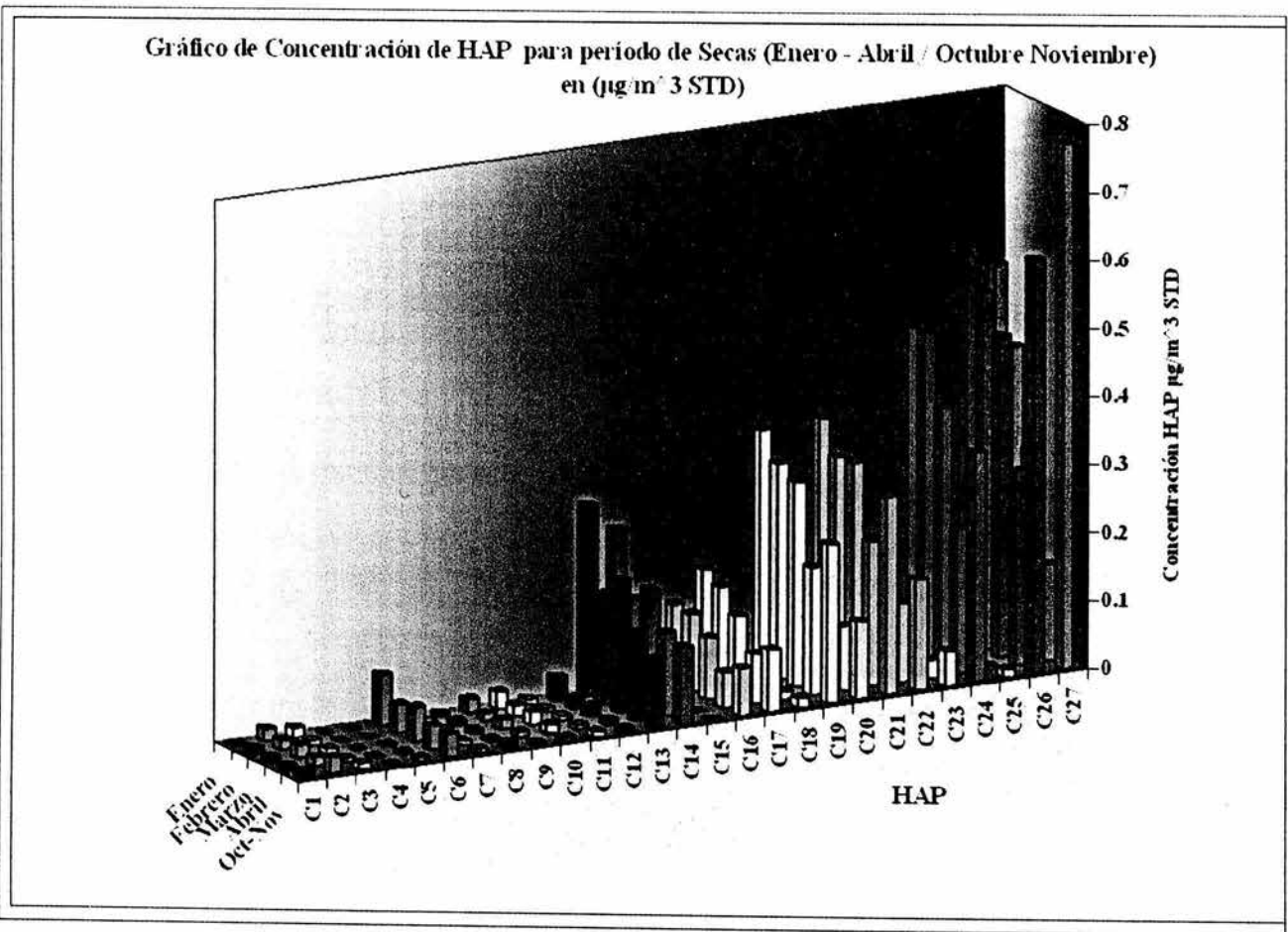
Mes de Monitoreo	Correlación Temperatura (°C)	Correlación Humedad Relativa (%H. R.)	Correlación Velocidad del Viento (m/s)
Enero	-0.45	-0.49	0.31
Febrero	-0.13	0.61	0.18
Marzo	0.33	-0.64	-0.66
Abril	-0.05	0.09	-0.05
Mayo	-0.03	0.29	-0.38
Junio	-0.20	0.56	-0.56
Julio	-0.18	0.27	-0.26
Agosto – Septiembre	0.44	-0.03	-0.13
Octubre	0.00	0.34	-0.06
Noviembre–Diciembre	-0.32	0.25	0.47
ANUAL	-0.29	-0.32	-0.32

En la tabla R.21 a y R.21 b se muestra las claves guía para la identificación de los HAP's en los gráficos 10, 11, 12 y 13 de concentración de HAP's divididos por época estacional mostrados a continuación.

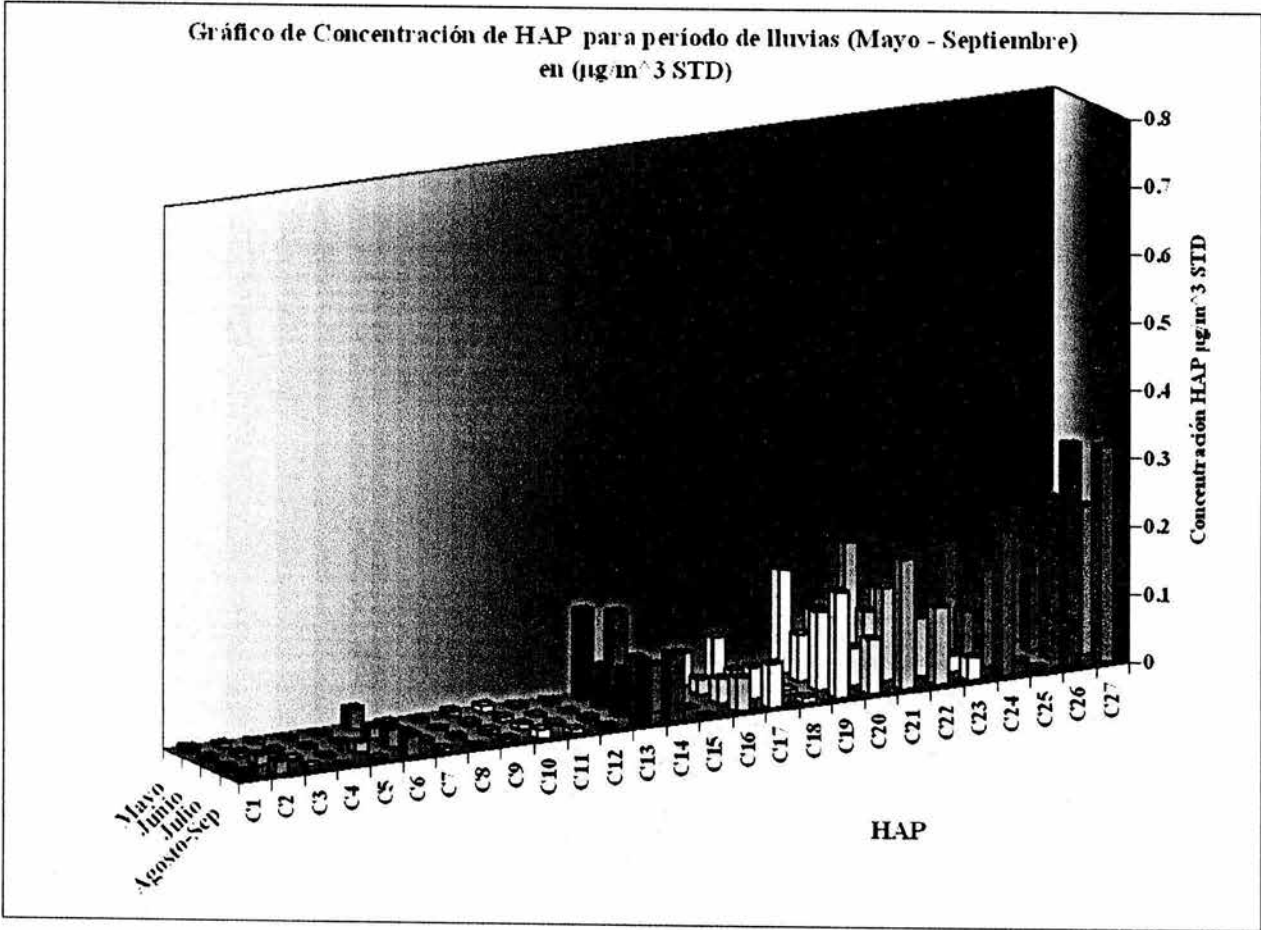
Tabla R. 21 a. Claves para HAP's utilizados para gráficos de concentración mensual de HAP's (grafica 10, 11, 12 y 13) en PST

Clave HAP	Nombre HAP	Clave HAP	Nombre HAP
1	Indeno	15	Tripticeno
2	Naftaleno	16	Benzo(a)antraceno
3	Acenaftileno	17	Criseno + Trifenileno
4	Acenafteno	18	7,12-Dimetilbenzo(a)antraceno
5	Fluoreno	19	Benzo(b)fluoranteno
6	Fenantreno	20	Benzo(k)fluoranteno
7	Antraceno	21	Benzo(c)pireno
8	2-Metilantraceno	22	Benzo(a)pireno
9	4-5 Dimetilfenantreno	23	Perileno
10	1-Metilantraceno	24	Indeno(1,2,3-cd)pireno
11	3,6 Dimetilfenantreno	25	Dibenzo(ah+ac)antraceno
12	9,10-Dimetilantraceno	26	Benzo(ghi)perileno
13	Fluoranteno	27	Coroneno
14	Pireno		

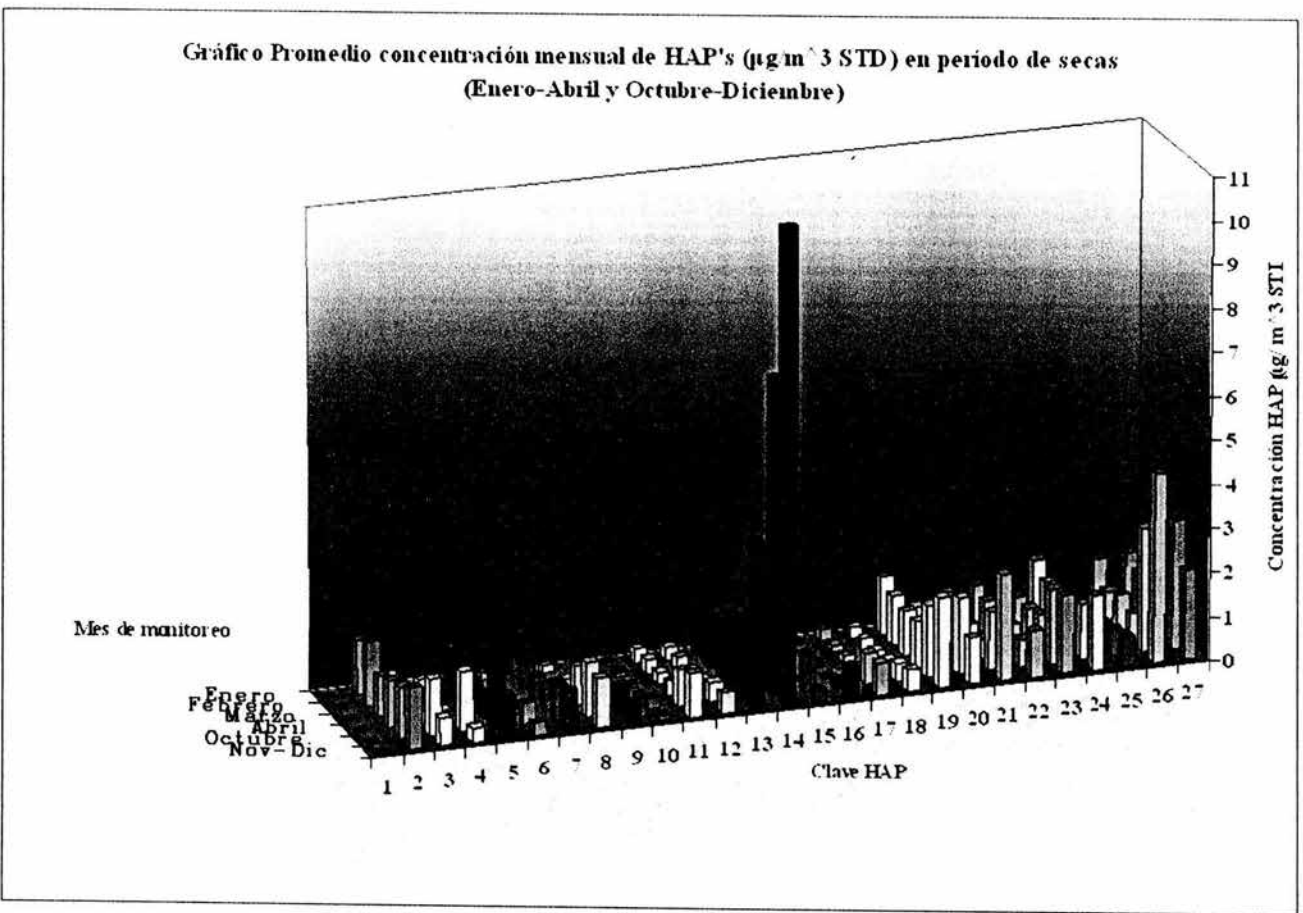
Gráfica 10. Concentración promedio mensual de HAP's en periodo de sequía para PST (Enero, Febrero, Marzo, Abril y Octubre/Noviembre).



Gráfica II. Concentración promedio mensual de HAP's en periodo de lluvias para PST (Mayo, Junio, Julio y Agosto/Septiembre).



Gráfica 12. Concentración promedio mensual de HAP's en periodo de sequía para P.M._{2.5} (Enero, Febrero, Marzo, Abril y Octubre/Noviembre).



Gráfica II. Concentración promedio mensual de HAP's en periodo de lluvias para PM (Mayo, Junio, Julio y Agosto/Septiembre).

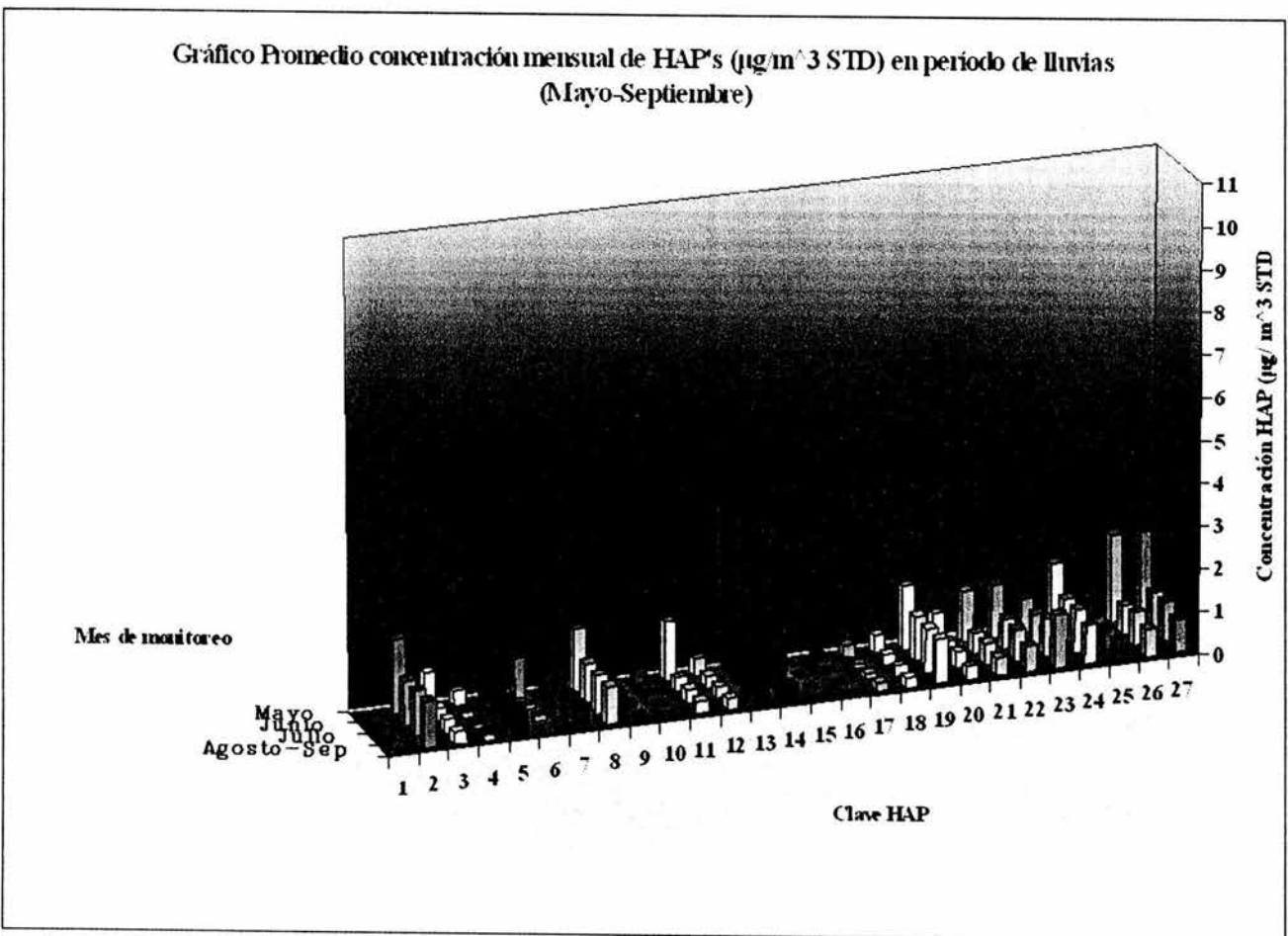


Tabla R.22. Datos estadísticos anuales de concentración de HAP's encontrados en PST.

HAP	Media Anual ng / m ³ STD	Desviación Estándar	Error Estándar	Máximo Registrado ng / m ³ STD	Mínimo Registrado ng / m ³ STD
Indeno	0.0073	0.003	0.0005	0.021	0.0006
Naftaleno	0.0162	0.009	0.0013	0.046	0.0018
Acenaftileno	0.0064	0.005	0.0006	0.034	0.00002
Acenafteno	0.0013	0.001	0.0001	0.005	0.00001
Fluoreno	0.0053	0.013	0.0019	0.098	0.00009
Fenantreno	0.0361	0.025	0.0032	0.184	0.0033
Antraceno	0.0071	0.005	0.0006	0.029	0.00001
2-Metilantraceno	0.0045	0.004	0.0005	0.032	0.00001
4-5 Dimetilfenantreno	0.0090	0.007	0.0009	0.053	0.002
1-Metilantraceno	0.0125	0.008	0.0010	0.056	0.0016
3,6 Dimetilfenantreno	0.0056	0.0038	0.0004	0.0186	0.0006
9,10- Dimetilantraceno	0.0086	0.009	0.0012	0.049	0.00008
Fluoranteno	0.1268	0.100	0.0127	0.729	0.019
Pireno	0.1209	0.081	0.0103	0.592	0.254
Tripticeno	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
Benzo(a)antraceno	0.0613	0.050	0.0063	0.303	0.005
Criseno + Trifenileno	0.0810	0.672	0.0084	0.405	0.007
7,12-Dimetilbenzo (a)antraceno	0.0111	0.0076	0.0009	0.044	0.0004
Benzo(b) Fluoranteno	0.1925	0.148	0.0185	0.756	0.000001
Benzo(k) Fluoranteno	0.0987	0.0725	0.0090	0.371	0.0003
Benzo(e)pireno	0.2162	0.146	0.0182	0.716	0.009
Benzo(a)pireno	0.1239	0.083	0.0104	0.408	0.001
Perileno	0.0359	0.028	0.0035	0.142	0.002
Indeno(1,2,3- cd)pireno	0.2468	0.194	0.0245	0.956	0.005
Dibenzo(ah+ac) Antraceno	0.0070	0.006	0.0008	0.032	0.0002
Benzo(ghi)perileno	0.3353	0.248	0.0310	1.149	0.011
Coroneno	0.2793	0.270	0.0033	1.445	0.010
Total	1.689	1.9251	0.1348	-	-

N. D.= No Detectado

Tabla R. 23. Datos estadísticos anuales de concentración de HAP's encontrados en $PM_{2.5}$

HAP	Media Anual ng / m ³ STD	Desviación Estándar	Error Estándar	Máximo Registrado ng / m ³ STD	Mínimo Registrado ng / m ³ STD
Indeno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Naftaleno	1.2309	0.796	0.092	5.533	0.081
Acenaftileno	0.5255	0.927	0.105	6.391	0.160
Acenafteno	0.2187	1.264	0.143	9.707	0.0001
Fluoreno	0.8680	1.590	0.180	13.941	0.492
Fenantreno	0.2963	1.101	0.124	9.374	0.044
Antraceno	0.6366	0.416	0.047	3.705	0.290
2-Metilantraceno	0.9327	0.873	0.099	7.287	0.0018
4-5 Dimetilfenantreno	0.3179	0.911	0.103	7.015	0.073
1-Metilantraceno	0.1355	0.478	0.054	3.816	0.015
3,6 Dimetilfenantreno	0.5953	1.588	0.179	12.52	0.165
9,10- Dimetilantraceno	0.3404	0.245	0.027	1.654	0.144
Fluoranteno	1.826	4.512	0.511	32.80	0.081
Pireno	2.86	4.349	1.07	28.82	0.431
Tripticeno	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
Benzo(a)antraceno	0.1473	0.591	0.066	5.051	N. D.
Criseno + Trifenileno	0.2922	0.521	0.059	3.212	0.0639
7,12-Dimetilbenzo (a)antraceno	0.3045	0.395	0.044	2.759	0.117
Benzo(b) Fluoranteno	1.2814	0.962	0.109	5.833	0.601
Benzo(k) Fluoranteno	0.6387	1.347	0.152	9.657	0.246
Benzo(e)pireno	0.9058	2.036	0.230	15.653	0.306
Benzo(a)pireno	0.8244	0.809	0.091	6.664	0.475
Perileno	1.0645	0.504	0.057	2.994	0.416
Indeno(1,2,3- cd)pireno	1.1923	1.047	0.118	7.275	0.440
Dibenzo(ah+ac) Antraceno	0.5191	0.232	0.026	2.327	0.245
Benzo(ghi)perileno	1.5397	4.127	0.467	30.423	0.379
Coroneno	1.4083	2.418	0.273	15.543	0.601
Total	10.1182	14.989	1.692	-	-

N. D.= No Detectado

Tabla R. 24. Tabla de correlación simple "p" anual entre concentración de HAP's vs. concentración de PST y PM_{2.5} y MOE.

