

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



CARACTERIZACION MICROESTRUCTURAL Y FISICOQUIMICA
DE LAS PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST)
COLECTADAS EN UN PUNTO DE LA CIUDAD
DE MONTERREY

Por

HORACIO COMPEAN GOMEZ

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD
EN INGENIERIA AMBIENTAL

MARZO DE 2009

T

TD890

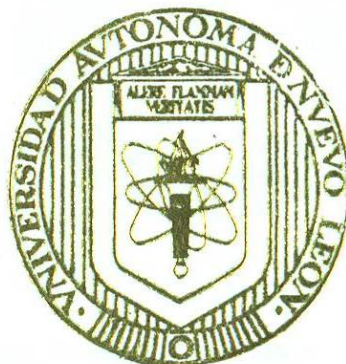
C6

2009

c.1

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



T
TD890
CG
2009/
c.1

CARACTERIZACION MICROESTRUCTURAL Y FISICOQUIMICA
DE LAS PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST)
COLECTADAS EN UN PUNTO DE LA CIUDAD
DE MONTERREY

Por

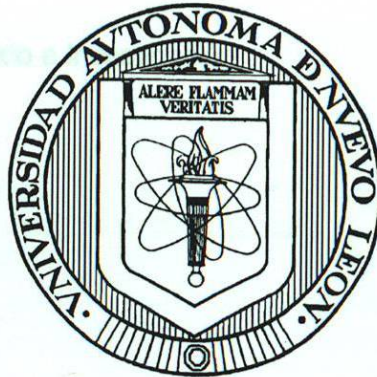
HORACIO COMPEAN GOMEZ

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD
EN INGENIERIA AMBIENTAL

MARZO DE 2009

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



T
TD890
C6
2009
c.1

**CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL Y FISICOQUÍMICA DE LAS
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) COLECTADAS EN UN
PUNTO DE LA CIUDAD DE MONTERREY**

Por

HORACIO COMPEÁN GOMEZ

ATENTAMENTE

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería Ambiental**

Dr. Vicente Rodríguez González

Director de tesis

Dr. Antonio A. Zaldivar Casas

Co-Director de tesis

MARZO, 2009



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL

Dr. Pedro L. Valdez Tamez

Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación

Facultad de Ingeniería Civil.

PRESENTE

Estimado Dr. Valdez

Por este medio le comunicamos a usted que el **Ing. Horacio Compeán Gómez**, pasante de la **Maestría en Ciencias con la Especialidad en Ingeniería Ambiental**, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de tesis, titulado: **“ CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL Y FÍSICOQUÍMICA DE LAS PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) COLECTADAS EN UN PUNTO DE LA CIUDAD DE MONTERREY”**, por lo que no tenemos inconveniente en solicitarle que de las instrucciones necesarias para iniciar los trámites de solicitud de examen de grado del Ing. Compeán Gómez de acuerdo al Reglamento de Exámenes Profesionales de nuestra institución.

Agradecemos de antemano su atención a la presente solicitud, y quedamos a sus apreciables órdenes para cualquier aclaración.

ATENTAMENTE

“ALERE FLAMMAM VERITATIS ”

Cd. Universitaria a 27 de Abril del 2009.


Dr. Vicente Rodríguez González

Director de tesis


Dr. Antonio A. Zaldivar Cadena

Co-Director de tesis



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL

San Nicolás de los Garza, N.L. a 27 de abril de 2009

DR. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ

Subdirector de Estudios de Postgrado e Investigación
de la Facultad de Ingeniería Civil

Presente.-

En atención a su oficio, en el que me informa que he sido designado como Evaluador de la tesis "CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL Y FÍSICOQUÍMICA DE LAS PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) COLECTADAS EN LA CIUDAD DE MONTERREY", que presenta el **Ing. Horacio Compeán Gómez**, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental, comunico a Usted que he leído y evaluado la calidad de dicha tesis, considerándola como **APROBADA**.

Sin otro particular por el momento, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración que considere pertinente.

Atentamente,

DR. BENJAMÍN LIMÓN RODRÍGUEZ
Jefe del Depto. de Ingeniería Ambiental





UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL

Dr. Pedro Leobardo Valdez Tamez
Subdirector de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Autónoma de Nuevo León

En atención al oficio que me ha hecho llegar informándome que he sido asignado evaluador de la Tesis del trabajo "**Caracterización microestructural y fisicoquímica de las partículas suspendidas totales (PST) colectadas en la ciudad de Monterrey**", el cual es presentado por el Ingeniero Químico **Horacio Compeán Gómez**, como requisito para tener el grado de Maestro en Ciencias con Orientación en Ingeniería Ambiental.