HAP	Correlación con CONCENTRACION		Correlación con MOE	
	VALOR DE "r" para PST	VALOR DE "r" para PM _{2.5}	VALOR DE "r" para PST	VALOR DE "r" para PM _{2.5}
Indeno	-0.220	N. E.	0.144	N. E.
Naftaleno	0.050	0.448	0.387	0.447
Acenaftileno	0.291	0.523	0.590	0.350
Acenafteno	-0.030	0.503	0.288	0.284
Fluoreno	-0.137	0.451	0.060	0.212
Fenantreno	0.450	0.337	0.588	0.400
Antraceno	0.458	0.640	0.584	0.316
2-Metilantraceno	-0.110	0.365	0.048	0.191
4-5 Dimetilfenantreno	0.531	0.464	0.600	0.408
1-Metilantraceno	0.478	0.395	0.656	0.409
3,6 Dimetilfenantreno	0.238	0.465	0.411	0.415
9,10-Dimetilantraceno	0.433	0.593	0.666	0.383
Fluoranteno	0.518	0.500	0.592	0.413
Pireno	0.484	0.636	0.573	0.298
Tripticeno	N. E.	N. E.	N. E.	N. E.
Benzo(a)antraceno	0.358	0.622	0.463	0.286
Criseno + Trifenileno	0.368	0.682	0.462	0.302
Naftaceno	N. E.	N. E.	N. E.	N. E.
7,12-Dimetilbenzo (a)antraceno	0.323	0.594	0.393	0.394
Benzo(b)fluoranteno	0.374	0.613	0.501	0.372
Benzo(k)fluoranteno	0.40	0.595	0.530	0.303
Benzo(c)pireno	0.327	0.640	0.507	0.367
Benzo(a)pireno	0.337	0.453	0.441	0.459
Perileno	0.253	0.549	0.418	0.096
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0.362	0.578	0.536	0.435
Dibenzo(ah+ac) antraceno	0.214	0.663	0.470	0.308
Benzo(ghi)perileno	0.236	0.640	0.488	0.350
Coroneno	0.020	0.553	0.339	0.368

N. E = No Evaluado.

Tabla R. 25. Porcentaje de concentración de HAP's vs. concentración de MOE para PST y PM_{2.5}.

HAP	% concentración anual	
	PST	PM _{2.5}
Indeno	0.013%	N. D.
Naftaleno	0.029%	1.022%
Acenaftileno	0.011%	0.436%
Acenafteno	0.002%	0.182%
Fluoreno	0.009%	0.721%
Fenantreno	0.064%	0.246%
Antraceno	0.013%	0.529%
2-Metilantraceno	0.008%	0.775%
4-5 Dimetilfenantreno	0.016%	0.264%
1-Metilantraceno	0.022%	0.113%
3,6 Dimetilfenantreno	0.010%	0.494%
9,10-Dimetilantraceno	0.015%	0.283%
Fluoranteno	0.227%	1.517%
Pireno	0.216%	1.380%
Tripticeno	0.001%	0.050%
Benzo(a)antraceno	0.110%	0.122%
Criseno + Trifenileno	0.145%	0.243%
Naftaceno	N. E.	N. E.
7,12-Dimetilbenzo(a)antraceno	0.020%	0.253%
Benzo(b)fluoranteno	0.344%	1.064%
Benzo(k)fluoranteno	0.177%	0.530%
Benzo(e)pireno	0.387%	0.752%
Benzo(a)pireno	0.222%	0.685%
Perileno	0.064%	0.884%
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0.442%	0.990%
Dibenzo(ah+ac)antraceno	0.013%	0.431%
Benzo(ghi)perileno	0.600%	1.279%
Coroneno	0.500%	1.170%
Total	2.77%	8.04%

N. E.= No evaluado

Gráficas 12 y 13. Días de monitoreo donde se presento altos niveles de concentración de HAP's.

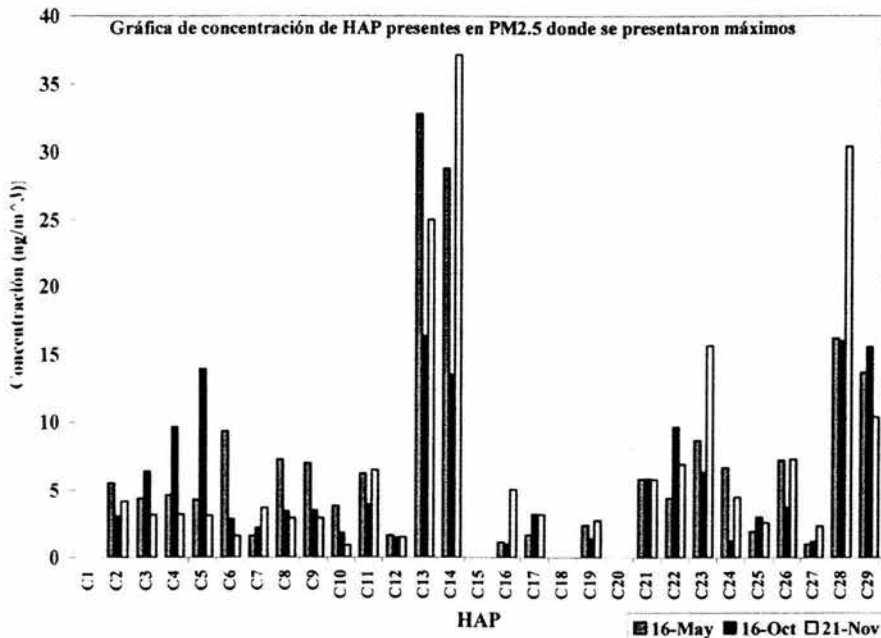
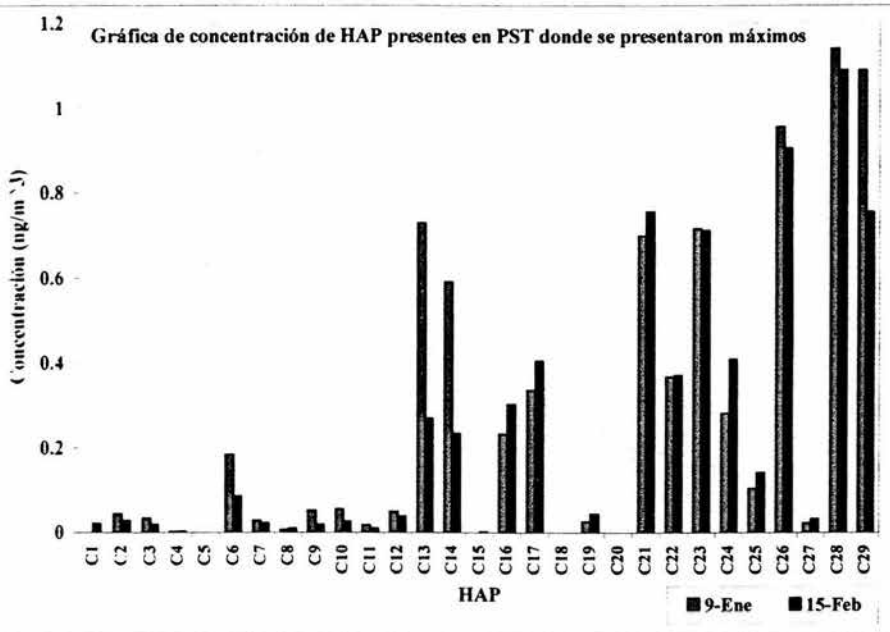


Tabla R. 26. Tabla de correlación simple "r" anual entre concentración de HAP's vs. temperatura - %H. R. y velocidad del viento en PST.

HAP	"r" para Temperatura	"r" para % H. R.	"r" para Vel. Viento
Indeno	-0.21	0.25	-0.25
Naftaleno	-0.31	0.11	-0.49
Acenaftileno	-0.42	-0.20	-0.42
Acenafteno	-0.14	0.23	-0.33
Fluoreno	-0.13	0.13	-0.10
Fenantreno	-0.29	-0.33	-0.30
Antraceno	-0.34	-0.31	-0.29
2-Metilantraceno	-0.25	-0.04	-0.30
4-5 Dimetilfenantreno	-0.27	-0.40	-0.20
1-Metilantraceno	-0.37	-0.29	-0.28
3,6 Dimetilfenantreno	-0.38	-0.06	-0.24
9,10-Dimetilantraceno	-0.43	-0.39	-0.30
Fluoranteno	-0.25	-0.48	-0.23
Pireno	-0.26	-0.45	-0.26
Tripticeno	N. E.	N. E.	N. E.
Benzo(a)antraceno	-0.40	-0.26	-0.30
Criseno + Trifenileno	-0.40	-0.29	-0.32
Naftaceno	N. E.	N. E.	N. E.
7,12-Dimetilbenzo (a)antraceno	-0.34	-0.16	-0.31
Benzo(b)fluoranteno	-0.35	-0.30	-0.35
Benzo(k)fluoranteno	-0.33	-0.32	-0.32
Benzo(e)pireno	-0.36	-0.25	-0.35
Benzo(a)pireno	-0.30	-0.19	-0.28
Perileno	-0.35	-0.15	-0.29
Indeno(1,2,3-cd)pireno	-0.44	-0.28	-0.37
Dibenzo(ah+ac) antraceno	-0.40	-0.13	-0.37
Benzo(ghi)perileno	-0.47	-0.15	-0.41
Coroneno	-0.50	-0.03	-0.39

N. E = No Evaluado.

Tabla R. 27. Tabla de correlación simple “r” anual entre concentración de HAP’s vs. temperatura - %H. R. y velocidad del viento en PM_{2.5}.

HAP	Temperatura	% H. R.	Vel. Viento
Indeno	N. E.	N. E.	N. E.
Naftaleno	-0.08	0.004	0.03
Acenaftileno	-0.08	0.07	-0.01
Acenafteno	-0.13	0.09	-0.08
Fluoreno	-0.08	0.10	-0.09
Fenantreno	-0.07	0.11	-0.08
Antraceno	-0.30	0.06	0.00
2-Metilantraceno	-0.03	0.23	-0.01
4-5 Dimetilfenantreno	-0.14	0.12	-0.07
1-Metilantraceno	-0.09	0.11	-0.09
3,6 Dimetilfenantreno	-0.17	0.11	-0.05
9,10-Dimetilantraceno	-0.24	0.11	-0.08
Fluoranteno	-0.23	0.09	-0.01
Pireno	-0.32	0.05	0.16
Tripticeno	N. E.	N. E.	N. E.
Benzo(a)antraceno	-0.40	0.00	0.01
Criseno + Trifenileno	-0.35	0.05	-0.13
Naftaceno	N. E.	N. E.	N. E.
7,12-Dimetilbenzo (a)antraceno	-0.27	0.09	0.01
Benzo(b)fluoranteno	-0.32	0.005	-0.13
Benzo(k)fluoranteno	-0.21	0.08	-0.05
Benzo(e)pireno	-0.34	0.05	-0.02
Benzo(a)pireno	-0.21	0.06	-0.03
Perileno	-0.42	0.13	-0.32
Indeno(1,2,3-cd)pireno	-0.27	0.06	-0.04
Dibenzo(ah+ac)antraceno	-0.32	0.05	0.00
Benzo(ghi)perileno	-0.32	0.06	-0.01
Coroneno	-0.19	0.09	-0.07

N. E = No Evaluado.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de concentración de Aeropartículas

Se realizaron monitoreos de aereopartículas por un período de 10 meses en el caso de PST (Enero a Octubre) y 11 meses en PM_{2.5} (Enero a Noviembre) Cada monitoreo se realizó simultáneamente por lo que las condiciones de operación fueron las mismas al igual que las condiciones metereológicas. El análisis de la concentración de aereopartículas describe lo siguiente:

La concentración de PST a lo largo del período de monitoreo presenta un descenso progresivo; la menor concentración se presentó en el mes de Junio con un promedio y error estándar de $72.0 \pm 13.7 \mu\text{g} / \text{m}^3$ (dentro de la época de lluvias) mientras que la mayor concentración se presentó en Marzo con $187.9 \pm 25.8 \mu\text{g} / \text{m}^3$ (dentro de la época de sequía). Si se compara la concentración contra las 3 variables metereológicas de estudio (Humedad Relativa, Temperatura y Velocidad del viento) se observa una mayor correlación entre la Humedad Relativa ($r_{\text{humedad}} = -0.658$) de forma inversa, a diferencia de la Temperatura y la y Velocidad del viento ($r_{\text{temperatura}} = 0.297$ y $r_{\text{velocidad}} = -0.01$) con $r < 0.001$, donde no existe diferencia significativa entre los valores de correlación simple y multivariable.

Esto confirma lo mencionado por Koutrakis (1989), donde la hidrosolubilidad de las aereopartículas gruesas como PST y PM_{10} depende directamente de su naturaleza y composición de compuestos adsorbidos, al existir gran cantidad de compuestos solubles (sales iónicas) que posee gran capacidad higroscópica, siendo capaces de adsorber gran cantidad de vapor de agua en su superficie y permiten la depuración de las aereopartículas por adsorción de humedad o precipitación pluvial. Al encontrar que la correlación entre la concentración de aereopartículas y la velocidad de viento es baja, indica que la fuente de emisión para PST no es en su totalidad de tipo geológico o generado por erosión eólica y que indica una contribución importante de fuentes de origen de tipo antropogénico (principalmente de procesos de combustión).

En el caso de $PM_{2.5}$ se presenta la menor concentración en el mes de Junio con un promedio y error estándar de $26.5 \pm 4.17 \mu\text{g} / \text{m}^3$, mientras que la mayor concentración se da en el mes de Octubre con un promedio y error estándar de $57.2 \pm 8.57 \mu\text{g} / \text{m}^3$. Comparando la concentración contra las variables meteorológicas se encuentran valores de correlación muy bajos ($r_{\text{temperatura}} = -0.283$, $r_{\text{humedad}} = 0.0002$ y $r_{\text{velocidad}} = -0.333$) con $p < 0.001$; esto indica que su comportamiento difiere significativamente y no se puede afirmar que la concentración de $PM_{2.5}$ es dependiente de las condiciones meteorológicas, sin embargo, analizando a lo largo del periodo de monitoreo gráficamente y por los promedios mensuales se observa una disminución de la concentración en los meses de Junio, Julio y Agosto (dentro de la temporada de lluvias), indicando con ello que la Humedad Relativa puede afectar sobre su concentración pero en menor grado que en PST. Este efecto se demuestra a través de los estudios efectuados en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM por Villalobos, (1998), quien encontró que las aereopartículas finas contienen mayor contenido de compuestos orgánico insolubles en agua que el material grueso (PST y PM_{10}), esto provoca que la depuración por humedad no sea favorecida; por lo que la fuente de emisión es la que determina la concentración de las aereopartículas $PM_{2.5}$ y su depuración en la atmósfera se realiza principalmente por procesos de nucleación, coagulación, acumulación, reacciones químicas y en menor medida por depuración por lluvia. Por ello, las aereopartículas PST tienen tiempos de permanencia cortos en la atmósfera (del rango de minutos) debido a su tamaño y composición las hace fácilmente

sedimentables a diferencia de las $PM_{2.5}$ quienes al tener diámetros menores y su alto contenido de compuestos orgánicos pueden permanecer por mayor tiempo.

Un factor importante a considerar es el número de días en que se rebasó la norma establecida para cada tipo de aereopartícula. En PST sólo se rebasó 2 días, mientras que en $PM_{2.5}$ se rebasaron 10 días predominantemente en el mes de Octubre. En el monitoreo de PST, el caso especial de Marzo, donde se presentó la máxima concentración ($309.9 \mu\text{g} / \text{m}^3$) pudo deberse al aumento en la velocidad del viento promedio (con un promedio de 3.16 m/s), provocando la resuspensión del material particulado y generando un aumento de la concentración. Para los casos de $PM_{2.5}$ de incremento de la concentración elevado se presentaron en los meses de Mayo, Junio, Octubre y Noviembre. El caso del monitoreo del 16 de Mayo, 16 de Octubre y 21 de Noviembre son casos especiales debido a que hubo incendios en el basurero de Bordo – Poniente (Mencionados en el Apéndice A), provocando que los índices de los contaminantes atmosféricos se elevaran de manera importante.

Comparado con la normatividad ambos contaminantes rebasaron el promedio anual límite establecido por las normas, en PST se rebasó en 1.6 veces el límite máximo establecido en la NOM-024-SSA-1993, al igual que el número de veces que se puede rebasar la norma superando en 2 días (establecido como uno día permitido); en el caso de $PM_{2.5}$ el promedio anual se rebasó en más del doble al límite establecido por la USEPA (2.6 veces), mientras que los días en que se rebasó la norma se superó en 10 días (establecido como uno solo permitido). Las fechas de monitoreos que rebasaron la norma están descritas en la tabla R.6. en los Resultados. Esto describen la situación ambiental de la zona como severa debido a los días en que se rebasa los límites máximos permisibles, incluso para $PM_{2.5}$ se presentan concentraciones que rebasan en más de 2 veces la norma para periodos de 24 horas. Todo ello repercute directamente en la población y el medio ambiente por el riesgo que lleva hacia la salud debido a las características de los compuestos adsorbidos ya mencionadas.

Si se toma en cuenta la concentración de aereopartículas por día de monitoreo se observa que en las PST no existe una influencia significativa entre cada día obteniendo concentraciones promedio entre 127 y 133 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Analizando la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ se observa que existe mayor concentración en lunes, miércoles y jueves, mientras que sábados y domingos la concentración disminuye; esto provocado por la gran afluencia automotriz entre semana, mientras que en el fin de semana disminuye considerablemente. Con ello se confirma que la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ influyen las fuentes de emisión móvil, siendo la más importante en la zona seguida por el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México del cual provienen contaminantes del combustible empleado en los aviones (Turbosina).

Análisis del MOE.

El origen principal del material orgánico adsorbido a las aereopartículas es la combustión incompleta de gasolina, quema de basura y procesos de combustión, entre otras. La relación entre su concentración con respecto a la de aereopartículas toma una gran importancia en la predicción de su comportamiento, así para determinar su porcentaje y la composición de HAP's presentes.

Observando el comportamiento de la concentración de MOE para PST muestra un decremento a lo largo del año, el cual es semejante a la disminución presentada en la concentración de aereopartículas. La menor concentración se presenta en el mes de Junio con un promedio y desviación estándar de $3.23 \pm 2.31 \mu\text{g} / \text{m}^3$, mientras que la mayor concentración en Enero con $11.67 \pm 7.05 \mu\text{g} / \text{m}^3$. En el caso de $\text{PM}_{2.5}$ la concentración de MOE no sigue un comportamiento estable, sin embargo, existe una ligera disminución para la temporada de lluvias presentándose la menor concentración promedio en los meses de Agosto – Septiembre de $8.21 \pm 2.77 \mu\text{g} / \text{m}^3$ y la mayor en Enero de $20.19 \pm 3.14 \mu\text{g} / \text{m}^3$. Este comportamiento puede deberse por un lado a la disminución de la concentración de aereopartículas en el aire y por otro al efecto de adsorción de vapor de agua en las aereopartículas, esto provoca que la materia orgánica adsorbida sea menor conforme se incrementa la humedad en el ambiente, produciendo con ello una competencia entre agua y

materia orgánica no soluble que depende directamente de la composición del material particulado y de la fuente de origen (Finlayson y Pitts, 1986).

El porcentaje de material orgánico con respecto a la concentración total de PST tiene un promedio del 5%. Si se compara este valor con lo encontrado por Amador, (1993) en monitoreos realizados en la zona Suroeste del D. F. donde el porcentaje de MOE para PST fue de alrededor de 4.2 % utilizando el mismo método de extracción, se encuentra que el material muestreado en esta zona contiene menor cantidad de materia orgánica adsorbida, por lo que la emisión de aereopartículas con mayor contenido de materia orgánica (provenientes de fuentes antropogénicas) es mayor en la zona Noreste ocasionado en gran medida por el gran asentamiento poblacional y la gran afluencia vehicular.

El porcentaje de MOE encontrado en $PM_{2.5}$ oscila entre 30 y 80% con respecto a la concentración total, demostrando su origen antropogénico, mostrando que gran parte de su contenido total pertenece a materia orgánica adsorbida siendo las fuentes de emisión de combustión cercanas al punto de monitoreo las principales.

La relación entre la concentración de PST y su MOE muestra que no existe una diferencia significativa entre ambas con un valor anual de $r_{MOE\ ANUAL} = 0.601$, con un máximo de 0.942 en Octubre y un mínimo de -0.73 en Mayo, encontrando que el comportamiento de la concentración del material orgánico adsorbido en PST depende directamente de la concentración de las aereopartículas. Si se observa la relación entre la concentración de $PM_{2.5}$ y su MOE existe una mayor dependencia de esta con respecto a la concentración de aereopartículas, los coeficientes de correlación tienen un máximo de 0.916 en Mayo y un mínimo de 0.44 en Junio, el valor anual es de $r_{MOE\ ANUAL} = 0.49$, lo que indica que no existe una diferencia significativa entre ambas variables y que la concentración de MOE está relacionado directamente con la concentración de $PM_{2.5}$ al igual que en PST. Al obtenerse esta dependencia se puede predecir que ambos tipos de aereopartículas provienen de las mismas fuentes de emisión, con la diferencia de que la contribución de material geológico, erosión eólica y fuentes naturales son mayores para PST. El cálculo de correlación anual pudieron verse afectado por los eventos suscitados en el basurero de Bordo - Poniente

donde se produjeron altos niveles de concentración por los incendios en la zona, los cuales pudieron influir en el cálculo de este indicador.

Se determinó que el método empleado de extracción de MOE presenta una eficiencia de 97% de MOE total para PST y 90% para PM_{2.5}, por lo que el procedimiento es válido y presenta una alta eficiencia de extracción igual al procedimiento establecido por el método TO-13 el cual presenta una eficiencia entre 90 a 95%.

Análisis de HAP

Observando los promedios anuales de concentración de cada HAP's para PST se presenta un aumento conforme aumenta el peso molecular, los HAP's desde el Pireno al Coroneno aumenta su concentración gradualmente con excepción del benzo (a) antraceno y el benzo (b) fluoranteno que no presentan variaciones considerables al igual que las especies de bajo peso molecular (del Indeno al Fluoranteno). Los HAP's que presentaron mayor concentración fueron el Indeno(1,2,3 - cd)Pireno, Benzo(e)Pireno, Coroneno y Benzo(ghi)perileno, siendo este último el mayor con un promedio y error estándar de $0.33 \pm 0.03 \text{ ng / m}^3$.

En el caso de PM_{2.5} se observa un aumento de la concentración de HAP's para las especies de peso molecular medio (Fluoranteno, Pireno y Benzo(a)antraceno) y para los de alto peso molecular (Coroneno y Benzo(ghi)perileno) siendo mayores las concentración de Fluoranteno y Pireno, con promedios anuales y error estándar de $1.28 \pm 0.51 \text{ ng / m}^3$ y $2.86 \pm 1.07 \text{ ng / m}^3$ respectivamente.

La explicación de que los HAP's semivolátiles Pireno, Criseno, y Fluoranteno (4 anillos), hayan tenido concentraciones elevadas en PM_{2.5} puede deberse a la fuente de origen misma ya que principalmente los HAP's de bajo peso molecular provienen de procesos de combustión de fuentes vehiculares (Daisey *et al.*, 1986). También se han encontrado que estas especies predominan en aeropartículas finas de rango de 0.5 - 1 μm , y dependen

también de la concentración de aereopartículas en el aire y su equilibrio fase vapor – partícula, además de que estas especies pueden generarse también de forma secundaria (vía reacción química) por lo que aumenta su concentración en función del grado de conversión y de la fuente de emisión.

En el caso de las especies de 5 anillos y mayores son generadas principalmente junto con el material particulado. Su baja volatilidad provoca la adsorción de las mismas en la fuente misma de emisión, por lo que su concentración depende directamente del tipo de fuente de emisión y el grado de emisión, El benzo(b)fluoranteno, indeno(1,2,3-cd)pireno y Coroneno tienen su fuente de origen principal de fuentes vehiculares que emplean diesel, combustión de la basura, del humo del tabaco y de la producción de aluminio. Su concentración depende directamente del grado de adsorción de las aereopartículas y por su peso molecular, al ser mayor, aumenta su estabilidad y disminuye su capacidad reactiva.

Si comparamos la concentración de HAP's con respecto a las temporadas de sequías (Enero a Abril y Octubre a Noviembre) y de lluvias (Mayo a Septiembre) se presentó mayor concentración en la primera época para ambos tipos de aereopartículas. Esto pudo ser provocado por el efecto depurador de la humedad y la lluvia sobre los contaminantes y la disminución del material orgánico adsorbido, además de que las temperaturas mayores en la temporada de secas pudieron favorecer la formación de HAP's a través de reacciones químicas secundarias.

Las fuentes de emisión principales de HAP's son los procesos de combustión en vehículos de gasolina, diesel y combustión de basura. Al detectarse tanto en PST como en $PM_{2.5}$ el mismo número de HAP's (25 y 24 especies respectivamente), se demuestra que ambos tipos de aereopartículas coinciden con esta misma fuente de emisión antropogénica, junto con la formación de material particulado secundario en el caso de $PM_{2.5}$.

Con respecto a las correlaciones entre la concentración de aereopartículas y HAP adsorbido se encuentran diferencias en cada caso. En PST las correlaciones mayores se presentaron para el 4,5 Dimetilfenantreno ($r=0.531$) y el Fluoranteno ($r= 0.51$), siendo para

el resto de los HAP's menor a 0.5, estos valores de correlación muestran que el comportamiento de la concentración de los HAP's no depende de la concentración de PST ya que principalmente contienen adsorbidos compuestos inorgánicos provenientes de dispersión de materiales de la superficie de la tierra (metales, minerales o sales inorgánicas) donde, al igual que en MOE, la concentración de los HAP's depende en gran medida de emisión de procesos de combustión.

Para las PM_{2.5} las correlaciones mayores se presentaron para el Pireno ($r = 0.636$), Benzo(a)antraceno ($r = 0.622$), Criseno + Trifenileno ($r = 0.682$), Dibenzo(ac+ah)antraceno y), benzo(e)pireno ($r = 0.663$) entre otros mas, los valores de correlación, a diferencia del comportamiento en PST, los HAP's muestran mayor dependencia de la concentración de PM_{2.5}. Esto demuestra la predominancia de las especies orgánicas en aereoparticulas finas y que la concentración de HAP's es dependiente de su concentración.

En referencia al porcentaje de concentración de HAP's con respecto al total de la concentración en PST representa un 2.77% del total, siendo el Benzo(ghi)perileno con el porcentaje mayor de 0.6 %, mientras que en PM_{2.5} los HAP's forman el 8.04% del total y en este caso el Fluoranteno es el mayor con un porcentaje de 1.51%, este porcentaje es elevado mostrando la influencia de las fuentes móviles en la composición del material orgánico de las aereoparticulas PM_{2.5}.

ANALISIS DE MONITOREOS DE PM_{2.5} DONDE SE PRESENTARON CONCENTRACIONES ELEVADAS

Existen 3 puntos donde se presentaron niveles elevados de concentración de aereoparticulas PM_{2.5} rebasando la norma establecida, estos puntos fueron el 16 de Mayo, 16 de Octubre y 21 de Noviembre, atribuido a los incendios producidos en el basurero de Bordo – Poniente. Se presentaron concentraciones de 73.25, 96.49 y 136.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Este suceso indica la influencia del basurero sobre la concentración de aereoparticulas en casos en donde se presentan eventos ambientales; sin embargo, se presenta un retardo de los niveles elevados de concentración (con una diferencia de 4 días)

para el monitoreo de mayo. Esto pudo ser provocado a las condiciones meteorológicas para la depuración y sedimentación de las aereopartículas, ya que no eran favorables hasta el día jueves en que se realizó el monitoreo donde se dan niveles elevados de Humedad Relativa e incluso precipitaciones, produciendo la inducción de depuración de aereopartículas por lluvia y sedimentación.

El nivel de MOE para estos monitoreos sólo registró incremento en la concentración de la muestra del 16 de Mayo ($C_{MOE} = 25.97 \mu\text{g} / \text{m}^3 \text{ STD}$) siendo más del doble que la concentración promedio. Dicho efecto puede deberse a que gran parte del material generado en los procesos de combustión de la basura corresponde a hollín, carbón, dioxinas y furanos, derivados químicos de carbono y otros compuestos los cuales no pueden ser obtenidos de manera eficiente a través del proceso de extracción o bien forman mayor porcentaje de los compuestos adsorbidos en las aereopartículas que los HAP's. Sin embargo, si se observa la concentración de éstos se ve un incremento considerable en su concentración para todas las especies. El comportamiento obtenido es semejante en los 3 días y se observa en los gráficos 17 y 18 de los resultados; para el 21 de Noviembre se obtuvieron las mayores concentraciones de HAP's destacando el Pireno con $37.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el Benzo(ghi)perileno con $30.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el Fluoranteno con $25.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto concuerda con lo encontrado por Amador, (2001) quien menciona que niveles elevados de HAP's por arriba de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en aereopartículas finas (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) han sido encontrados en zonas urbanas y donde se presentan en la cercanía de incendios naturales, llanuras incendiadas e incendios de basureros, que en este caso se demuestra con las concentraciones encontradas para algunos de ellos.

En el segundo caso de los resultados obtenidos para el mes de Octubre donde se presentaron niveles elevados de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ en los monitoreos del Jueves 3 Octubre, Miércoles 9 Octubre, y Lunes 21 de Octubre con concentraciones de 68.02, 76.49 y $81.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dentro de estas fechas se realizó la repavimentación de las avenidas principales de la zona de monitoreo. El aumento de la concentración de aereopartículas pudo deberse primordialmente al contenido de los materiales de pavimentación, estos están compuestos de cemento asfáltico (conocido como chapopote), grava fina, material

particulado, compuestos volátiles, hollín, entre otros compuestos, generando un aumento en la concentración de las aereopartículas finas. Con respecto al valor encontrado de MOE no existe un incremento considerable en la concentración al igual que el porcentaje de MOE con respecto a la concentración de aereopartículas (siendo menor al promedio anual). Esto mismo se presentó en la concentración de HAP's siendo inferiores los valores encontrados que en el caso presentado en el punto de monitoreo del 16 de Octubre.

La diferencia entre ambos procesos es que la combustión de basura genera gran cantidad de material particulado que contiene adsorbido mayor concentración de material orgánico a diferencia del generado por pavimentación en el cual las aereopartículas generadas son de mayor diámetro y favorecen el proceso de depuración por sedimentación y por coagulación.

ANALISIS TOPOGRAFICO Y URBANO

Tomando en cuenta los valores obtenidos de condiciones metereológicas comparadas con la topografía y disposición de las zonas de concentración poblacional se encontró que la dirección predominante para el período de monitoreo va en un ángulo de 50° a 100° (de suroeste a noreste). En las figuras 1 y 2 del Apéndice A (mapas urbanos) se encuentra que la zona ubicada al suroeste de la zona de monitoreo es con una gran concentración poblacional la cual tiene gran densidad de calles y avenidas, también se encuentra el Aeropuerto Internacional de México. La zona al ser terreno sin levantamientos topográficos (cerros, elevaciones, etc.), permite que la dispersión de aereopartículas se lleve hasta el punto de monitoreo. La zona del Bosque de Aragón al tener árboles en grandes cantidades permite remover parte del material particulado grueso formado. Además si se analiza las características del suelo este no favorece la erosión y la resuspensión del material debido a que es una zona con altos niveles de sales y los cuales forman capas gruesas sobre el suelo que son muy higroscópicas.

Quadri y Sánchez, (1992) mencionan que los gradientes de viento al igual que los puntos de emisión son los dos factores más importantes en la dispersión de los contaminantes atmosféricos. Aplicando esto al punto de monitoreo, la velocidad del viento

presentó valores bajos en todo el período de monitoreo en la zona (entre 0.5 y 2 m/s), esto demuestra que la concentración de PST en la zona no rebasara más que en dos días de monitoreo la normatividad. Esto contradice lo esperado ya que se suponía que la concentración pudiera ser elevada en la zona debido a que sus características de suelo árido y falta de vegetación permitirían niveles elevados de material grueso por erosión eólica. Este hecho queda comprobado en la dirección de viento predominante ya que la zona que reencuentra al noreste del punto de monitoreo es árida y se encuentra en posición contraria a la favorecida para la dispersión de contaminantes en el punto de monitoreo.

A través de este análisis topográfico y urbano de la zona de monitoreo (Zona Aragón) utilizando el mapa 3 del Apéndice A, se confirma que los puntos de emisión de aereopartículas principales de esta zona se encuentran los vehículos automotores y de carga (gasolina y diesel), así como la emisión de la zona del Aeropuerto Internacional. Uno de los puntos de emisión importantes es el Basurero de Bordo Xochiaca el cual en caso de incendio provoca en la zona que los niveles se eleven de manera considerable y a pesar de no ser favorecida la dispersión de contaminantes en la zona de monitoreo en los días de los sucesos ambientales, se presenta en la zona niveles elevados de aereopartículas finas ($PM_{2.5}$).

CONCLUSIONES

- Los monitoreos de aereopartículas PST y $PM_{2.5}$ realizadas en el Centro Tecnológico Aragón durante el año del 2002 arrojaron que las mayores concentraciones se presentaron en la época de sequías para ambos tipos de aereopartículas, demostrando el efecto de la Humedad en el ambiente y la lluvia como depuradores de aereopartículas en la atmósfera, siendo mayor en aquellas aereopartículas con contenido de materia orgánica menor adsorbida y especies hidrosolubles provenientes de material geológico (PST) a diferencia que las aereopartículas $PM_{2.5}$ por su alto contenido de material orgánico no soluble en agua.
- Entre las variables meteorológicas, donde se encontró mayor correlación con la concentración de PST fue la Humedad Relativa, mientras que en $PM_{2.5}$ no se encontró correlación entre alguna de ellas, por lo que su concentración no es afectada de manera considerable por las condiciones meteorológicas sino que depende en mayor medida de la fuente de emisión.
- Ambos tipos de aereopartículas tuvieron comportamientos diferentes. PST presentó disminución a lo largo del período de monitoreo y $PM_{2.5}$ presentó comportamiento aleatorio no uniforme. Se encontraron concentraciones superiores al límite promedio anual y los días máximo en el cual puede ser rebasado, establecido en la

normatividad para PST (NOM-024-SSA-1996) y en $PM_{2.5}$ (40 CFR Parte 50 Apéndice L). En PST se rebasó en 2 días y en el caso de $PM_{2.5}$ 10 días.

- Se presentaron 3 casos especiales de concentración elevada en el monitoreo de aereopartículas $PM_{2.5}$ originados por los incendios en el basurero de Bordo Xochiaca. Demostrando la influencia de este punto de emisión en la concentración de contaminantes en la zona.
- Se encontró una mayor concentración de materia orgánica en $PM_{2.5}$ que en PST. La correlación entre la concentración de aereopartículas y la MOE muestra una dependencia entre sí, no existiendo diferencia significativa. En ambos tipos de aereopartículas se presentaron porcentajes elevados de MOE, mostrando que ambos tienen en común la misma fuente de emisión. La relación de MOE y las variables meteorológicas solo muestra una relación significativa de MOE en PST, por lo que su concentración depende directamente de la concentración de aereopartículas.
- Se detectaron 26 HAP's en aereopartículas PST y 25 en $PM_{2.5}$, lo cual indica que ambos tipos de aereopartículas probablemente son procedentes del mismo tipo de fuente de emisión. Se detectaron el Fluoranteno, Pireno y Benzo (ghi) perileno como los HAP's de mayor concentración en temporada de lluvias y el Pireno y Benzo (ghi) perileno en temporada de sequías. Para PST el Coroneno, y el Benzo (ghi) perileno, fueron los HAP's de mayor concentración promedio anual, y para $PM_{2.5}$ el Fluoranteno, Pireno, Coroneno, y el Benzo (ghi) perileno, por lo que en PST predominaron las especies de mayor peso molecular, mientras que en $PM_{2.5}$ predominaron las especies de medio y alto peso molecular. Los dos últimos son indicadores de emisiones por fuentes móviles y por emisiones de quema de basureros, demostrando que las fuentes de emisión principales de la zona de monitoreo son los vehículos particulares y de carga, así como los incendios en el Basurero de Bordo Poniente.
- El porcentaje de los HAP's con respecto a la Materia Orgánica total Extraída es de 2.7% para PST y 8.04% en $PM_{2.5}$, y un promedio anual de HAP's total de 1.68 en PST y $10.11 \text{ ng} / \text{m}^3_{\text{STD}}$ en $PM_{2.5}$ mostrando que este tipo de compuestos predomina en aereopartículas finas. Comparado con lo encontrado por Amador, (2001) se encuentra un valor inferior en el promedio anual para PST y la concentración de

HAP's en $PM_{2.5}$ se encuentra más bajo que lo encontrado para PM_{10} . Demostrando la influencia de material geológico y de especies orgánicas diferentes adsorbidas al material particulado de esta zona.

- Las actividades poblacionales influyen sobre la concentración de aereopartículas, observando que la concentración por día de monitoreo fue mayor en días de gran actividad poblacional (Lunes, Miércoles y Jueves) a diferencia de los días de descanso (Sábado y Domingo), este efecto principalmente se observó para aereopartículas $PM_{2.5}$.
- A través del análisis topográfico y urbano se puede predecir que los principales puntos de emisión de aereopartículas de esta zona son los vehículos automotores y de carga, así como las emisiones del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. La topografía del lugar permite una dispersión adecuada de los contaminantes ya que no existen elevaciones pero debido a la gran concentración poblacional se genera gran cantidad de contaminantes. La influencia de la zona árida cercana al punto de monitoreo no tuvo un efecto directo en la concentración de PST.
- Una de las soluciones a la problemática de contaminación de la zona puede ser retirar de la circulación automóviles de modelos antiguos que generen gran emisión de contaminantes, así como modificar el parque vehicular colectivo de la zona.
- Se debe establecer una normatividad para aereopartículas $PM_{2.5}$ de concentración máxima permisible ya que en México no se cuenta con ello y es muy importante debido a los efectos nocivos que provocan en la población.
- Se debe diseñar un plan de protección a la población en caso de presentarse concentraciones elevadas de aereopartículas, principalmente para $PM_{2.5}$, así como informar acerca de los efectos de las aereopartículas a la salud ya que es sumamente escasa, y mantener alerta a la gente en caso de episodios ambientales y las medidas que deben llevarse a cabo.
- El basurero de Bordo Xochiaca es uno de los principales generadores de contaminantes cuando se suscitan incendios, por lo que es necesario la aplicación de un sistema de control adecuado de disposición de residuos sólidos para evitar las prácticas de quema de basura para su disminución de volumen hechas por los grupos de pepenadores, quienes en la mayoría de los casos, provocan los incendios.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Au. Institucional: Swisscontact; COSUDE. (12 de Febrero de 2003). Manual de laboratorio. [En red], ago. 2001, vi, 86 p. Ilus. Disponible en: www.cepis.ops-oms.org/
- División General de Gestión Ambiental del Aire (DGGAA) Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) (1999). Informe Anual de la Calidad de Aire en el Valle de México. [En red] Disponible en: Reporte 99 emision part.pdf CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Allsopp M., Costner P., Johnston P., (Marzo 2001) Estado del conocimiento de los impactos de los incineradores de residuos en la salud humana. Laboratorios de Investigación de Greenpeace, Universidad de Exeter, Reino Unido.
- Amador M. O., Delgado R. A., Villalobos P. R., Mounive C. Z., Ortiz M. R., Díaz G. G., Bravo C. J. L. & Gómez A. S. (2001). Partículas Suspensas, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y Mutagenicidad en el Suroeste de la Ciudad de México. Rev. Int. Contam. Ambient. 17(4), 193-204.
- Anton A., Lizaso J. (2001). Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria. Tomo XXX.
- ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (Agosto 1995). Public Health Statement for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). [En red] Disponible en : <http://www.atsdr.cdc.gov/contacts.html>
- Sociedad Sueca para la Conservación de la Naturaleza (SSCN) (1998), "Disminución de la Capa de Ozono". [En red] Disponible en: http://www.bcn.cl/pags/publicaciones/serie_estudios/esolis/031-06.htm
- Blaser M.(Agosto 2000). Dispersión de la contaminación atmosférica causada por el tráfico vehicular. Aplicación de un modelo matemático para Guatemala Ciudad y San Salvador. (Lagn B., Majano R.). Swiss-contact. [En red] Disponible en Dispers.pdf. CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Borja A. V. H. (1997). Contaminación atmosférica por material particulado y mortalidad de la ciudad de México. [En red] Disponible en VMEXICO.PDF CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Bravo , A. H. & Sosa R. (1987). La contaminación del aire en México. México, Universo veintiuno(Colección Medio Ambiente).
- Canada Environmental Protection Agency (CEPA) / FPAC (1995). National ambient air quality objectives for particulate matter less than 10 µm (PM₁₀) Working Group on Air Quality Objectives and Guidelines.

-
- C. Chow, Judith, G. Watson, John (Agosto 1998) Guideline on Speciated Particulate Monitoring. Draft 3. [En red] Disponible en Drispec. pdf. CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Castillejos S. M. (1997). Caracterización de las circunstancias Clínicas y Epidemiológicas que rodean las muertes en días de alta y baja concentración de partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}) y otros contaminantes atmosféricos en la Zona Suroeste del Área Metropolitana de la Ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco. [En red] Disponible en PARTÍCULAS.PDF CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Clayton B. G., Silverstein R. M. (1974) Spectrometric indentification of Organic Compounds. John Wiley & Sons. Inc. 6-12.
- Correa G. A. & García C. G. Secretaría del Medio Ambiente. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación (1999). Análisis del comportamiento histórico de la temperatura en el Valle de México. [En red] Disponible en: R_0187.PDF. CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Coutant R. W. , Brown L., Chuang J.C., Riggan R.M. & Lewis R.G. (1988). Phase distribution and artifact formation in ambient air sampling for PAH. Atmos. Environ. **22** , 403-409.
- Cuesta S. O., González M., Sánchez P., Collazo A., Wallo A. & Guevara A. (1997). Air Quality Comparison in outdoor and indoor environment in humid tropic(Cuba) La Habana, Cuba. [En red] Disponible en: AIRQUALI.PDF CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Diaz, R, (1993) Contaminación del aire. [En red] Disponible en Cuadref.pdf CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Daisey J.M., Cheney J.L. y Liou P. (1986). Profiles of organic particulate emissions from air pollution sources: status and needs for receptor source apportionment modeling. J. Air. Pollut. Control Assoc. **36**, 17-33.
- División General de Gestión Ambiental del Aire (DGGAA)Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). (Enero-Diciembre 2002). Datos meteorológicos y calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Puntos de monitoreo "Hangares y San Agustín". Informe mensual. [En red] Disponible en: http://www.sma.df.gob.mx/imeca_web/
- División General de Gestión Ambiental del Aire (DGGAA)Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). (Enero-Febrero 2002). Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Calidad de Aire. Informe Bimestral. [En red] Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx>
- División General de Gestión Ambiental del Aire (DGGAA)Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). (Julio-Agosto 2002). Informe Bimestral de la Calidad del Aire del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT). [En red] Disponible en: www.sma.df.gob.mx

-
-
- División General de Gestión Ambiental del Aire (DGGAA) Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). (Marzo-Abril 2002). Informe Bimestral de la Calidad del Aire del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT). [En red] Disponible en: www.sma.df.gob.mx
 - División General de Gestión Ambiental del Aire (DGGAA) Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). (Mayo- Junio 2002). Informe Bimestral de la Calidad del Aire del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT). [En red] Disponible en: www.sma.df.gob.mx
 - División General de Gestión Ambiental del Aire (DGGAA) Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). (Noviembre-Diciembre 2002). Informe Bimestral de la Calidad del Aire del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT). [En red] Disponible en: www.sma.df.gob.mx
 - División General de Gestión Ambiental del Aire (DGGAA) Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). (Septiembre- Octubre 2002). Informe Bimestral de la Calidad del Aire del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT). [En red] Disponible en: www.sma.df.gob.mx
 - División General de Gestión Ambiental del Aire (DGGAA) Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) (Diciembre 2002). Sistemas Meteorológicos Predominantes durante el mes de Diciembre de 2002. Reporte Mensual. Disponible en: [r_diciembre01.pdf](#) CEPIS
 - División General de Gestión Ambiental del Aire (DGGAA) Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). (Diciembre 2002). Patrón del Viento en el Valle de México. Disponible en: [r_diciembre02.pdf](#) CEPIS
 - Escobedo F. J. F., Victoria A. A. R., Ramírez G. A. Secretaría del Medio Ambiente. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación (1999). La problemática Ambiental en la Ciudad de México generada por las Fuentes Fijas. [En red] Disponible en: [R_0130.PDF](#) CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
 - FACA National and Regional Strategies Workgroup. (Junio 16 de 1997). PM_{2.5} Composition and Sources. Emissions, Monitoring and analysis Division Office of Air Quality Planning and Standard. [En red] Disponible en: [Contenido PM2.5 EU.PDF](#) USEPA www.epa.gov/
 - Filayson-Pitts J.B y Pitts N. J. Jr (1986). Atmosferic Chemistry: fundamental and experimental techniques. Wiley, Nueva York.
 - Friedlander, S. K., (1977), Smoke, dust and haze: Fundamental of aerosol behavior. Whiley Interscience, New York.
 - Graedel, T. E.; McGill, R. (1986) Degradation of materials in the atmosphere. Enviroment Science Technology. No. 20 pp:1093-1100.