Una vez que he leído y evaluado el trabajo, me permito comentarle que el documento cumple con las características de una tesis además de reconocer la calidad científica de los resultados. Por lo tanto, no tengo ningún inconveniente para que este documento quede **APROBADO**.

Sin otro particular por el momento, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración que considere pertinente.

ATENTAMENTE
"ALERE FLAMMAM VERITATIS"
Cd. Universitaria a 20 de enero del 2009.


Dr. Antonio Alberto Zaldívar Cadena
Profesor- Investigador

**“CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL Y FISICOQUÍMICA DE LAS
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) COLECTADAS EN UN
PUNTO DE LA CIUDAD DE MONTERREY”**

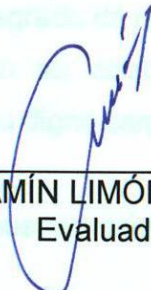
ING. LÁZARO VARGAS GUERRA
Director del Departamento de Escuelas y de
Archivo de la UANL
PRESENTE.

Aprobación de la Tesis:

Estimado Ing. Vargas:



Dr. ANTONIO ALBERTO ZALDÍVAR CADENA
Evaluador



Dr. BENJAMÍN LIMÓN RODRÍGUEZ
Evaluador



Dr. VICENTE RODRÍGUEZ GONZÁLEZ
Director de tesis



Dr. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ
Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación

C.c.p. Archivo.
Rq.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Oficio SDEPI 132-09

ING. LÁZARO VARGAS GUERRA

Director del Departamento de Escolar y de
Archivo de la UANL
PRESENTE.-

Estimado Ing. Vargas:

Por este conducto me permito comunicarle que el **IQ. HORACIO COMPEÁN GÓMEZ**, pasante de la **Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Ambiental**, ha solicitado su examen de grado, para lo cual a cubierto la totalidad de los requisitos académicos y administrativos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales y el Reglamento General de Estudios de Posgrado de nuestra Institución.

De la manera más atenta, le solicito su colaboración para que se de el trámite correspondiente en el Departamento a su digno cargo.

Sin más por el momento, quedo a sus apreciables órdenes para cualquier duda o aclaración.

ATENTAMENTE,
"ALERE FLAMAM VERITATIS"
Cd. Universitaria a 06 de marzo del 2009.

DR. PEDRO L. VALDEZ TAMEZ.
Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación



SUB DIRECCION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACION

C.c.p. Archivo.
Rtp.

Dedico esta tesis a:

Agradecimientos

Primero y antes que nada, doy gracias a Dios, por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida, por iluminar mi mente y lograr mis metas más en mi carrera profesional.

Agradezco a Ganatek por apoyarme, permitirme y por sus consejos para realizar este proyecto.

Agradezco al Departamento de Biomateriales y Energía de la Facultad de Ingeniería Civil que hicieron posible realizar este proyecto. Agradezco a M. Tarcis Guerra Jefa del Departamento.

A mi esposa: Alma Morales González

Agradezco a mi familia, especialmente a mi madre y a mi hermano por su dirección, apoyo, sus consejos, paciencia y apoyo en mi investigación.

A mis hijos: Alma Kaori Compeán Morales
Johan Horacio Compeán Morales

Agradezco al Dr. Antonio Alberto Zaldívar Cabrera, Co-Director de tesis, por su valiosa aportación que me hizo para mejorar el presente proyecto.

Agradezco al Dr. Benjamín Linares Rodríguez, por aceptar evaluar esta tesis, por sus apoyo y sugerencias.

Agradezco al I.Q.I. Miguel Ángel Ruiz Gómez por su apoyo y asistencia.

Gracias a mi amor Alma, por su apoyo, comprensión y amor, además de la confianza que me da para lograr lo que me proponga. Gracias por escucharme y por tus consejos ya que gracias a esto he logrado ser mejor en muchos aspectos. Gracias por estar a mi lado y por darme lo más hermoso que me pueden dar en esta vida (Kaori y Johan), eres lo mejor que me ha pasado.