-
-
- Gutiérrez A. V. J. Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental del Instituto Nacional de Ecología. (16 de Octubre de 2000). II Encuentro Latinoamericano de Calidad del Aire y Salud: Calidad del Aire en México. [En red]Ubicación: MEXICO1.PDF CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Gutiérrez J. H., Romieu I. (1998). Contaminación del aire. Riesgos para la salud. Ed. El Manual moderno, México.
- Holgate S. T., Samet J. M. (1999). Air Pollution and health. Ed. Academic, San Diego. E.U.
- Houk J. E., Chow J. C., Watson J. G., Simons C. A., Pritchett L.C., Goulet J. M. y Frazier C.A. (1989). Determination of particle size distribution and chemical composition of particulate matter from selected sources in California. Depto. De Recursos del Aire de California, C.A. Servicios Ambientales OMNI Inc.
- INEGI Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Condiciones Geográficas, Población y Desarrollo Económico del Distrito Federal y la Zona Metropolitana. [En red]. Disponible en: <http://dgenesyp.inegi.gob.mx/pubcoy/medioamb/mediodf/condic/condic.html>
- Instituto Nacional de Ecología, NOM-035-ECOL-1994, México.
- Instituto Nacional de Ecología – CENICA -JICA (1997), Segundo informe sobre la calidad del aire en ciudades Mexicanas de 1997. México.
- IPS Latino América (2002), “La capa de ozono”, [En red] Disponible en www.ips.org/
- Kertesz- Saringer M., Meszaros E. & Varkonyi T. (1984). On the size distribution of benzo (a) pyrene containing particles in urban air. Atmos. Environ. 5 , 429-431.
- Kleindienst T. E., Smith D. F., Li W., Edney E. O., Driscoll D. J., Speer R. E., Weathers W. S. (1999). Secondary organic aerosol formation from the oxidation of aromatic hydrocarbons in the presence of dry submicron ammonium sulfate aerosol. Atmos. Environ. 33, 3669-3681. [En red] Disponible en COMPUESTOS_SECUNDARIOS_ORGA.PDF CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Knudson W. L., Hynds P.M. (1978). Atmospheric reactions of PAH: facile formation of mutagenic nitro derivatives. Science 202, 515-519.
- Konig, J. (1980). Testing a high volume air sampler for quantitative collection of PAH. Atmos. Environ. 14 , 609-613.
- Koutrakis P., Wolfson J. M., Spengler J. D., Stern B. y Franklin C. A. (1989) Equilibrium size of atmospheric aerosol sulfates as a function of the relative humidity. Journal Geophysic. Res 94, pp. 6442 – 6448.

-
- Lao R. C. y Thomas R. S. (1980). The volatility of PAH and possible losses in ambient sampling, En: Polycyclic aromatic hydrocarbons (A. Björseth y A. J. Dennis, Eds.). Battelle Press, Columbus, pp. 829-839.
- Leahey D., Franklin N., Rideout G. (Octubre 1998). Calidad del Aire Ambiente Urbano. (ARPEL). Calgary, Alberta, Canada, [En red] Disponible en: [airquality_arpel-3-urban-esp.pdf](#) CEPIS [www.cepis.ops-oms.org/](#)
- Lee S.F. y Schuetzle D. (1983). Sampling, extraction, and análisis of polycyclic aromatics hydrocarbons for internal combustion engines. Handbook of polycyclic aromatics hydrocarbons (A. Björseth, Ed.). Dekker, Nueva York, Vol. 1, p. 27-94.
- Louis F. Fieser & Mary Fieser.(1968). Química Orgánica. Cuarta edición. Ed. Grijalbo. E.U.
- Manahan S. E., (1999). Environmental Chemistry. Séptima Edición. Lewis Publisher. E.U.
- Maubert, M, Mugica, V., Muñoz, J., Rico, E. & Torres, M. (2001), Temporal and spatial variation of metal content in TSP and PM₁₀ in México City during 1996 – 1998. Journal of Aerosol Science Vol. 33, p. 91-102.
- McGregor G. R. (1999). Air Pollution and Health. Academic Press. Birmingham U.K. Cap. 3.
- Morrison y Boyd. (1996). Química Orgánica. Quinta Edición. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana.
- Muñoz C. R., Carmona M. M. R., Pedroza S. J. L. & Granados G. M. G. Secretaría del Medio Ambiente. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación. (1999). Análisis de datos de PM2.5 registrados con equipo TEOM en las estaciones Ascapotzalco(AZC) y Santa Ursula (SUR) de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). [En red] Ubicación R_0205.PDF. en CEPIS [www.cepis.ops-oms.org/](#)
- Nielsel T., Feilberg A., y Binderup M. (1999). The variation of street air levels of HAP and other mutagenic PAC in relation of the regulation of traffic emmisions end the impact of atmosphere processes. Enviroment Science Pollution. Res 6.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (1997), 20th World Gas Conference Proceedings, Copenhagen.
- Olah, G. A., Molnar, A. (1995), Hydrocarbon Chemistry. John Wiley & Sons, p. 359.
- Pitts J. N., Jr., Van Cauwenbergh K. A., Grosjean D., Schimid J. P., fitz D. R., Belser W. L., Knudson G. B. y Hynds P. M. (1978). Atmospheric reactions of PAH: facile formation of mutagenic nitro derivates Science **202**, 515-519.

-
- Quadri, T. G., Sanchez C. L., (1992). La ciudad de México y la contaminación atmosférica. Ed. Limusa, México.
- Ramirez A. M. (1996). Monitoreo, Evaluación de la Exposición, Caracterización e Identificación de fuentes de partículas PM₁₀ y PM_{2.5} en la Zona Metropolitana del Valle de México. México D.F. [En red] Disponible en Monitoreo.pdf CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Robinson D. L. (1999). Fine Particulates (PM_{2.5}) Air Pollution Australia. LEAD Action News. Armidale Air Quality Group, NSW, Australia. Vol 7 No. 3 1999 ISSN 1324-6011. [En red] Disponible en: <http://www.ozemail.com.au/~airqual>.
- Sánchez C. C. I., Centro Nacional de Salud Ambiental (1997). Evaluación de Índices de Exposición en el Estudio de Efectos a la Salud por Contaminantes Atmosféricos del Sistema de Vigilancia Epidemiológica Ambiental de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. [En red] Ubicación: SALUD02.PDF CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Sbarato V., Manzo P. y Sbarato D. (1998). Análisis de compuestos orgánicos de material particulado atmosférico. Córdoba, Argentina. [En red] Ubicación: MATERIAL.PDF CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- Secretaría del Medio Ambiente (1988), Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).
- Secretaría del Medio Ambiente – Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) (1988), Condiciones Geográficas, Población y Desarrollo Económico del Distrito Federal y la Zona Metropolitana. México D. F. [En red] Disponible en: <http://dgcnesyp.inegi.gob.mx/pubcoy/medioamb/mediodf/condic/indgeo.html>
- Secretaría de Salud (SSA), NOM-024-SSA-1993, NOM-025-SSA-1993, México.
- Sitting M. (1994). World-wide limits for toxic and hazardous chemicals in air, water and soil. Noyes Publication, Park Ridge, Nueva Jersey.
- Trijonis, J. (1982) Existing and natural background levels of visibility and fine particles in the rural East. Atmospheric. Environment. 16: 2431-2445.
- U. S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards. (Septiembre 25 de 2000). Evaluation of Particulate Matter Continuous Emission Monitoring Systems. Final Report. Vol 1 Technical Report. [En red] Disponible en : R4703_02_07.PDF CEPIS www.cepis.ops-oms.org/
- U. S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards. (Enero 21 de 1999) . Particulate Matter (PM_{2.5}) Speciation Guidance Document. Third Draft. [En red] Disponible en: SPECPLN3.PDF CEPIS www.cepis.ops-oms.org/

- U. S. Environmental Protection Agency. Quality Assurance Guidance Document 2.12. Monitoring PM_{2.5} in Ambient Air Using Designated Reference Class I Equivalent Methods. Research and Development. Noviembre 1998. [En red] Disponible en M212COVD.PDF CEPIS
- U. S. Environmental Protection Agency. Center of Environmental Research Information Office of Research and Development.(Enero 1999). Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air. Compendium TO-13A. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient air Using Gas Chromatography/Mass Spectrometry GC/MS. Second Edition. Cincinnati, Oh. U. S. Environmental Protection Agency. [En red] Disponible en to-13arr.pdf USEPA www.epa.gov/
- U. S. Environmental Protection Agency. (Noviembre 1998). Method Compendium. Field Standard Operating Procedures for the PM_{2.5} Performance Evaluation Program. [En red] Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/amtic/pmqa.html>
- U. S. Environmental Protection Agency. (18 de Julio de 1997). Federal Register 40 CFR Part 50, Nacional Ambient Air Quality Standard for Particulate Matter, Final Rule.
- U. S. Environmental Protection Agency. (Noviembre 1998). Method Compendium. Field Standard Operating Procedures for the PM_{2.5} Performance Evaluation Program. [En red] Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/amtic/pmqa.html>
- U. S. Environmental Protection Agency. (Enero 1999). Particulate Matter (PM_{2.5}) Speciation Guidance Document. [En red] Disponible en: [specpln3.pdf](http://www.epa.gov/specpln3.pdf) <http://www.epa.gov/>
- Venkataraman C. & Friedlander S. K. (1994). Size Distributions of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Elemental Carbon. 2. Ambient Measurements and Effects of Atmospheric Processes. Los Angeles, California , E. U. Environ. Sci. Technol. 28, 563-572.
- Villalobos P. R., Gómez A. S., Delgado R. A. & Amador. M. O. (1998). Mutagenicidad de las Aeropartículas. Vertientes 1(1): 3-14.
- Whitby K. T., Sverdrup B. M., (1980) California Aerosols: their physical and chemical characteristics. Adv. Environment Science Technology. 10, 477.
- Wingrove A. S., Caret R. L. (1981). Química Orgánica. Oxford University Press. p.874 y 875.
- Wolfgang Lohbeck (Abril 1999). Diesel: Hechos más destacados sobre las emisiones. Una amenaza de cáncer desde el aire. Greenpeace. España. [En red] Disponible en: www.greenpeace.es.org

APENDICE A

- **TABLAS DE CONCENTRACION DE AEREOPARTÍCULAS PST Y PM_{2.5} ESTANDAR ANUAL.**
- **CARTAS CONTROL PARA MONITOREOS DE PST Y PM_{2.5}.**
- **MUESTRAS ELIMINADAS DE ANALISIS DE MOE EN PM_{2.5}.**
- **DATOS METEREOLÓGICOS EN DIAS DONDE SE PRESENTO ALTA CONCENTRACIÓN DE AEREOPARTÍCULAS EN PST Y PM_{2.5}.**
- **SUCESOS AMBIENTALES SUCEDIDOS DENTRO DEL PERIODO DE MONITOREO.**
- **MAPAS URBANOS Y TOPOGRAFICO DE LA ZONA DE MONITOREO.**

**TABLAS DE CONCENTRACION DE AEROPARTICULAS PST Y
PM_{2.5} ESTANDAR ANUAL.**

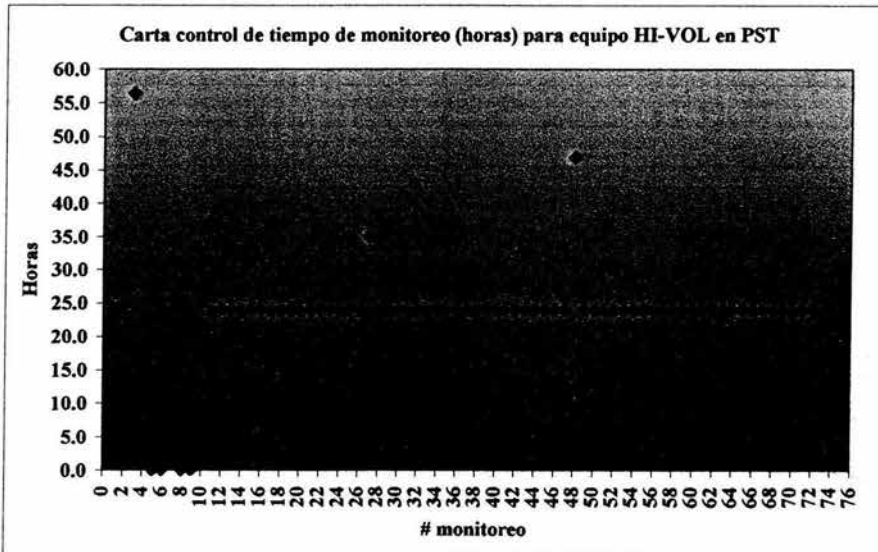
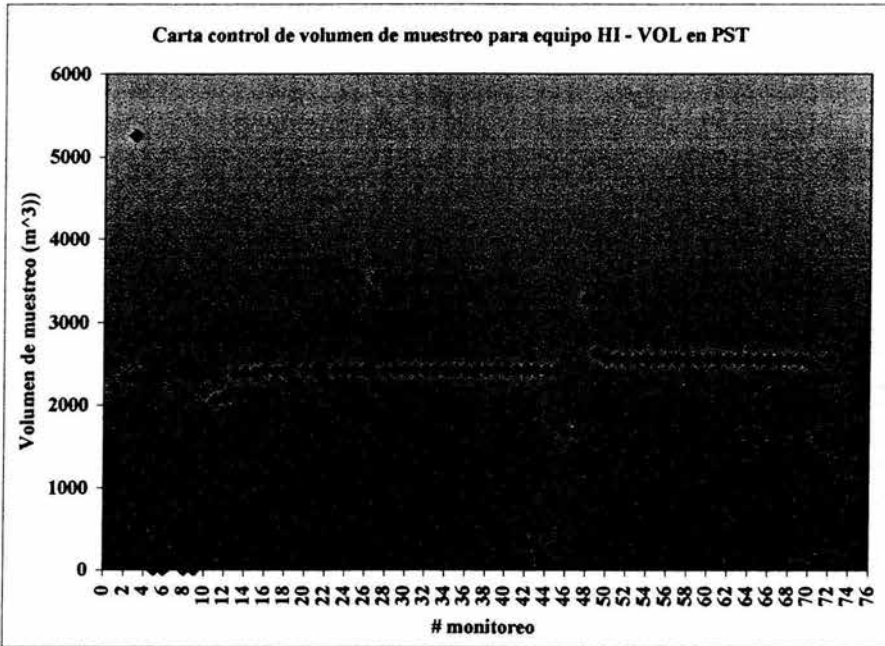
Tabla AA 1. Datos de fechas de monitoreo y concentración de aeroparticulas PST.

#	Fecha de muestreo	Conc. PST (µg/m ³)	#	Fecha de muestreo	Conc. PST (µg/m ³)	#	Fecha de muestreo	Conc. PST (µg/m ³)
1	Miércoles, 09 de Enero de 2002	309.9	28	Domingo, 21 de Abril de 2002	148.3	54	Miércoles, 17 de Julio de 2002	49.7
2	Martes, 15 de Enero de 2002	224.3	29	Miércoles, 24 de Abril de 2002	202.1	55	Sábado, 20 de Julio de 2002	117.8
3	Viernes, 18 de Enero de 2002	anulado	30	Sábado, 27 de Abril de 2002	236.2	56	Martes, 23 de Julio de 2002	88.2
4	Lunes, 21 de Enero de 2002	197.1	31	Miércoles, 01 de Mayo de 2002	140.4	57	Viernes, 26 de Julio de 2002	86.1
5	Jueves, 24 de Enero de 2002	anulado	32	Viernes, 03 de Mayo de 2002	159.6	58	Lunes, 29 de Julio de 2002	74.4
6	Domingo, 27 de Enero de 2002	anulado	33	Lunes, 06 de Mayo de 2002	146.4	59	Miércoles, 31 de Julio de 2002	92.7
7	Miércoles, 30 de Enero de 2002	147.6	34	Jueves, 09 de Mayo de 2002	206.9	60	Miércoles, 28 de Agosto de 2002	93.1
8	Sábado, 02 de Febrero de 2002	anulado	35	Domingo, 12 de Mayo de 2002	185.0	61	Viernes, 30 de Agosto de 2002	42.4
9	Martes, 05 de Febrero de 2002	anulado	36	Miércoles, 15 de Mayo de 2002	102.4	62	Miércoles, 18 de Septiembre de 2002	111.9
10	Jueves, 07 de Febrero de 2002	125.6	E	Jueves, 16 de Mayo de 2002	141.8	63	Sábado, 21 de Septiembre de 2002	50.7
11	Lunes, 11 de Febrero de 2002	76.3	37	Sábado, 18 de Mayo de 2002	125.4	64	Martes, 24 de Septiembre de 2002	72.5
12	Jueves, 14 de Febrero de 2002	159.7	38	Martes, 21 de Mayo de 2002	166.4	65	Viernes, 27 de Septiembre de 2002	65.0
13	Miércoles, 20 de Febrero de 2002	219.3	39	Viernes, 24 de Mayo de 2002	163.4	66	Lunes, 30 de Septiembre de 2002	77.8
14	Sábado, 23 de Febrero de 2002	116.2	40	Lunes, 27 de Mayo de 2002	147.6	67	Jueves, 03 de Octubre de 2002	115.8
15	Martes, 26 de Febrero de 2002	243.3	41	Jueves, 30 de Mayo de 2002	149.5	68	Lunes, 07 de Octubre de 2002	64.0
16	Viernes, 01 de Marzo de 2002	145.9	42	Domingo, 02 de Junio de 2002	78.3	69	Miércoles, 09 de Octubre de 2002	31.8
17	Lunes, 04 de Marzo de 2002	309.9	43	Miércoles, 05 de Junio de 2002	116.7	70	Miércoles, 16 de Octubre de 2002	42.2
18	Jueves, 07 de Marzo de 2002	165.5	44	Sábado, 08 de Junio de 2002	64.7	71	Jueves, 07 de Noviembre de 2002	147.8
19	Domingo, 10 de Marzo de 2002	146.8	45	Martes, 11 de Junio de 2002	28.0			
20	Miércoles, 13 de Marzo de 2002	156.6	46	Viernes, 14 de Junio de 2002	26.1			
21	Sábado, 16 de Marzo de 2002	202.5	47	Martes, 18 de Junio de 2002	118.1			
22	Miércoles, 03 de Abril de 2002	254.4	48	Jueves, 20 de Junio de 2002	72.3			
23	Sábado, 06 de Abril de 2002	142.3	49	Miércoles, 03 de Julio de 2002	100.0			
24	Martes, 09 de Abril de 2002	177.4	50	Viernes, 05 de Julio de 2002	68.4			
25	Viernes, 12 de Abril de 2002	90.8	51	Lunes, 08 de Julio de 2002	63.0			
26	Lunes, 15 de Abril de 2002	156.9	52	Jueves, 11 de Julio de 2002	56.0			
27	Jueves, 18 de Abril de 2002	146.0	53	Domingo, 14 de Julio de 2002	59.4			

Falta página

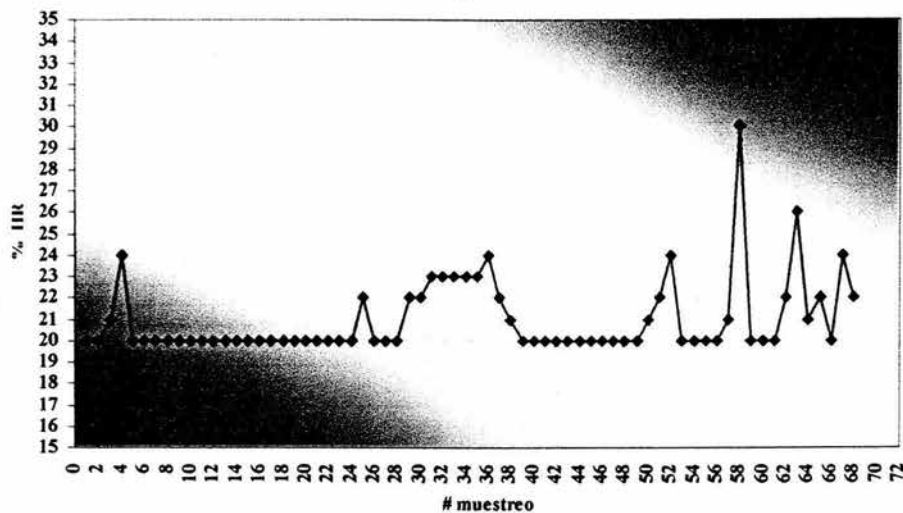
N° 133

CARTAS CONTROL PARA MONITOREO DE PST.



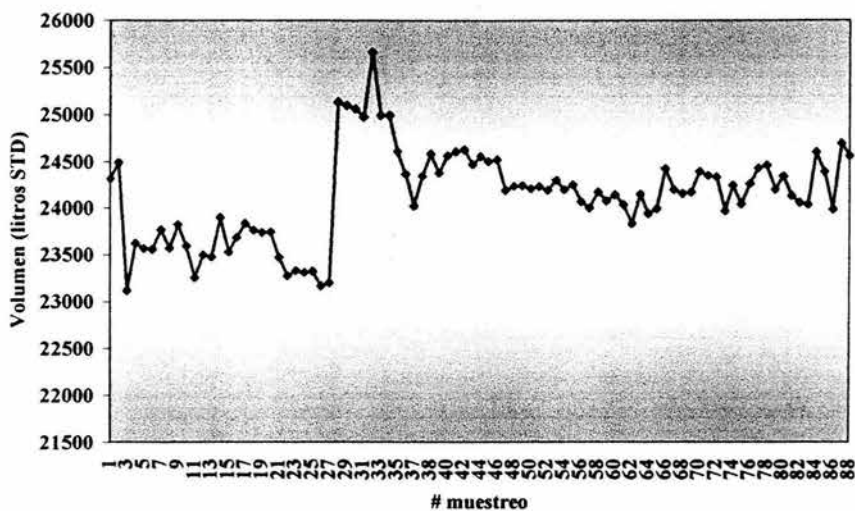
APENDICE A

Carta de humedad para filtros FVPST



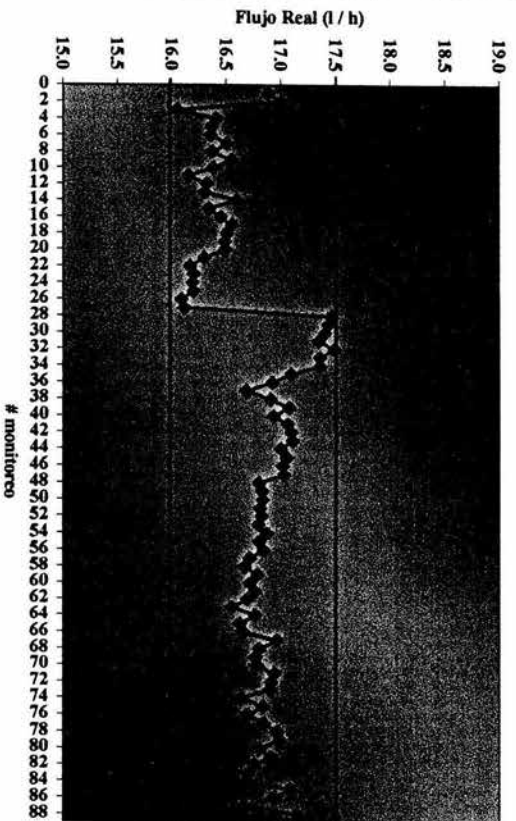
CARTAS CONTROL PARA MONITOREO DE PM_{2.5}.

Carta control de volumen muestreado en muestreo de PM_{2.5}

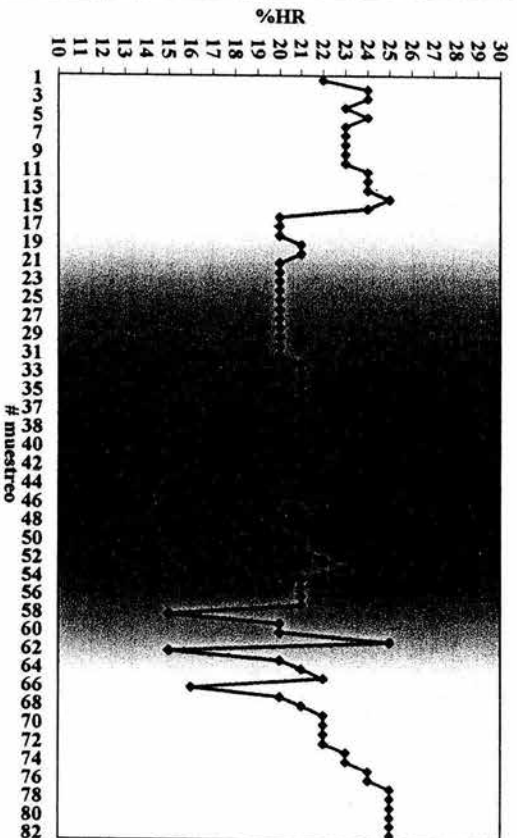


APENDICE A

Carta control de flujo de operación real en muestreo de PM2.5



Carta de Humedad de filtros ZFPM2.5

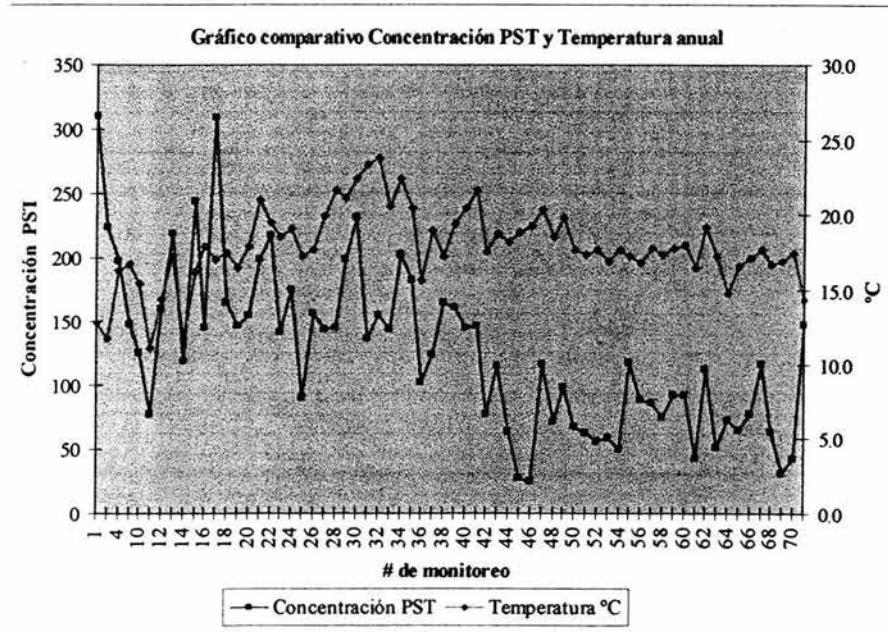


MUESTRAS ELIMINADAS DE ANALISIS DE MOE EN PM_{2.5}.

TABLA AA.3 Registro de muestras eliminadas.

FECHA Y NUMERO DE LA MUESTRA	OBSERVACION
09 de Enero (01)	Este lote de muestras se presume que existió contaminación en el proceso de preparación de la muestra, por lo cual no se tomaron en cuenta dentro del análisis estadístico.
18 de Enero (03)	
21 de Enero (04)	
05 de Febrero (09)	
11 de Febrero (11)	
14 de Febrero (12)	
17 de Febrero (13)	
23 de Febrero (15)	
07 de Marzo (19)	
13 de Marzo (21)	

Gráficas 7, 8 y 9. Comparativo entre concentración de aéreo partículas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y variables metereológicas para PST.



APENDICE A

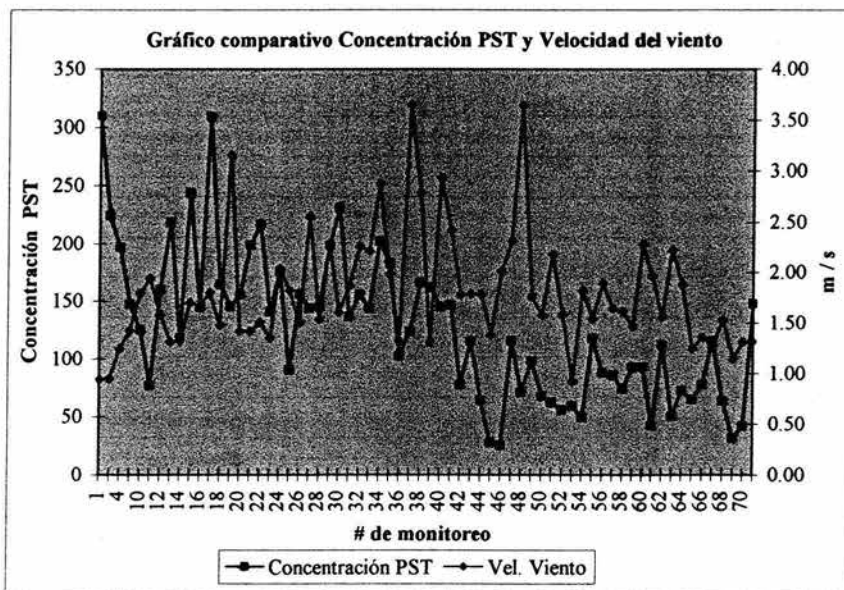
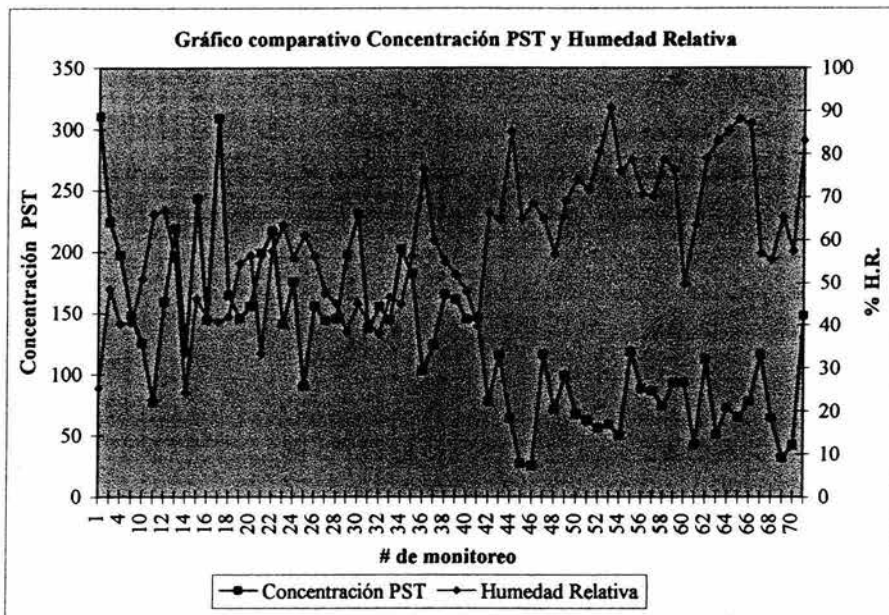
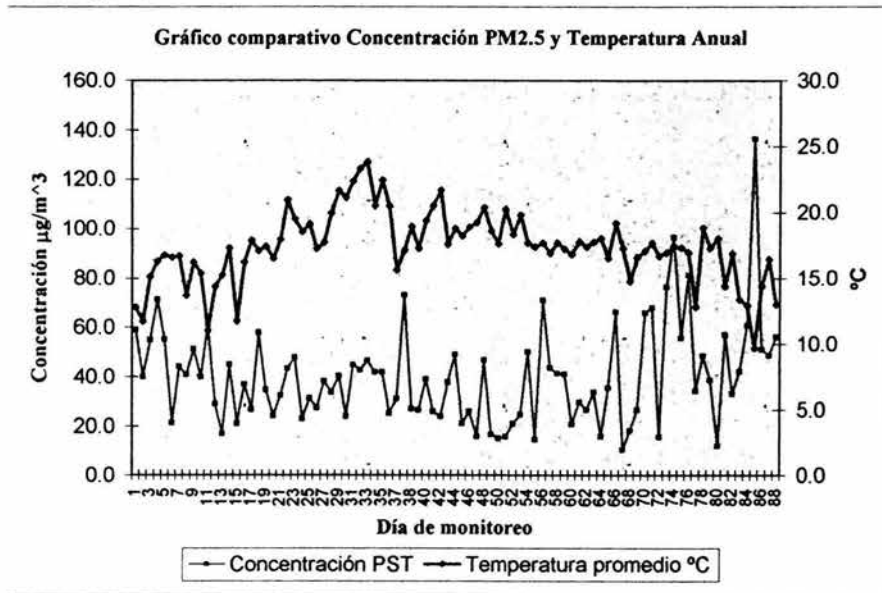


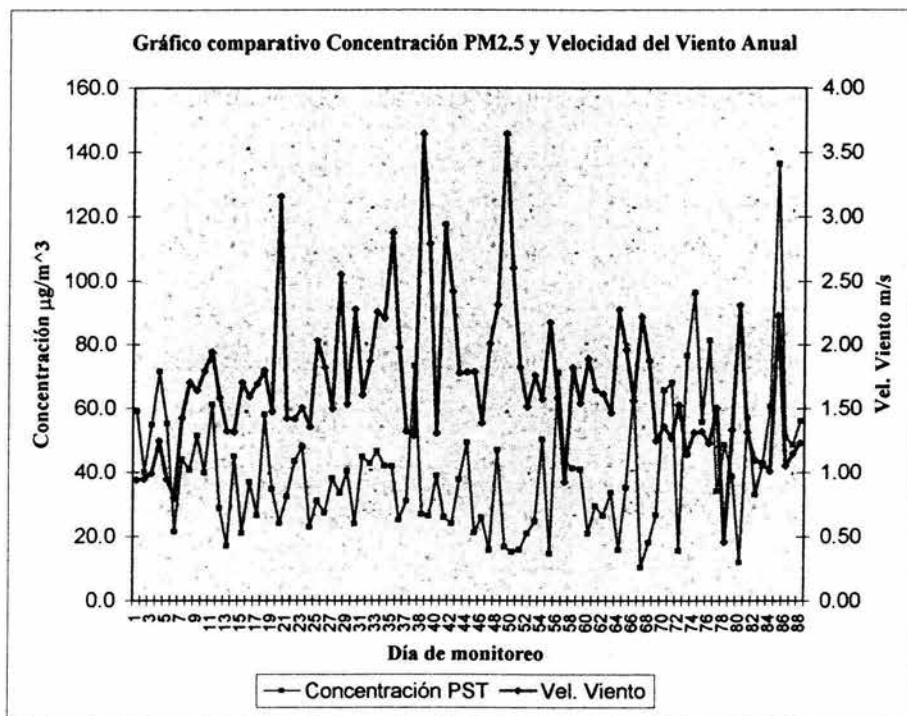
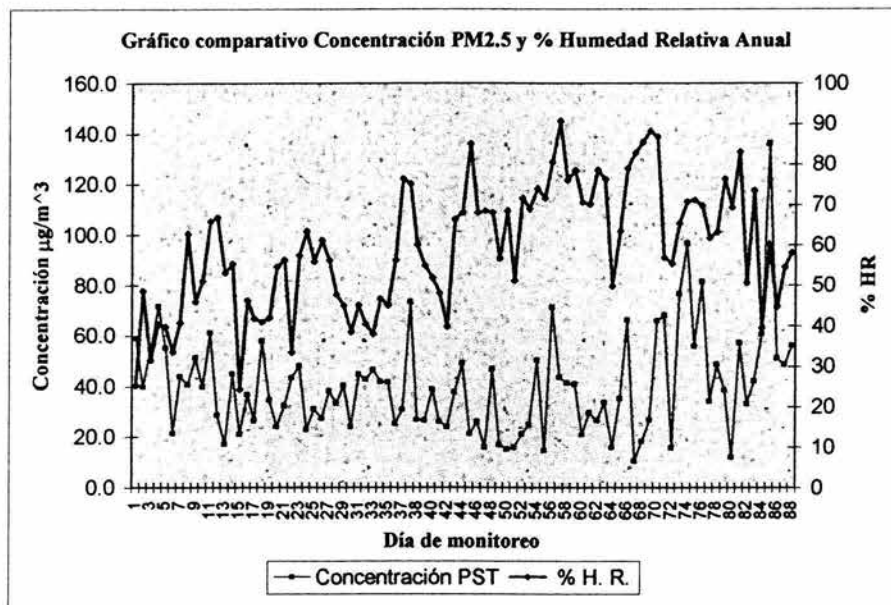
Tabla AA. 4. Matriz de correlación “p” multivariable entre concentración PST vs. Temperatura- % H. R. -velocidad del viento

	Concentración PST	Temperatura	Humedad
Temperatura	0.159	-	
Humedad	-0.645	-0.193	-
Dirección del viento	-0.003	0.37	-0.136

Graficas 10, 11 y 12. Comparativo entre concentración de PM_{2.5} vs. variables meteorológicas.



APENDICE A



APENDICE A

Tabla AA. 5 Matriz de correlación “p” multivariable entre concentración PM_{2.5} vs. temperatura- % H. R. -velocidad del viento

	Concentración PM _{2.5}	Temperatura	Humedad
Temperatura	-0.283	-	
Humedad	0.000	-0.090	-
Dirección del viento	-0.333	0.341	-0.030

**DATOS METEREOLÓGICOS EN DIAS DONDE SE PRESENTO
ALTA CONCENTRACIÓN DE AEROPARTÍCULAS**

Tabla AA. 6 Datos metereológicos para fechas de monitoreo que rebasaron la concentración máxima permisible para PST.

Día de Monitoreo	Conc. PM _{2.5} µg / m ³ STD	Promedio Temperatura (°C)	Promedio Humedad Rel. (%H. R.)	Promedio Dir. Viento (°)	Promedio Vel. Viento (m/s)
9 de Enero	270.96	12.8	25	119	0.94
4 de Marzo	309.90	17.1	41	112	1.80

Tabla AA. 7 Datos metereológicos para fechas de monitoreo que rebasaron la concentración máxima permisible para PM_{2.5}.

Día de Monitoreo	Conc. PM _{2.5} µg / m ³ STD	Promedio Temperatura (°C)	Promedio Humedad Rel. (%H. R.)	Promedio Dir. Viento (°)	Promedio Vel. Viento (m/s)
21 de Enero	71.53	16.3	40	135.5	1.24
16 Mayo	73.25	17.1	75	154.3	1.29
11 Julio	71.08	18.9	68	114.3	1.38
18 de Septiembre	66.22	19.2	79	117.3	1.56
30 de Septiembre	65.84	17.1	87	142.2	1.36
3 de Octubre	68.02	17.7	57	92.9	1.27
9 de Octubre	76.49	17.0	65	101.0	1.15
16 de Octubre	96.49	17.4	71	134.6	1.31
21 de Octubre	81.32	16.9	70	135.3	1.23
21 de Noviembre	136.35	9.7	60	121.2	2.23

SUCESOS AMBIENTALES OCURRIDOS DENTRO DEL PERIODO DE MONITOREO.

Día de suceso	Día de monitoreo afectado	Descripción del episodio ambiental.
12 al 14 de Mayo	Domingo 12 Mayo Miércoles 15 Mayo Jueves 16 Mayo	Se presentó el primer incendio dentro del basurero de "Bordo - Xochiaca" con duración de 2 días
3 al 19 Octubre	Jueves 3 Octubre Lunes 7 Octubre Miércoles 9 Octubre Miércoles 16 Octubre Viernes 18 Octubre	Se presentó el segundo incendio dentro del basurero de "Bordo - Xochiaca", se desconoce la duración Dentro del mes de octubre se realizaron remodelación del pavimento y re - encarpetao en la zona debido a las lluvias, iniciando en la zona afectada del Aeropuerto hasta la Av. Central y parte de la zona de Aragón - Impulsora y Bosques de Aragón.
20 y 21 Noviembre	Jueves 21 Noviembre	Se presentó el tercer incendio dentro del basurero de "Bordo - Xochiaca" con duración de 1 día

MAPAS URBANOS Y TOPOGRAFICO DE LA ZONA DE
MONITOREO



FIG. 1. Mapa Urbano de la zona de Aragón
y localización del punto de monitoreo

APENDICE A

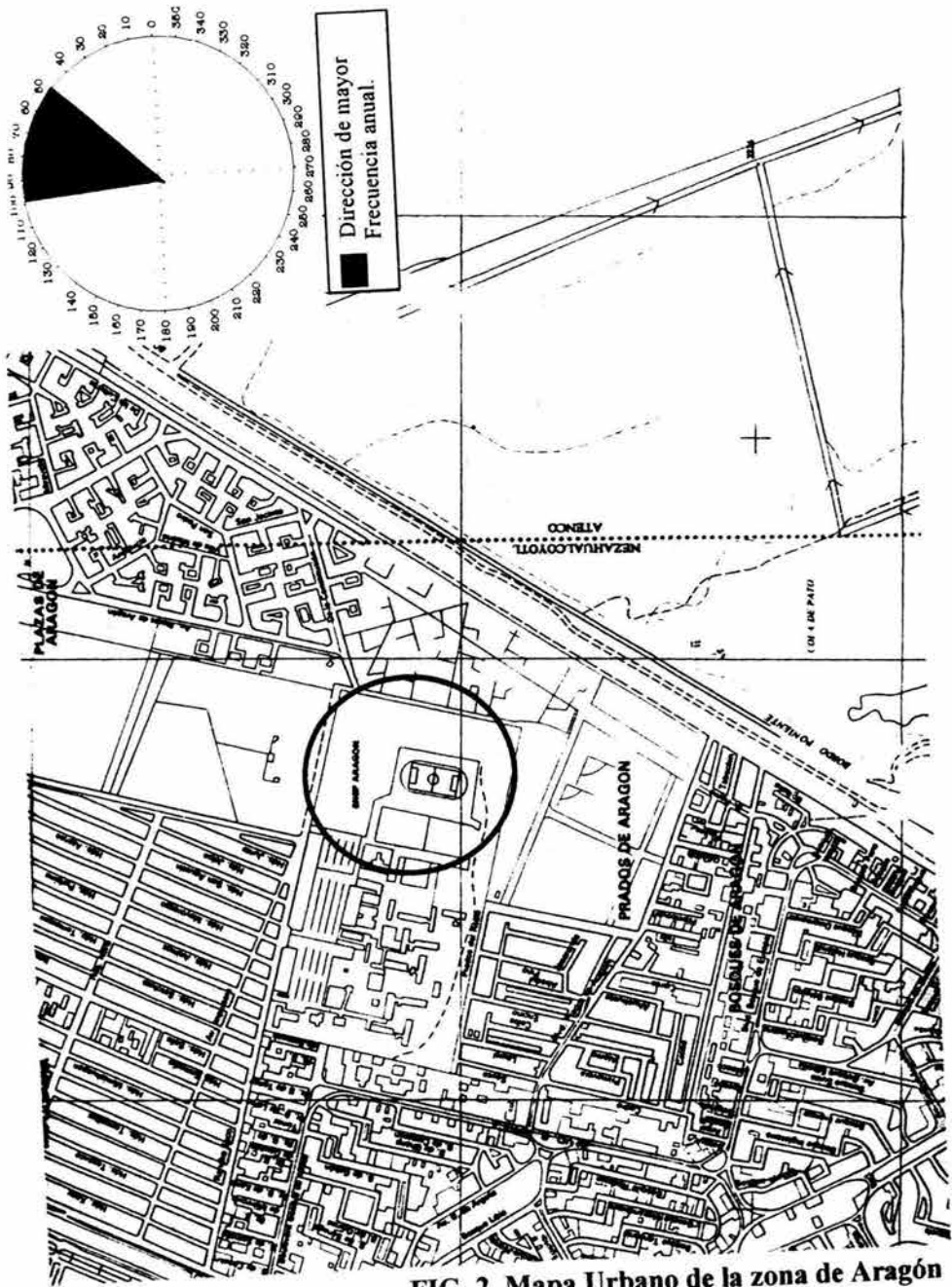


FIG. 2. Mapa Urbano de la zona de Aragón (Alrededores de la ENEP ARAGON).