Gracias a mi familia, por su cariño, comprensión, y apoyo sin condiciones ni medida. A mis padres por guiarme sobre el camino de la educación y por el esfuerzo que realizaron para concluir mis estudios. A mis hermanos por sus comentarios, sugerencias, apasionada y alegría que me brindan.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

Agradecimientos

Primero y antes que nada, doy gracias a Díos, por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida, por iluminar mi mente y lograr otra meta más en mi carrera profesional.

Agradezco a Gamatek por apoyarme, permitirme y por sus consejos para realizar este proyecto.

Agradezco al Departamento de Ecomateriales y Energía de la Facultad de Ingeniería Civil que hicieron posible realizar este proyecto. En especial a la Dra. Leticia M. Torres Guerra Jefa del Departamento.

Agradezco al Dr. Vicente Rodríguez González, Director de esta tesis, por su valiosa dirección, apoyo, sus consejos, paciencia y opiniones para la realización de esta investigación.

Agradezco al Dr. Antonio Alberto Zaldivar Cadena, Co-Director de tesis, por su valiosa aportación que me hizo para mejorar el presente proyecto.

Agradezco al Dr. Benjamín Limón Rodríguez, por aceptar evaluar esta tesis, por sus su apoyo y sugerencias.

Agradezco al L.Q.I.. Miguel Ángel Ruíz Gómez por su apoyo y asesoría.

Gracias a mi amor Alma, por su apoyo, comprensión y amor, además de la confianza que me da para lograr lo que me proponga. Gracias por escucharme y por tus consejos ya que gracias a esto he logrado ser mejor en muchos aspectos. Gracias por estar a mi lado y por darme lo mas hermoso que me pueden dar en esta vida (Kaori y Johan), eres lo mejor que me ha pasado.

Gracias a mi familia, por su cariño, comprensión y apoyo sin condiciones ni medida. A mis padres por guiarme sobre el camino de la educación y por el esfuerzo que realizaron para concluir mis estudios. A mis hermanos por sus comentarios, sugerencias, opiniones y alegría que me brindan.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

RESUMEN

Horacio Compeán Gomez

Fecha de Graduación: Marzo, 2009

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Civil

Título del Estudio: CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL Y FÍSICOQUÍMICA DE LAS PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) COLECTADAS EN UN PUNTO DE LA CIUDAD DE MONTERREY

Número de páginas: 88

Candidato para el grado de Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental

Area de Estudio: Ingeniería Ambiental

Propósito y Método del Estudio: En este proyecto de tesis se presentan los resultados de la caracterización microestructural, morfológica y composición fisicoquímica de las Partículas Suspendidas Totales (PST) colectadas en la ciudad de Monterrey. La ciudad industrial de Monterrey se encuentra franqueada de montañas como la Sierra Madre Oriental al suroeste de Monterrey lo que afecta la circulación y composición de las masas de aire y diversificando los contaminantes presentes. Las partículas suspendidas totales (PST) fueron colectadas utilizando un sistema de muestreo de alto volumen durante periodos de uno a cinco días. Los muestreos se realizaron considerando la norma NMX-035-SEMARNAT-1993. La caracterización de PST colectadas fue realizada por medio de técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido Espectroscopía con Dispersión de Energía de Rayos X (MEB-EDS) acoplada al microscopio electrónico de barrido, Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia Ultravioleta Visible con Reflectancia Difusa (UV-Vis-DRS) y Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (IR-TF). El análisis de DRX fue utilizado para determinar la naturaleza química de las partículas colectadas. El monitoreo de PST se realizó durante el mes de marzo 2008.

Contribuciones y Conclusiones: Los espectros de DRX de las partículas suspendidas totales, muestran fases cristalinas como óxido de calcio, yeso, carbonato de calcio y óxidos de hierro, mientras que el análisis de IR-TF mostró los principales iones inorgánicos, la presencia de algunos compuestos orgánicos como ceniza volante (grafito) y la formación de partículas secundarias como la cristalización de yeso. El análisis de los espectros de UV-Vis (en la región de transición d-d entre 200-500 nm), confirma la presencia de metales en coordinación con otros elementos, formando principalmente; óxidos de hierro (hematita). El análisis por MEB-EDS revela las diversas morfologías de las partículas de óxidos; semiesféricas para los silico - aluminates con un diámetro promedio de 15 micrones, esféricas para hierro y compuesto de carbono con un diámetro aproximado de 10 micrones y partículas angulares de óxidos de calcio, alrededor de 10 micrones de tamaño.

Para hacer una atribución correcta de las posibles fuentes emisoras es necesario realizar monitoreos en mas puntos del área, además de realizar un estudio complementario sobre la validez de emplear los colectores de alto volumen por más de 24 horas.

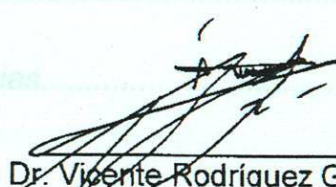
Sin embargo, se enlistaron las siguientes posibles fuentes de emisión de las PST de acuerdo a los resultados obtenidos; (calcita y yeso) son las montañas por efectos de la erosión que son

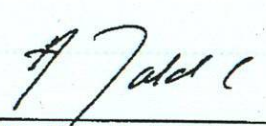
incrementadas por la explotación de minas (pedreras) y yacimientos para la industria de la construcción. Además las partículas de carácter metálico son provenientes del sector industrial (metalmeccánica y siderúrgica). En menor proporción partículas esféricas de carbono provenientes de la combustión incompleta de gasolinas y diesel en vehículos automotores y chimeneas industriales.

Se detectaron al igual algunos compuestos orgánicos de formas definidas, plásticos transportados por el viento provenientes de la quema de basura a cielo abierto.

El conjunto de técnicas de caracterización empleadas en la presente tesis proveen una herramienta valiosa que nos pudiera permitir la identificación de las posibles fuentes de emisión y la peligrosidad para la salud humana (efisema pulmonar, ojos, etc.). Ya que el tamaño promedio de las partículas es 10mm (PM10) pero también se detectaron partículas metálicas de 2.0 mm que pueden entrar fácilmente al organismo humano. Principalmente la morfología de las PST, esféricas y partículas anguladas pudieran ocasionar ulceraciones en los tejidos y su carácter organo-metallico enfermedades cancerosas. Además del daño a la fauna y flora de la región, que es otra fuente indirecta para introducirse en el cuerpo humano.

Del 8 al 13 de marzo, se colectaron las muestras D1 a D5 en un punto crítico del centro de la Ciudad de Monterrey. El muestreo se hizo de acuerdo a la metodología presentada en la Norma NOMX-SEMARNAT-035-1993. Los elementos encontrados que los elementos presentes en las muestras fueron Ca, Si, S, Cl, K, Ti, Fe, Na, Al, Mg, C, O. La caracterización obtenida permite identificar la contribución antropogenica provenientes del sector industrial situada en la Ciudad de Monterrey y en su Área Metropolitana; entre ellas la industria cementera, cerámica, metalúrgica, así como fuentes naturales. Los elementos Ca, Mg, S, Ti y Fe, provienen probablemente de suelos erosionados (montañas, llanos e incluso calles y avenidas) aunque parte del origen del Fe encontrado, de acuerdo a su morfología, posiblemente sea generado por la industria de la fundición, herrerías, industria de la laminación y la industria metalmeccánica. Las concentraciones estimadas se encuentran por debajo de los niveles normados (NOM-025-SSAI-1993, PST 210 mg/m³ promedio de 24 horas, PM10 120 mg/m³ promedio de 24 horas, PM2.5 promedio de 24 horas). Los elementos como C y Fe, son debido a fuentes antropogenicas como emisiones de combustión incompleta o chimeneas de industrias y partículas de morfología poco habitual de la quema de basura a cielo abierto.


Dr. Vicente Rodríguez González
Director de tesis


Dr. Antonio Alberto Zaldivar Cadena
Co-Director de tesis

Índice

Página

2.2 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) acoplada con microanálisis de EDS..... 28
Página