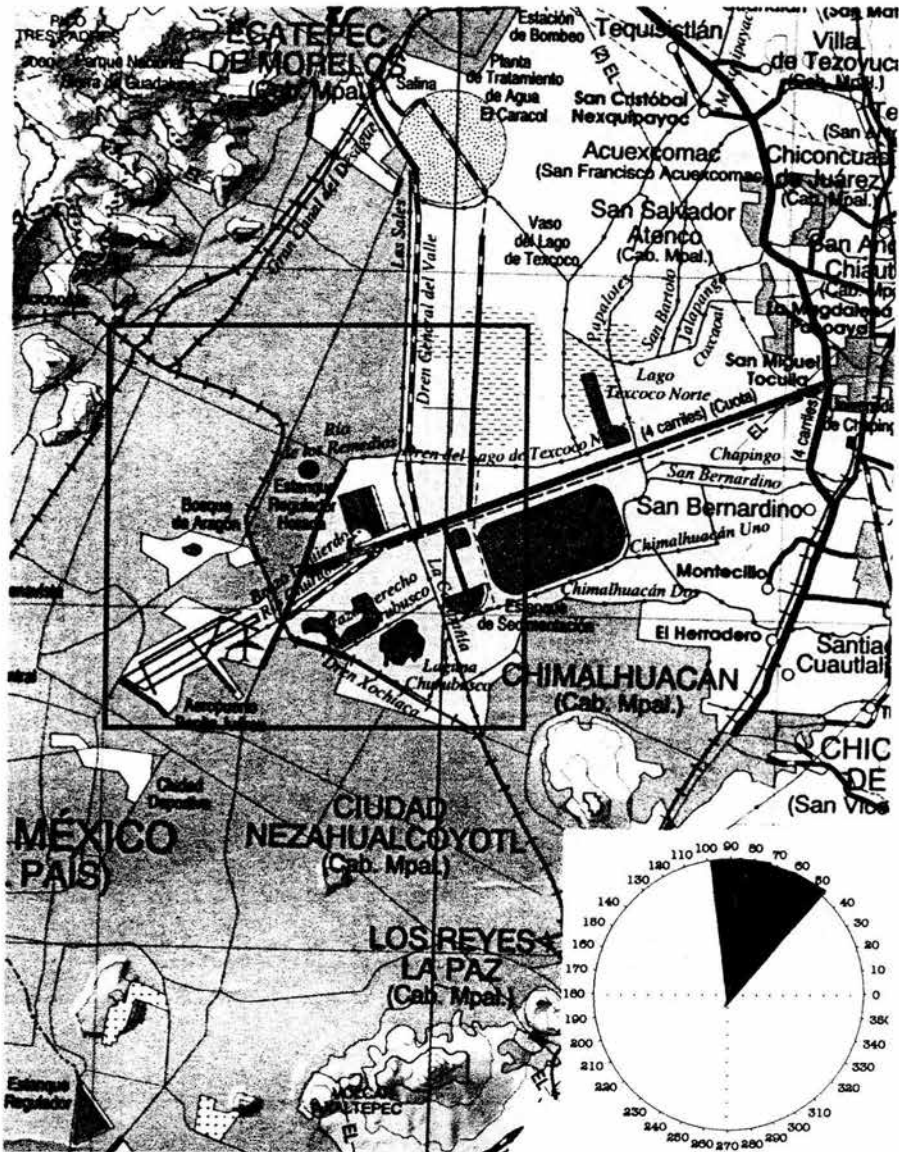


FIG. 3. MAPA TOPOGRÁFICO DE LA ZONA DE MONITOREO.

APENDICE B

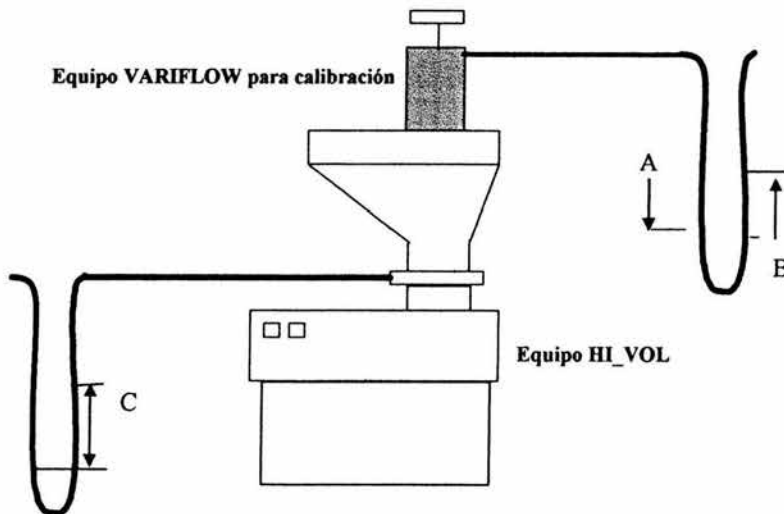
- **PROCEDIMIENTO Y DATOS DE CALIBRACION DE EQUIPO HI-VOL.**
- **DETERMINACION DE VARIACION EN PROCEDIMIENTO DE PESADO EN MONITOREO DE PM_{2.5}**
- **REGISTRO DE FILTROS BLANCOS.**
- **DETERMINACION DE % DE PÉRDIDA DE MOE.**

PROCEDIMIENTO Y DATOS DE CALIBRACION DE EQUIPO HI-VOL

Para calcular el flujo de monitoreo en PST se realiza a través de la calibración del equipo HI-VOL usando un equipo "Variflow", esta se realiza de acuerdo a la NOM-035-ECOL-1996 para monitoreo ambiental de partículas PST. Los pasos son los siguientes:

1.- Se realizan diversas mediciones de caída de presión entre el manómetro del equipo HI-VOL y del VARIFLOW mostrado acorde al siguiente esquema.

Figura AB. 1. Esquema de tomas de medición para calibración del equipo HI-VOL.



Donde:

- A: Toma de caída de presión negativa del equipo VARIFLOW.
- B: Toma de caída de presión positiva del equipo VARIFLOW.
- C: Lectura de Δp total del manómetro del equipo HI-VOL.

Para determinar el flujo de aire muestreado (Q_{REAL}) se realiza mediante una gráfica que relaciona el flujo en función de la Δp del manómetro del equipo HI-VOL. El procedimiento es el siguiente:

- 1.- Se suma las dos mediciones del VARIFLOW (A + B).
- 2.- Con la suma A + B y la medición en C se realiza una regresión lineal donde C es la variable independiente (X) y A + B la respuesta (Y), obteniendo una ecuación de tipo $Y=m*X + b$.
- 3.- Con la ecuación obtenida de la regresión se calcula la nueva Y ajustada usando los valores experimentales de C.
- 4.- Usando la gráfica 3 del Apéndice se busca el valor del flujo para cada Y obtenida leyéndolo directamente de la gráfica. Así se obtendrá el flujo en ft^3 / min para cada medición del VARIFLOW.
- 5.- con este flujo se realiza una gráfica del flujo obtenido de la gráfica (en m^3 / min) vs lectura del manómetro del HI-VOL (Valores de X). Esta es la gráfica para determinar el flujo de monitoreo en función de la Δp del manómetro del HI-VOL.

En la figura AB. 2 se muestra una fotografía del equipo “Varifow” instalado en el equipo PST junto con un diagrama general.

TABLA AB-1. Datos obtenidos de calibración 1.

Manómetro #1	Manómetro #1	Manómetro #2, PST	Suma del man. # 1
A, in H ₂ O	B, in H ₂ O	C(in H ₂ O)	A + B(γ) in H ₂ O
Mediciones	Mediciones	Mediciones	
2.75	2.75	1.50	5.5
2.13	2.06	1.13	4.2
1.63	1.63	0.81	3.3
1.44	1.31	0.75	2.8
1.00	0.88	0.50	1.9
0.50	0.44	0.44	0.9
0.44	0.38	0.38	0.8

Regresión lineal — Ecuación obtenida:

$$Y = 4.149 * X - 0.507$$

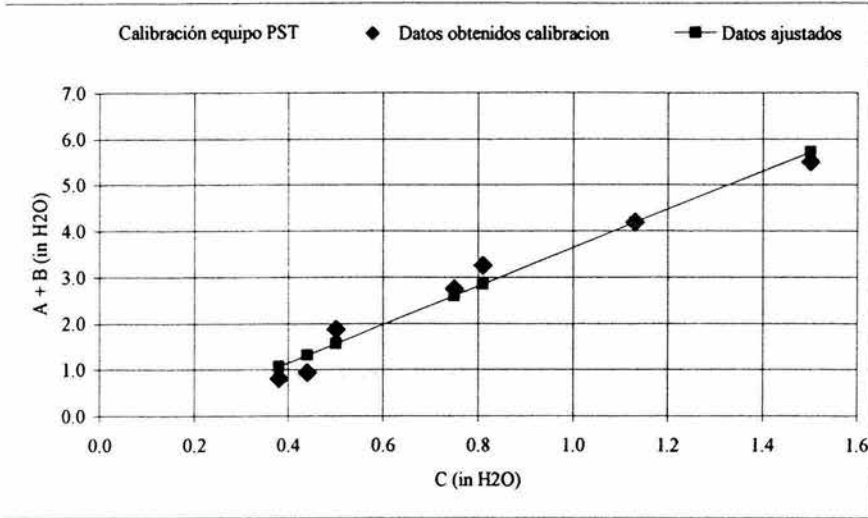
$$r = 0.985$$

TABLA AB-2. Cálculos para Flujo de operación real (en m³/min).

y=mx+b	Lectura directa sobre la carta de la curva del calibrador	Q, m ³ /min, curva de calibración	Q, m ³ /min, corregidos a la presión	Q, m ³ /min, corregidos a la temperatura promedio	Manómetro lectura, PST
ΔH ₂ O ajustada (y) in H ₂ O	Q, ft ³ /min, curva de calibración	lectura directa sobre la carta	de 0.77 atm de la Ciudad de México	de la Ciudad de México	in H ₂ O
5.7	52	1.47	1.68	1.68	1.50
4.2	45	1.27	1.45	1.45	1.13
2.9	37	1.05	1.19	1.19	0.81
2.6	35	0.99	1.13	1.13	0.75
1.6	28	0.79	0.90	0.90	0.50
1.3	26	0.74	0.84	0.84	0.44
1.1	24	0.68	0.77	0.77	0.38

APENDICE B

Grafica de regresión lineal entre A + B vs. C.



Grafica para determinación de flujo real en monitoreo de PST a partir de la lectura en "in H₂O" del manómetro.

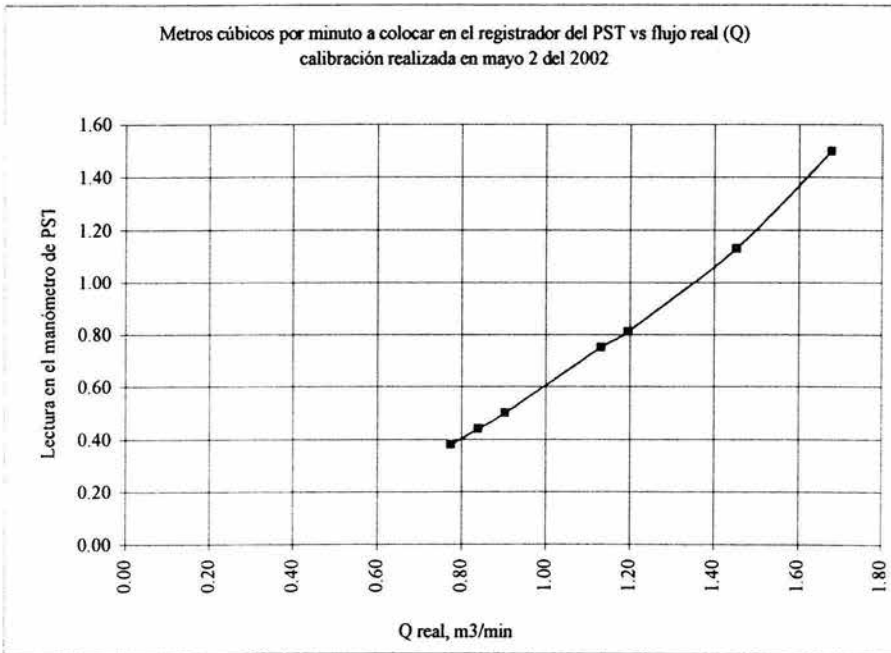


TABLA AB-3. Datos obtenidos de calibración 2.

Manómetro #1	Manómetro #1	Manómetro #2, PST	Suma del man. # 1
A, in H2O	B, in H2O	C(in H2O)	A + B (y) (in H2O)
Mediciones	Mediciones	Mediciones	
3.56	3.50	2.94	7.1
3.31	3.25	2.75	6.6
2.94	2.94	2.50	5.9
2.06	2.06	1.81	4.1
1.75	1.75	1.63	3.5
1.50	1.50	1.38	3.0
1.13	1.13	1.00	2.3
0.75	0.75	0.63	1.5
0.50	0.50	0.38	1.0

Regresión lineal—Ecuación obtenida:

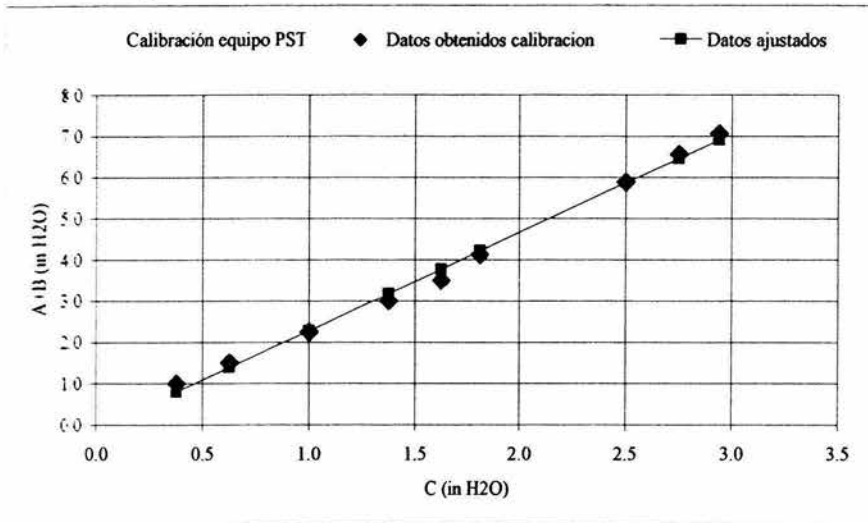
$$Y = 2.381 * X - 0.104$$

$$r = 0.997$$

TABLA AB-4. Cálculos para Flujo de operación real (en m³/min).

y=mx+b	Lectura directa sobre la carta de la curva del calibrador	Q, m ³ /min, curva de calibración	Q, m ³ /min, corregidos a la presión	Q, m ³ /min, corregidos a la temperatura promedio	Manómetro lectura, PST
ΔH ₂ O ajustada (y) in H ₂ O	Q, ft ³ /min, curva de calibración	lectura directa sobre la carta	de 0.77 atm de la Ciudad de México	de la Ciudad de México	in H ₂ O
6.9	57	1.61	1.84	1.84	2.94
6.5	56	1.57	1.79	1.79	2.75
5.9	53	1.50	1.71	1.71	2.50
4.2	45	1.27	1.45	1.45	1.81
3.8	43	1.20	1.37	1.37	1.63
3.2	39	1.10	1.26	1.26	1.38
2.3	33	0.93	1.07	1.07	1.00
1.4	26	0.74	0.84	0.84	0.63
0.8	20	0.57	0.65	0.65	0.38

Grafica de regresión lineal entre A + B vs. C.



Grafica para determinación de flujo real en monitoreo de PST a partir de la lectura en "in H₂O" del manómetro.

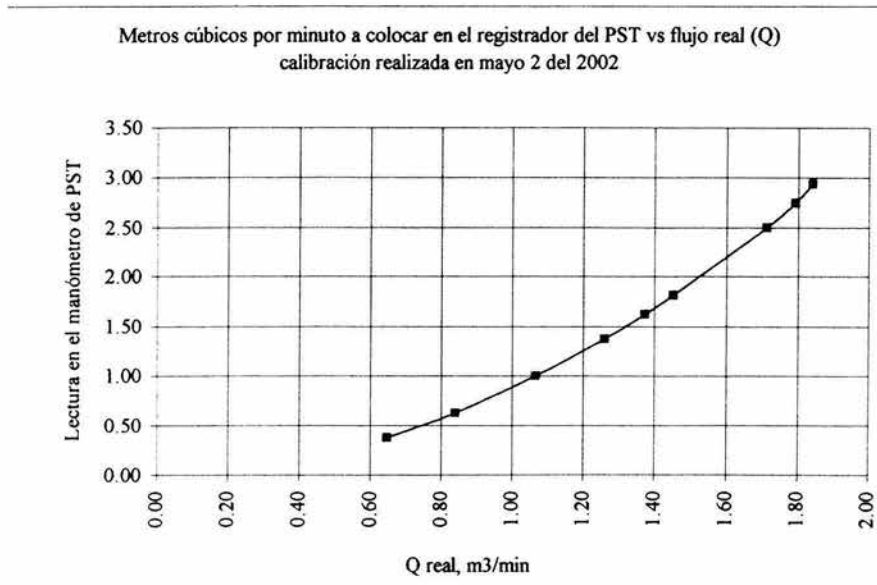


Figura AB. 2. Fotografías y diagrama del equipo "Variflow" para calibración de equipo HI- VOL.

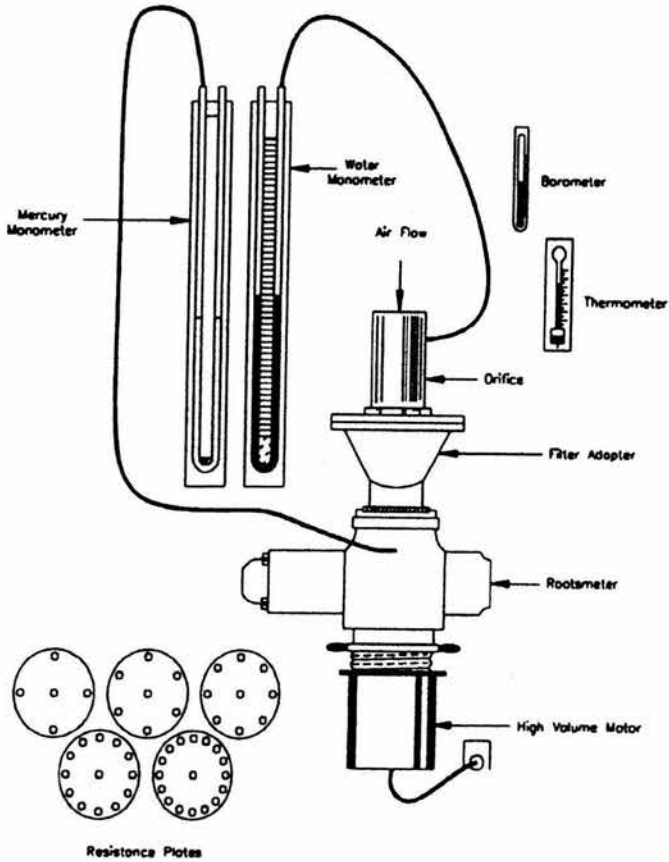
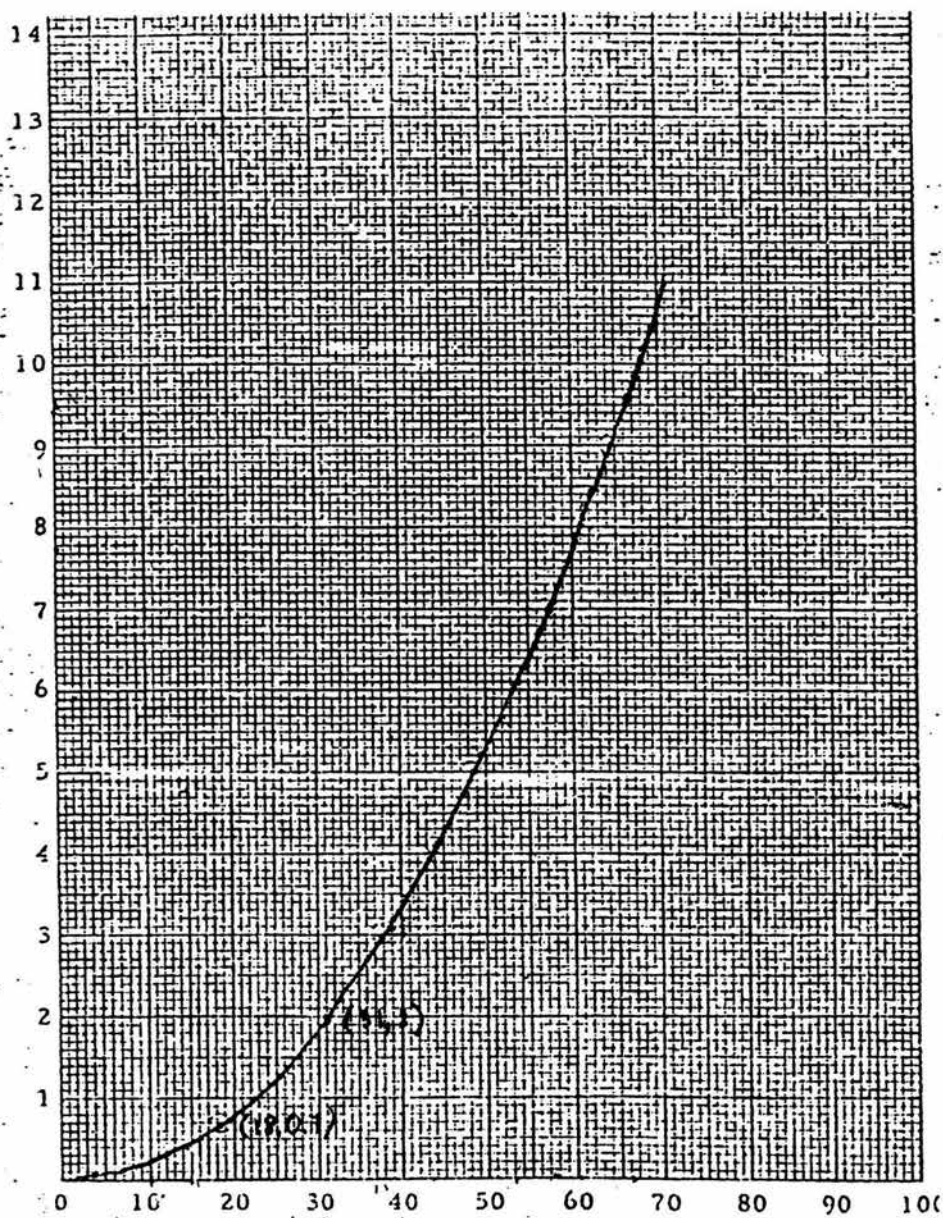


Figura AC. 3. Diagrama para obtención del flujo del equipo "Variflow" en la calibración del equipo HI-VOL.