Introducción..... 1
2.2.1 Principio de operación..... 28

CAPÍTULO I

1.1 Primeros monitoreos ambientales a nivel mundial..... 5

1.2 Monitoreos en América Latina..... 6

1.3 Estudios de contaminantes atmosféricos realizados a nivel mundial..... 8

1.4 Monitoreos ambientales a nivel nacional..... 10

2.4 Ex 1.4.1 Caracterización fisicoquímica de contaminantes atmosféricos a nivel nacional..... 14

1.4.2 Estudios realizados en Monterrey y su área Metropolitana..... 16

2.5 C 1.4.3 Antecedentes de programas de prevención y control de la contaminación..... 18

Referencias..... 20

1.5 Conclusión..... 19

Referencias..... 20

3 Desarrollo experimental..... 39

3.1 Descripción de la zona de estudio..... 39

CAPÍTULO II

2 Técnicas de caracterización..... 24

2.1 Difracción de Rayos X en polvos (DRX)..... 24

2.1.1 Principio de Difracción de Rayos X en polvos (DRX)..... 24

2.1.2 Preparación de muestra..... 28

	<i>Página</i>
2.2 Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) acoplado con microanálisis de EDS.....	28
2.2.1 Principio de operación.....	28
2.2.2 Preparación de muestra para su análisis por Microscopia Electrónica de Barrido.....	30
2.3 Espectroscopia de luz ultravioleta visible acoplado con esfera de Integración.....	30
2.3.1 Principio de operación.....	30
2.3.2 Preparación de muestra.....	33
2.4 Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (IRTF).....	33
2.4.1 Principio de operación.....	33
2.4.2 Preparación de muestra.....	35
2.5 Conclusión.....	35
Referencias.....	36
Referencias.....	53

CAPÍTULO III

3 Desarrollo experimental.....	39
3.1 Descripción de la zona de estudio.....	39
3.2 Metodología.....	41
3.3 Muestreo de alto volumen.....	43
3.3.1 Principio de muestreo de alto volumen.....	43
3.3.2 Rango de medición.....	43

	<i>Página</i>
3.4 Equipo utilizados.....	44
3.4.1 Descripción del equipo de monitoreo de alto volumen.....	44
3.4.2 Coraza del muestreador.....	45
3.4.3 Dispositivo de medición de flujo.....	46
3.4.4 Cámara ambiental.....	47
3.4.5 Filtros.....	48
3.4.6 Estación meteorológica.....	49
3.5 Disposición de las unidades de muestreo.....	49
3.6 Condiciones de operación de sistema de monitoreo usado en este estudio.....	51
3.7 Análisis de Muestra.....	54
3.7.1 Manejo de filtros antes de muestreo.....	54
3.7.2 Análisis de filtros después de muestreo.....	54
3.8 Conclusión.....	54
Referencias.....	55

CAPÍTULO IV

4 Resultados y discusión.....	57
4.1 Difracción de rayos X de los materiales.....	58
4.2 Espectroscopia UV-Vis de las PST.....	62
4.3 Espectroscopia IR-FT de las muestras.....	64

LISTA DE TABLAS

	Página
4.4 Microscopía Electrónica de Barrido.....	67
4.5 Análisis de las diversas técnicas.....	77
<i>Capítulo I</i>	
4.6 Correlación con los monitoreos efectuados con SIMA.....	78
1. Redes de monitoreo atmosférico incorporados al SIMA.....	12
4.7 Conclusiones.....	81
2. Normas Oficiales Mexicanas para los contaminantes atmosféricos.....	13
Referencias.....	82
3. Valores normados para los contaminantes.....	14
Conclusiones generales.....	84
<i>Capítulo II</i>	
1. Técnicas de caracterización.....	26
<i>Capítulo III</i>	
1. Pasado de Filtras.....	34
<i>Capítulo IV</i>	
1. Tiempo de colección de las muestras colectadas en PST.....	57
2. Patrones ICDD/NIH/OPDS correspondientes para cada tipo de material identificado.....	58
3. Resumen de morfología, composición y posibles fuentes de emisión de las partículas colectadas en la Ciudad de Monterrey.....	75
4. Datos climatológicos de los días de muestreo por diámetro (primario).....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Capítulo II	
1. Difactograma de DRX representando picos de gran intensidad en $2\theta = 25, 38, 47, 55, 63, 78$	27
2. (a) Difracción de rayos X de polvos Bruker D8 Advance, (b) Sistema de rotación.....	27
3. Microscopio Electrónico de Barrido de Bajo Vacío, JEOL 6490 LV acoplado con analizador de EDS.....	30
4. Reflectancia difusa.....	32
5. Espectrofotómetro de ultravioleta-visible (UV-Vis) acoplado con esfera de integración, Perkin Elmer Lambda 35.....	32
6. (a) Thermo Nicolet 380 IRTF cerrado, (b) Thermo Nicolet 380 IRTF abierto.....	34
Capítulo III	
1. Ubicación del área metropolitana de Monterrey en el estado de Nuevo León.....	40
2. Vista aérea del área Metropolitana de Monterrey.....	41
3. Esquema representativo del sistema de muestreo de alto volumen utilizado para muestreos de partículas suspendidas totales en aire ambiente.....	46
4. Patrón de transferencia de flujo tipo orificios.....	47
5. Filtro utilizado para muestreos de partículas suspendidas totales en aire ambiente.....	48