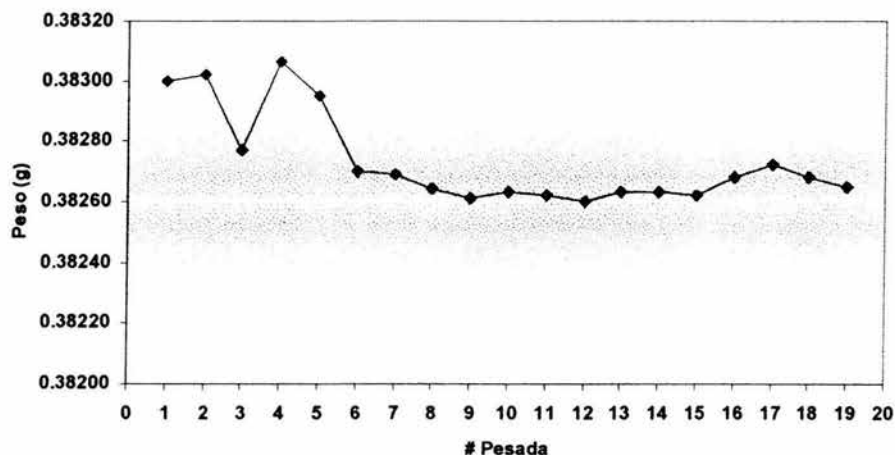


DETERMINACION DE VARIACION EN PROCEDIMIENTO DE PESADO EN MONITOREO DE PM_{2.5}

TABLA AB-5. Determinación de variación en procedimiento de pesado en monitoreo de PM_{2.5}

# Pesada	Fecha	Día	Registro de peso (g)	% Humedad	Variación (g)	% Variación
1	22-Ene-02	Lunes	0.38300	21	0.00000	0.00%
2	25-Ene-02	Viernes	0.38302	23	0.00002	0.52%
3	31-Ene-02	Jueves	0.38277	23	-0.00025	6.53%
4	11-Feb-02	Lunes	0.38306	21	0.00029	7.58%
5	20-Feb-02	Miércoles	0.38295	20	-0.00011	2.87%
6	04-Mar-02	Lunes	0.38270	20	-0.00025	6.53%
7	14-Mar-02	Jueves	0.38269	20	-0.00001	0.26%
8	03-Abr-02	Miércoles	0.38264	20	-0.00005	1.31%
9	16-Abr-02	Martes	0.38261	21	-0.00003	0.78%
10	22-Abr-02	Lunes	0.38263	20	0.00002	0.52%
11	09-May-02	Jueves	0.38262	21	-0.00001	0.26%
12	22-May-02	Miércoles	0.38260	20	-0.00002	0.52%
13	13-Jun-02	Jueves	0.38263	22	0.00003	0.78%
14	28-Jun-02	Viernes	0.38263	20	0.00000	0.00%
15	10-Jul-02	Miércoles	0.38262	21	-0.00001	0.26%
16	28-Ago-02	Miércoles	0.38268	22	0.00006	1.57%
17	10-Oct-02	Jueves	0.38272	23	0.00004	1.05%
18	11-Nov-02	Lunes	0.38268	25	-0.00004	1.05%
19	02-Dic-02	Lunes	0.38265	26	-0.00003	0.78%

Gráfica de pesos de Filtro Control para PM_{2.5}



REGISTRO DE FILTROS BLANCOS.

Tabla AB-6. Determinación de MOE en filtros blancos FVFPST.

# Filtro	Intervalo de filtros para el Blanco	Peso Inicial Vial (g)	Peso Final Vial (g)	Volúmen Aforo (ml)	Volúmen Alicuota (ml)	MOE extraída µg / ml
1	Filtros del 9-Enero al 8-Febrero	2.1451	2.14515	2	0.2	0.5
2	Filtros del 11-Febrero al 10-Marzo	2.1177	2.11774	2	0.2	0.4
3	Filtros del 13-Marzo al 24-Abril	2.13685	2.13685	2	0.2	0
4	Filtros del 27-Abril al 24-Mayo	2.03224	2.03226	2	0.2	0.2
5	Filtros del 27-Mayo al 23-Junio	2.02365	2.0237	2	0.2	0.5
6	Filtros del 26-Junio al 23-Julio	2.0421	2.04214	2	0.2	0.4
7	Filtros del 26-Julio al 30-Sept.	2.0235	2.02352	2	0.2	0.2
8	Filtros del 3-Oct al 1-Nov	2.12544	2.12545	2	0.2	0.1

Tabla AB- 7. Determinación de MOE en filtros blancos de FZFPM_{2.5}.

# Filtro	Intervalo de filtros para el Blanco	Peso Inicial Vial (g)	Peso Final Vial (g)	Volumen Aforo(ml)	Volumen Alicuota (ml)	MOE extraída µg / ml
1	Filtros del 9-Enero al 8-Febrero	2.1097	2.1097	1	0.4	0
2	Filtros del 11-Febrero al 10-Marzo	2.04186	2.04187	1	0.4	0.025
3	Filtros del 13-Marzo al 24-Abril	2.13508	2.13509	1	0.4	0.025
4	Filtros del 27-Abril al 24-Mayo	2.02602	2.02602	1	0.4	0
5	Filtros del 27-Mayo al 23-Junio	2.04075	2.04076	1	0.4	0.025
6	Filtros del 26-Junio al 23-Julio	2.08471	2.08471	1	0.4	0
7	Filtros del 26-Julio al 30-Septiembre	2.05421	2.05421	1	0.4	0
8	Filtros del 3-October al 1-Noviembre	2.0621	2.06211	1	0.4	0.025

DETERMINACION DE % DE PÉRDIDA DE MOE.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La determinación del % de pérdida de MOE por extracción consta de dos análisis mostrados a continuación:

Primer análisis de validación MOE.

- La validación 1 consiste en tomar de una muestra preparada de extractos de PM2.5 una alícuota de 500 µl y aforarlo a 2ml (2000 µl). Para PST se toma una alícuota de 200 µl de una muestra previamente asignada y se lleva igualmente a un aforo de 2 ml (2000µl). Ambas alícuotas tomadas se colocan dentro de viales de 2ml previamente pesados, a estos se determina la Materia Orgánica por el sistema de secado por arrastre de vapor con Nitrógeno y se determina la cantidad de MOE contenida registrando el peso del vial al secarse la muestra. Posterior a ello la muestra es resuspendida y se almacena por un período de 24 horas mínimo. Después de 24 horas se vuelve a realizar el procedimiento de determinación de MOE registrado la variación de concentración encontrada obteniendo el porcentaje de pérdida de MOE. Este procedimiento se realizará por triplicado.

Segundo análisis de validación MOE.

La primera etapa de la Validación 2 de MOE consiste en lo siguiente:

- La validación 2 consiste en tomar alícuotas de 1000µl (1ml) de las muestras preparadas de extractos de PM2.5 y de PST respectivamente. Se realizará el procedimiento de determinación de MOE en ambas alícuotas tomadas y se colocara sobre viales de 2ml previamente pesados, después de la determinación se volverán a resuspender con diclorometano y se almacenarán en viales de 4ml. Después de 24 horas las muestras son transvasadas en matraces bola de 250 ml realizando 3 enjuagues para asegurarse de no existir pérdida de material. se agrega alrededor de 70ml de diclorometano en la muestra de PM2.5 y 100ml en la muestra de PST, posterior a ello se someterán al proceso de extracción (rotavapor - filtración c/milipore - concentración), donde al finalizar se regresarán a los viales de 4ml y se

almacenarán en un período mínimo de 24 horas. Pasado el tiempo de estabilización se realizará nuevamente el procedimiento de determinación de MOE en ambas muestras estableciendo con ello el porcentaje de pérdida de MOE a través del proceso de extracción y concentración de los extractos.

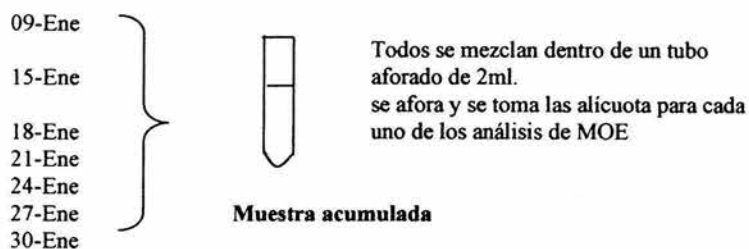
La segunda etapa de Validación 2 de MOE consiste en lo siguiente:

- De la alícuota determinada su MOE se dividirá en 5 partes diferentes alícuotas, a cada una de ellas se realizará el procedimiento de determinación de MOE, una vez obtenido este valor deberá compararse con el esperado calculado a partir de la MOE inicial encontrada anteriormente del extracto total, con ello se determinará la pérdida de MOE a diferentes concentraciones.

Preparación de muestras

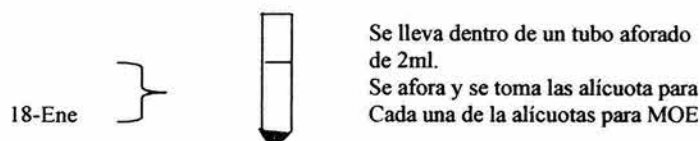
1. -PM2.5:

La muestra se prepara como un acumulado de los extractos del mes de Enero. En este caso se tomaron los siguientes:



2. - PST:

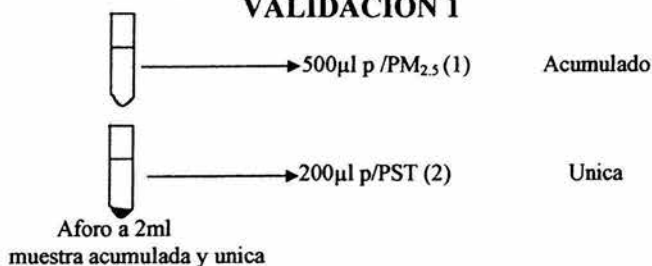
La muestra se prepara a partir del extracto del día 18 de Enero. Este se emplea en su totalidad



Muestra única

APENDICE B

VALIDACION 1



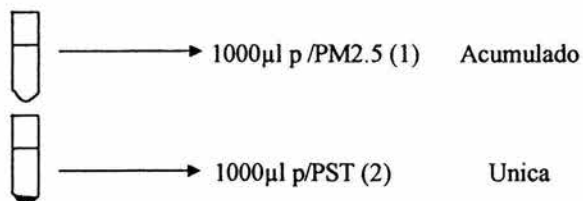
Datos Experimentales			
Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia (g)
(1) PM2.5	2.09605	2.09625	0.00020
(2) PST	2.59889	2.60178	0.00289
Primera repetición Datos Experimentales			
Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia (g)
(1) PM2.5	2.04111	2.04129	0.00018
(2) PST	2.04757	2.05039	0.00282
Muestra	% Perdida	% recuperacion	
(1)PM2.5	10.00	90.00	
(2)PST	2.42	97.58	

Segunda repetición Datos Experimentales			
Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia (g)
(1) PM2.5	2.13689	2.13705	0.00016
(2) PST	2.04119	2.04393	0.00274
Muestra	% Perdida	% recuperacion	
(1)PM2.5	11.11	88.89	
(2)PST	2.84	97.16	

Tercera repetición Datos Experimentales			
Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia (g)
(1) PM2.5	2.03225	2.0324	0.00015
(2) PST	2.12965	2.13232	0.00267
Muestra	% Perdida	% recuperacion	
(1)PM2.5	6.25	93.75	
(2)PST	2.55	97.45	

VALIDACION 2

PRIMERA ETAPA

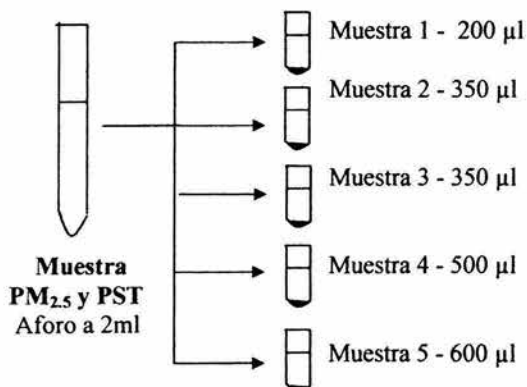


Aforo a 2ml
muestra acumulada y unica

Datos experimentales			
Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia (g)
(1) PM2.5	2.05248	2.05302	0.00054
(2) PST	2.05875	2.07411	0.01536
2ª repetición Datos Experimentales			
Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia (g)
(1) PM2.5	2.03262	2.03307	0.00045
(2) PST	2.04062	2.05543	0.01481
	Muestra	% Perdida	% recuperacion
	(1)PM2.5	16.67	83.33
	(2)PST	3.58	96.42

VALIDACIÓN 2

SEGUNDA ETAPA



APENDICE B

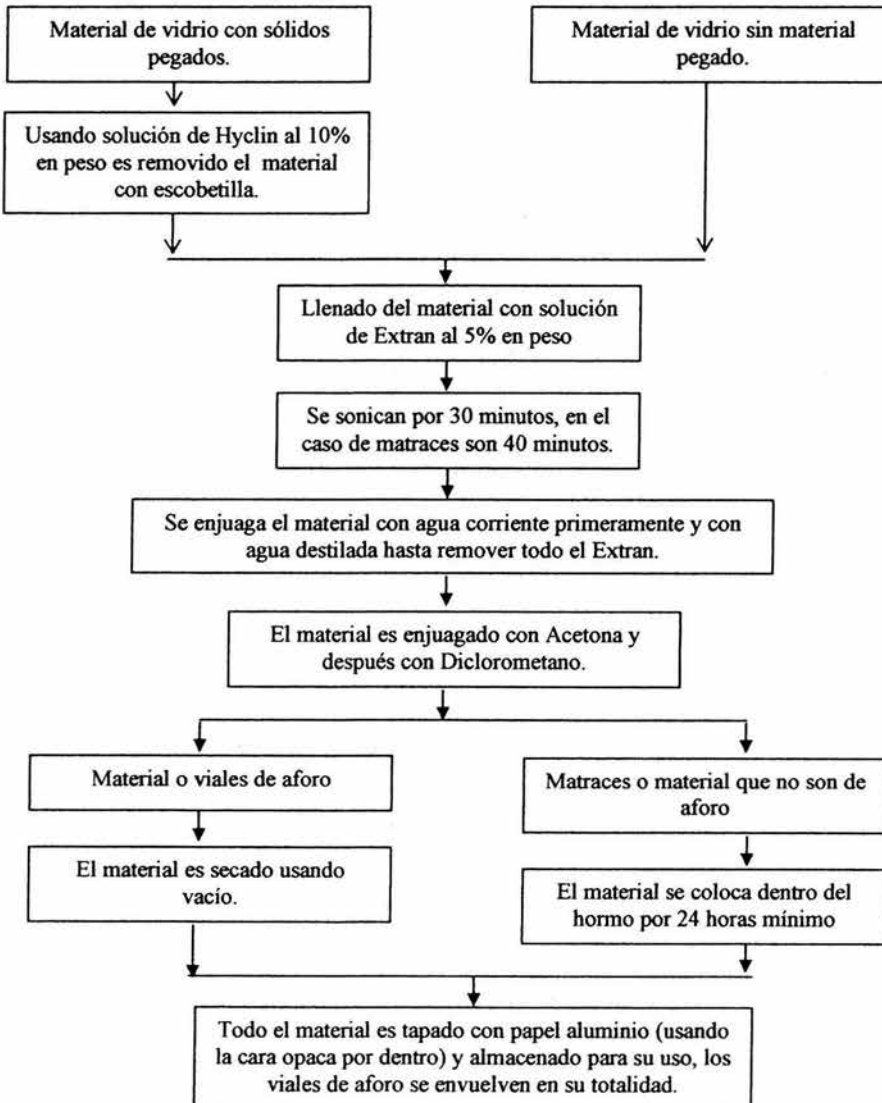
Datos Experimentales			
Validación para MOE PM _{2.5}			
MOE TOTAL INICIAL = 0.00045 g/ muestra			
Muestra	Peso inicial	Peso Final	Diferencia
	(g)	(g)	(g)
(1) 200 µl	2.10536	2.1054	0.00004
(2) 350 µl	2.05176	2.05184	0.00008
(3) 350 µl	2.0856	2.08567	0.00007
(4) 500 µl	2.02158	2.02169	0.00011
(5) 512 µl	2.0252	2.02532	0.00012
Muestra	MOE CALC	% Perdida	% recuperacion
1	0.00005	11.11	88.89
2	0.00008	1.59	98.41
3	0.00008	11.11	88.89
4	0.00011	2.22	97.78
5	0.00012	4.17	95.83
Validación para MOE PST			
MOE TOTAL INICIAL = 0.01481g/muestra			
Muestra	Peso inicial	Peso Final	Diferencia
	(g)	(g)	(g)
(1) 200 µl	2.0413	2.042	0.00070
(2) 350 µl	2.08626	2.08763	0.00137
(3) 350 µl	2.02364	2.02503	0.00139
(4) 500 µl	2.02682	2.0302	0.00338
(5) 600 µl	2.10921	2.11397	0.00476
Muestra	MOE CALC	% Perdida	% recuperacion
1	0.00074	5.47	94.53
2	0.00148	7.49	92.51
3	0.00148	6.14	93.86
4	0.00370	8.71	91.29
5	0.00518	8.17	91.83

APENDICE C

- **PROCEDIMIENTO DE LAVADO Y PREPARACION DE MATERIAL DE LABORATORIO.**
- **FOTOGRAFIAS DE EQUIPOS Y MATERIALES.**
- **TECNICA DE CROMATOGRAFIA DE GASES / ESPECTROSCOPIA DE MASAS.**

PROCEDIMIENTO DE LAVADO Y PREPARACION DE MATERIAL DE LABORATORIO

El lavado del material y la preparación del mismo se realizó de acuerdo al siguiente esquema:



IMÁGENES DE EQUIPOS Y MATERIALES.

Figura AC-1 : Fotografía de los equipos de monitoreo: HI- VOL (Derecha) para monitoreo de PST y muestreador IOPVS (Izquierda) para monitoreo de $PM_{2.5}$.

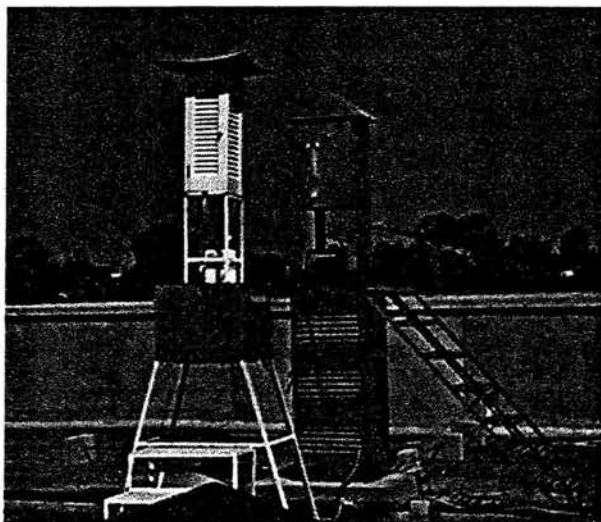


Figura AC-2: Fotografía de viales con extractos orgánicos, estos tienen tono ámbar para evitar descomposición de material orgánico.



Figura AC-3: Fotografía del equipo de sonicación "Branson" para extracción de materia orgánica por ultrasonido.

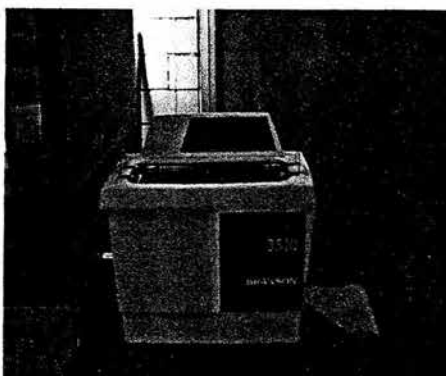


Figura AC-4: Fotografía del equipo de Ultrafiltración "Milipore" para eliminación de sólidos disueltos en el extracto orgánico.



Figura AC-5: Fotografía de filtros limpiosC y muestreados. Arriba se muestran filtros de fibra de vidrio para PST y abajo Filtros de Ze-Fúor para PM_{2.5}.

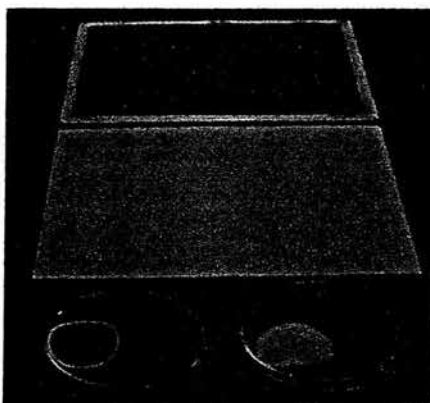


Figura AC-6: Fotografía de montaje del Módulo de separación y colección de Partículas del equipo IOPVS.

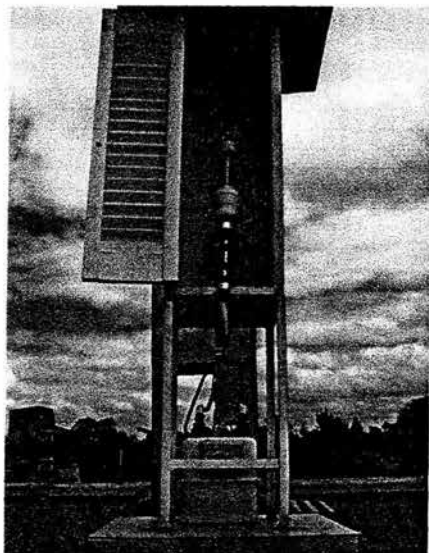
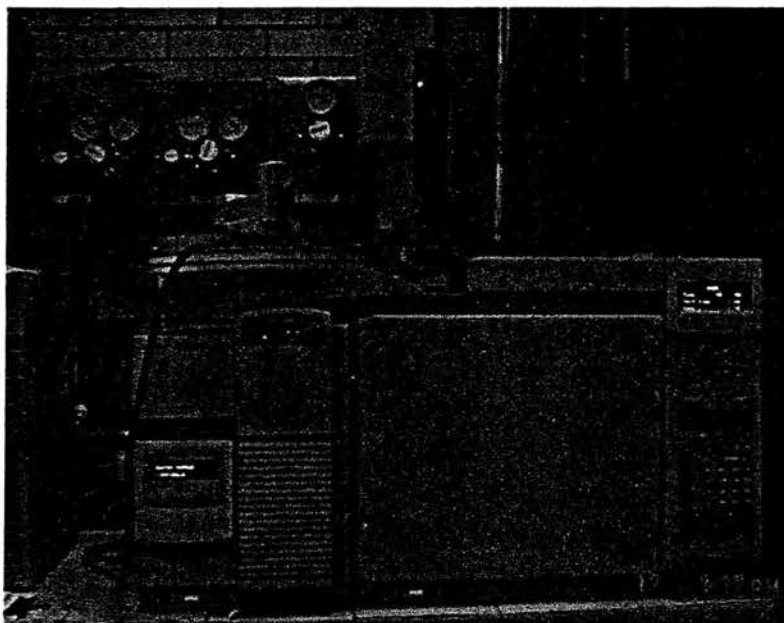


Figura AC-7: Fotografía del equipo soxhlet empleado para extracción de impurezas en Filtros blancos de Ze-Flúor.



Figura AC-8: Fotografía del equipo de Cromatografía de Gases – Espectrómetro de Masas “Finnigan – GCQ” con trampa iónica empleado en la detección y cuantificación de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos encontrado en el extracto orgánico de las aereopartículas.



TECNICA DE CROMATOGRAFIA DE GASES / ESPECTROSCOPIA DE MASAS.

La Técnica de Cromatografía de gases se aplica en la separación, identificación y cuantificación de una gran variedad de compuestos gaseosos, así como en la industria de los alimentos, bebidas, farmacia, insecticidas, pesticidas, en la determinación de contaminantes ambientales, etc. Su principio se basa en la distribución y separación de los componentes de una muestra en dos fases: móvil y estacionaria. La primera es siempre un gas, en esta fase se lleva a cabo el transporte de los componentes de la muestra a través de un gas de arrastre (que puede ser N_2 , H_2 , He, etc.). La fase estacionaria es un polímero ó un compuesto cuyos grupos funcionales y características fisicoquímicas (polaridad, peso molecular, presión de vapor) son afines a los compuestos en estudio, en esta fase es donde se lleva a cabo la separación de los componentes (Fig. AC-9).

La representación gráfica del proceso de separación de los componentes de una mezcla que se introduce en el cromatógrafo se llama "Cromatograma". En este se muestra una gráfica de picos que representan la concentración (determinada por el área bajo la curva) de los analitos contra el tiempo de retención. El tiempo de retención es el tiempo que tarda en salir un componente de la columna desde el punto donde se inyecta hasta que se detecta el analito. Para identificar los compuestos de la mezcla se comparan con una base de datos de concentración y tiempos estandarizados conocidos para cada uno de ellos a fin de poder identificar y cuantificar la muestra.

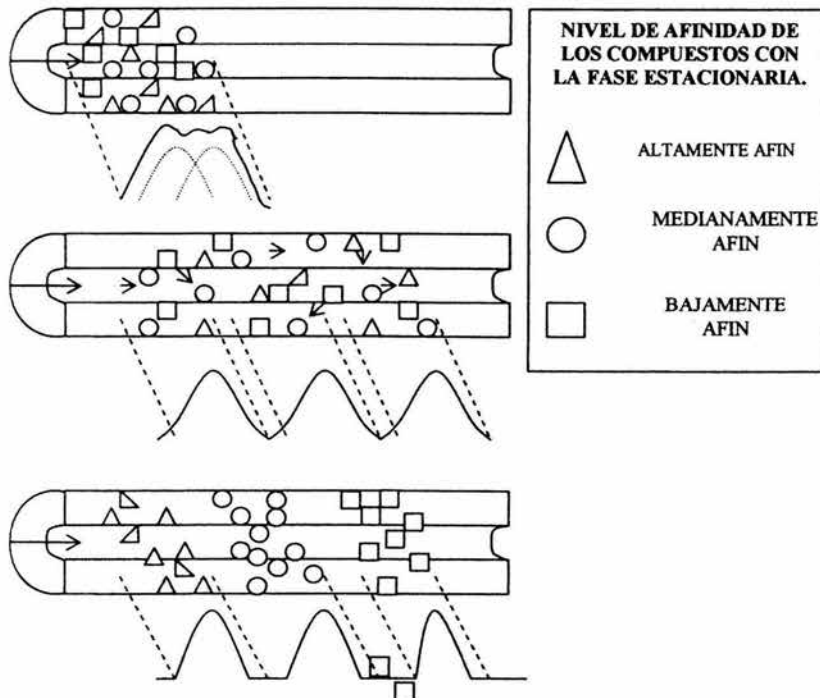
El procedimiento de detección y cuantificación de compuestos en la cromatografía de gases consiste en lo siguiente:

La muestra es inyectada en solución o en estado gaseoso, inmediatamente es evaporada y arrastrada por un gas de acarreo el cual debe ser inerte a la muestra. Este flujo de gas es transportado a una columna capilar la cual está recubierta con polímero o compuestos especiales de acuerdo al tipo de compuesto que se desea separar, ésta se mantiene con una temperatura mayor al punto de ebullición de la muestra. La separación de los compuestos se realiza de acuerdo a dos parámetros: a) Polaridad y b) Presión de vapor. La primera, la fase estacionaria, es afín a los compuesto de la muestra de acuerdo a su polaridad, por

ejemplo si un compuesto es polar y la fase estacionaria también lo es éste será retenido, dejando en la fase móvil aquellos compuestos no polares. La separación por presión de vapor se aplica en el caso en que los compuestos de la mezcla tengan afinidad en sus propiedades químicas y en su polaridad. Los compuestos son retenidos por la fase estacionaria, aquellos con presión de vapor alta serán desprendidos hacia la fase móvil más rápidamente que los de presión de vapor baja separando los compuestos de la muestra.

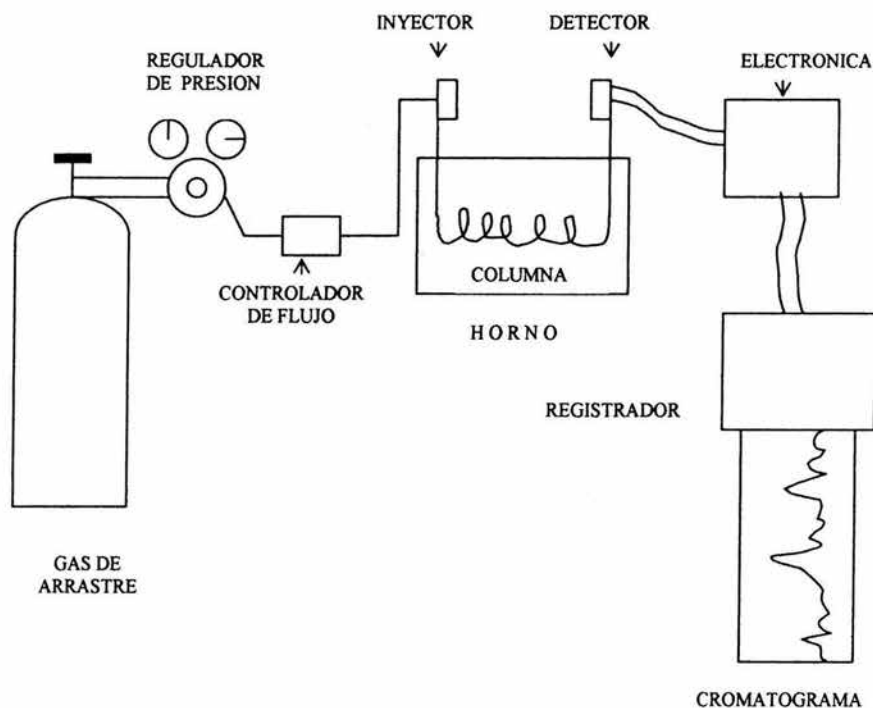
El gas de arrastre o fase móvil en su paso a través de la columna lleva consigo los compuestos de la muestra los cuales son atraídos por la fase estacionaria por afinidad, al llegar esta a una concentración superior del compuesto retenido que en la fase móvil se desprende el exceso formando un equilibrio entre cada fase, así conforme avanza a lo largo de la columna, al final, se realiza la separación de los compuestos.

Figura AC- 9. Distribución de los componentes de una mezcla entre la fase estacionaria y móvil.



Fuente: Clayton y Silverstein, 1974.

Figura AC-10.- Partes de un cromatógrafo de gases



Fuente: Houk y Chow, 1989.

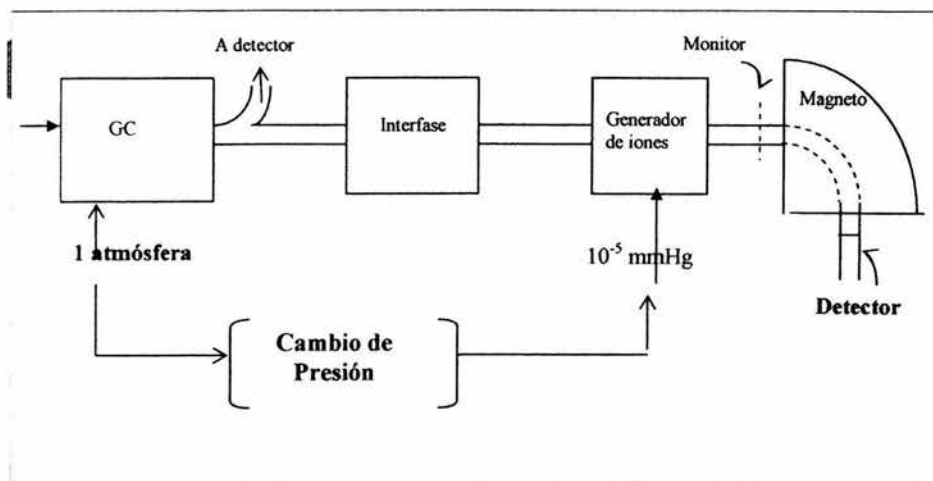
Posteriormente el detector convierte la salida de la columna en una señal eléctrica la cual se grafica en el registrador mostrando en forma de montañas o picos, que cada uno indica la presencia de un componente ya separado.

El espectroscopio de masas es un equipo analítico que tiene la cualidad de identificar compuestos a través de su peso molecular, posee una capacidad de detección confiable para compuestos orgánicos. Este registro se muestra a través de montañas ó picos donde es fácil distinguir cada compuesto aún con valores muy cercanos entre sí para así seleccionar la formula molecular por medición de la intensidad del pico que muestra su isótopo, los picos adyacentes se analizan por separado. Para seleccionar las posibles fórmulas moleculares se miden las intensidades máximas del isótopo. Arbitrariamente un valle entre dos picos adyacentes no sobrepasa más del 10% de lo alto del pico más grande (Clayton y Silverstein,

1974). Cuando un cromatógrafo de gases se acopla a un espectrómetro de masas se realiza a través de una interfase que enriquece la concentración de una muestra en el gas de acarreo (Clayton y Silverstein, 1974). En este caso la función de la parte cromatográfica es separar los compuestos a través de la columna de retención, al ser separados cada compuesto tiene un tiempo de retención específico y es cuantificado, así como el acumulado (Amount). Esta corriente pasa hacia el espectrómetro de masas el cual ioniza y acelera la corriente de compuestos ya separados y realiza la identificación. También se puede realizar la cuantificación de concentración del compuesto a través de los métodos SIM y SCAN. De ahí que el equipo lleva dos etapas: Separación e Identificación / Cuantificación.

La ventaja ofrecida por el equipo acoplado de Gases Masas (GS – MS) es determinar de manera más confiable y certera el tipo de compuestos que lleva una mezcla a analizar (Figura AC.10). Si existen compuestos con un peso molecular idéntico estos se pueden diferenciar a través de su tiempo de retención (TRR) permitiendo distinguir entre varios compuestos afines. En el caso de tener dos o mas compuestos con el mismo TRR, la identificación de cada uno de ellos se realiza a través de la identificación de los fragmentos o iones formado por la ionización en el Espectrómetro.

Figura AC.10 Esquema del equipo de Cromatografía de gases acoplado a espectroscopia de masas



APENDICE C

El Equipo arroja datos de concentración de los 33 HAP's detectados Y 5 HAP'S deuterados para cada muestra de la forma mostrada en la siguiente tabla:

TABLA CP – 1. EJEMPLO DE DATOS ARROJADOS POR EL EQUIPO DE CROMATOGRAFIA DE GASES / ESPECTROCOPIA DE MASAS

Data File Name 30HAP375.D Data File Path E:\OM\DATA-D\PM2.5\IE\SIM\ARAGON\ Date Acquired 37693.81944 Acq. Method File 31HAP Sample Name 30hap 0.591-0.618 ng/ml + 5 hap-d Misc Info 2.5 µg/ml 4 diluc, prep. 200802					
#	Name	Ret Time	Amount	Units	Target Response
1	Naftaleno-d8	9.077516667	2475	ng/mL	703659
2	Indeno	6.1904	425.159453	Ng/mL	40422
3	Naftaleno	9.144333333	400.17575	Ng/mL	139111
4	Acenafteno-d10	16.23943333	2475	Ng/mL	490033
5	Acenaftileno	15.53808333	361.7750167	Ng/mL	143075
6	Acenafteno	16.36371667	436.5969168	Ng/mL	115132
7	Fluoreno	18.72521667	457.7593619	Ng/mL	123338
8	Fenantreno-d10	22.91963333	2475	Ng/mL	752790
9	Fenantreno	23.02536667	427.756882	Ng/mL	172949
10	Antraceno	23.27528333	523.7278941	Ng/mL	182876
11	2-Metilantraceno	25.76481667	316.2426352	Ng/mL	68215
12	4-5 Dimetilfenantreno	25.81288333	579.2629755	Ng/mL	128842
13	1-Metilantraceno	25.93783333	747.8862739	Ng/mL	160326
14	3,6 Dimetilfenantreno	27.57916667	561.285634	ng/mL	111502
15	9,10-Dimetilantraceno	29.89626667	587.8795971	ng/mL	105155
16	Criseno-d12	35.3264	2475	ng/mL	769015
17	Fluoranteno	28.60011667	554.3187517	ng/mL	171564
18	Pireno	29.54116667	591.5055997	ng/mL	273894
19	Reteno	0	0	ng/mL	0
20	Tripticeno	31.21018333	546.3919929	ng/mL	148356
21	Benzo(a)antraceno	35.28986667	220.6551653	ng/mL	87277
22	Trifenileno	0	0	ng/mL	0
23	Criseno	0	0	ng/mL	0
24	Criseno + Trifenileno	35.42558333	678.0127507	ng/mL	423279
25	Naftaceno	35.98933333	189.4914934	ng/mL	35247
26	7,12-Dimetilbenzo(a)antraceno	40.1733	541.7020817	ng/mL	77692
27	Perileno-d12	41.5302	2475	ng/mL	613068
28	Benzo(b)fluoranteno	40.06208333	261.1955738	ng/mL	67496
29	Benzo(k)fluoranteno	40.1733	512.7764968	ng/mL	294682
30	Benzo(e)pireno	41.0779	476.8758849	ng/mL	120024

APENDICE C

31	Benzo(a)pireno	41.32258333	268.7885223	ng/mL	50819
32	Perileno	41.62658333	646.3889913	ng/mL	78355
33	Indeno(1,2,3-cd)pireno	45.76585	262.9772918	ng/mL	54503
34	Dibenzo(a,c)antraceno	0	0	ng/mL	0
35	Dibenzo(a,h)antraceno	0	0	ng/mL	0
36	Dibenzo(ah+ac)antraceno	46.35396667	34.36585998	ng/mL	17578
37	Benzo(ghi)perileno	46.42078333	205.7044586	ng/mL	63414
38	Coroneno	53.37123333	85.00973236	ng/mL	11110

En este proyecto, la cuantificación del Criseno y Trifenileno se realizaron juntos, al igual que Dibenzo(a,c)antraceno y Dibenzo(a,h)antraceno. El Reteno no fue posible su detección debido a que no se contaba con el estándar para determinar su tiempo de retención real, por lo que no se tomó en cuenta en el análisis.

GLOSARIO

Adhesión.- Es la interacción de las partículas de un líquido con un sólido sobre su superficie de contacto.

Adsorción.- Fenómeno de superficie que denota forma en que se encuentra una sustancia sobre la superficie de algún material ó partícula.

Aéreo partícula.- Partícula suspendida en el aire.

Aerosol.- Partícula atmosférica de forma coloidal.

Alquitrán de hulla.- Líquido volátil procedente del calentamiento del carbón en ausencia de aire.

Annular Denuder.- Tubo de anillos concéntricos para la determinación directa de las distribuciones de fase de los HAP semivolátiles. Es una sección del equipo de monitoreo IOPVS.

Antropogénico.- Son fuentes de emisión originados por el hombre, involucran las industrias, plantas energéticas, vehículos, aviones, barcos, trenes, etc.

Aromatización.- Presencia de anillos bencénicos en la estructura de un hidrocarburo.

Carburante.- Hidrocarburo empleado en los motores de explosión o de combustión interna.

Carcinógeno.- Sustancia que tiene capacidad para producir células cancerígenas.

Catalizador.- Sustancia o elemento que acelera la velocidad de reacción.

Coagulación.- Unión de partículas pequeñas para formar otras de mayor tamaño.

Condensación.- Cambio de fase de vapor a líquido.

Contaminante criterio.- Se define así a aquellos contaminantes que se encuentran normados a nivel internacional y sobre los cuales se aplican normas primarias de concentración en la atmósfera.

Cromatografía de GS/MS.- Método analítico de detección de especies químicas por medio de dos técnicas: cromatografía de gases (Separación) y espectrometría de masas (Detección y cuantificación) acopladas.

Depuración.- Acción del agua de lluvia sobre los contaminantes para disminuir su concentración en la atmósfera.

Diámetro aerodinámico.- Término que se utiliza para definir el tamaño de una aereopartícula a través de su velocidad de sedimentación.

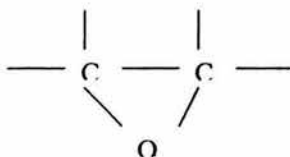
Diámetro crítico.- Tamaño en el cual arriba de este las aéreo partículas son estables, mientras que por debajo se evaporan.

Difusión.- Acción de dispersión de partículas.

Emisión.- Gas que tiene un alto contenido de compuestos ya sea orgánicos e inorgánicos, obtenido de una combustión que se lleva a cabo dentro de una fuente móvil ó estacionaria y que su lugar de salida al ambiente es el escape de aquella.

USEPA .- United Stated Enviroment Protect Agency (Agencia de Protección al ambiente de Estados Unidos).

Epóxido.- Son compuestos que contienen un anillo de tres átomos :



Anillo epóxido
(anillo oxirano)

Su anillo de tres átomos les confiere propiedades excepcionales.

HAP's.- Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

Hidrosoluble.- Material o sustancia que puede disolverse en agua.

HI-VOL.- Muestreador de Alto Volumen.

Hollín.- Material procedente de la combustión del diesel así como de la gasolina está formado principalmente por partículas de carbono y aereopartículas PST, PM₁₀ y PM_{2.5}.

IOPVS .- Muestreadores de fase Vapor-Sólido orgánico integrado. Se utiliza para el monitoreo de aereopartículas PM_{2.5} utilizando un separador de tipo ciclón.

LAH .- Lapso Adiabático Húmedo.

LAS .- Lapso Adiabático Seco

Materia particulada (PM).- Sinónimo de Aereopartículas o partículas suspendidas en estado coloidal.

Método de referencia .- También llamado método estándar el cual es establecido dentro de la normatividad y se encuentran validado por las instituciones de monitoreo ambiental.

Método equivalente.- Es aquel que proporciona datos semejantes ó comparables al método de referencia.

Milipore.- Equipo de ultrafiltración empleado para retira material sólido no disuelto del extracto orgánico de las muestras de monitoreo

µm. -Unidad de medida de longitud de diámetro de aereopartículas que equivale a 10^{-6} metros.

MINIVOL.- Muestreador de Bajo Volumen.

MOE.- Materia Orgánica Extraíble.

Movimiento browniano.- Trayectorias al azar que siguen ciertas aeropartículas.

Mutagénico.- Sustancia que tiene capacidad para cambiar los genes.

NIST.- Siglas del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos el cual proporciona los estándares de referencia y procedimientos de validación de los métodos analíticos utilizados en las técnicas de investigación.

Nucleación.- Rango en el cual partículas pequeñas tienen diámetros generalmente menores de $0.08\mu\text{m}$.

Organonitrado.- Compuesto orgánico que contiene en su estructura moléculas de nitrógeno y oxígeno principalmente.

Organosulfurado.- Compuesto orgánico que contiene en su estructura moléculas de azúfre y oxígeno principalmente.

PAN.- Peroxy Acetyl Nitrato, compuesto resultante de los mecanismos fotoquímicos para la formación del smog.

Partícula coloidal.- Partículas sólidas pequeñas suspendidas en el aire en forma de gás.

Pesticida.- Compuesto químico utilizado para combatir una peste.

Pirosíntesis .-Reacción química que involucra altas temperaturas y sucede principalmente con sustancias orgánicas presentes en la atmósfera.

PM₁₀.-Partículas menores o iguales a $10\mu\text{m}$.

PM_{2.5}.- Partículas menores o iguales a $2.5\mu\text{m}$.

Polimerización.- Es la unión de moléculas pequeñas para dar origen a moléculas muy grandes.

ppm.- Unidades de concentración en partes por millón.

PST.- Partículas Suspendidas Totales

PUF.- Fomi - poliuretano.

RAMA.- Red Automática de Monitoreo Atmosférico.

REDMA- Red Automática de Monitoreo Atmosférico

Remoción.- Acción de remover.

Rotavapor.- Equipo utilizado para reducir la cantidad de disolvente en una muestra que se encuentra contenida dentro de un matraz que gira

Sedimentación.- Acción de la fuerza gravitacional sobre una partícula (acción de caída y eliminación de la atmósfera).

Separador por ciclón

Separador por impactador

SMA.- Secretaría del Medio ambiente de México.

Smog.- Gas emitido por una fuente ya sea móvil ó estacionaria y con alto contenido de contaminantes.

Sonicación.- Acción de un equipo de ultrasonido.

Soxhlet.- Equipo hecho de vidrio utilizado generalmente para el proceso de extracción con un disolvente orgánico y empleando agua como enfriador.

TO-13A - Procedimiento experimental para la determinación de HAP adsorbido en la materia particulada a través de la técnica de cromatografía de gases/ espectroscopia de masas. Emitido por la EPA en

Variflow.- Equipo para medición de flujo de placa de orificio empleado en la calibración del equipo HI-VOL.

WINS.- Muestreador de aeropartículas por impactador/Impactador utilizado por el Método de referencia PM2.5 cuyas iniciales significan Well Impactor 96.

XAD-4.- Resina adsorbente empleada para el monitoreo de los HAP utilizada en el equipo IOPVS para retención de compuestos orgánicos volátiles, colocada en la unidad "Anular Denuder".

Z. M. C. M. - Abreviación de Zona Metropolitana de la Ciudad de México.