<i>Figura</i>	<i>Página</i>
6. Arreglo experimental en donde se muestra la posición de los muestreadores de alto volumen en la etapa de colección de polvos.....	50
7. Etapas del proceso de medición de flujo. a) Calibración del patrón de transferencia b) Calibración del indicador de flujo instalado en el muestreador c) Muestreo con indicador calibrado.....	52

Capítulo IV

1. Difractogramas de los polvos colectados en la ciudad de Monterrey durante los días 1, 4 y 5.....	59
2. Patrón DRX del polvo recolectado del aire para las muestra colectadas en 5 días (D5).....	60
3. Espectroscopia de UV-Vis de los polvos colectados en la ciudad de Monterrey.....	63
4. Espectroscopia de UV-Vis de los polvos colectados en la ciudad de Monterrey comparados con reactivos comerciales de oxido de hierro.....	64
5. Espectro IR-TF de las muestras de polvos colectadas.....	66
6. Imagen MEB y espectro EDS de la muestra D1.....	68
7. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D1.....	69
8. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D4.....	70
9. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D4.....	71
10. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D5.....	72
11. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D5.....	73
12. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D5.....	74

13. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D5..... 75

14. Imágenes MEB y espectro EDS para la muestra D5..... 76

15. Concentración promedio de PM10 y PM2.5 durante el periodo de muestreo..... 79

16. Dirección predominante del viento durante el muestreo..... 81

determinación de los efectos directos de las partículas en la salud y acerca al medio ambiente. No está de más recordar cuáles son los agentes causantes (biológicos, composición química o morfología física, resistencia química y física) así como sus efectos adversos, así como ciertos factores (1) que influyen en la toxicidad y en las condiciones meteorológicas involucradas con los efectos adversos (2) que influyen en la determinación de los efectos directos de las partículas en la salud y acerca al medio ambiente. No está de más recordar cuáles son los agentes causantes (biológicos, composición química o morfología física, resistencia química y física) así como sus efectos adversos para la salud tales como problemas respiratorios, cáncer por metales pesados, entre otros (2). De cualquier manera, no existe mucha investigación que se relaciona con los efectos adversos, enfocada en la caracterización física, masa de las partículas. La mayor parte de las investigaciones se enfocan a la distribución de la composición química (cantidades de elementos pesados) y su correlación con los monitoreos diarios para determinar si están o no dentro de los límites y en la influencia de las actividades cotidianas de una ciudad. La caracterización de la morfología y microestructura puede ayudar a entender los efectos adversos a la salud ya que al entrar las partículas en el organismo humano pueden causar daños luego de un inhalación o al contacto por ejemplo en las ojos, boca, nariz, etc. Los tamaños pueden variar mediante estimados, las partículas más grandes (es decir, el diámetro) contienen las partículas de menor diámetro que pueden adherirse en nichos pulmonares (3). La caracterización morfológica más detalladamente puede ayudar a identificar cuáles son las posibles fuentes emisoras y tomar medidas para prevenir, disminuir y controlar las emisiones. La emisión de las partículas suspendidas totales (TSP) a la atmósfera en una mega ciudad son principalmente atribuidas a fuentes naturales, fuentes terrestres como erosión de la tierra (polvo), volcánica, incendios forestales y emisiones naturales gaseosas, pero estas emisiones de TSP son altamente dramáticamente por la actividad industrial y minera (industria del cemento, metálica, cerámica, entre otras), actividades agrícolas (maquinaria pesada y cambio en el uso de suelo) y ciertamente la actividad urbanización de las áreas rurales alrededor de la ciudad. Sin embargo, estas emisiones son disminuidas por vientos regularmente

en la atmósfera y aún detectada **Introducción** nivel bajo de concentraciones de PST en la troposfera

Las Partículas Suspendidas Totales (PST) son consideradas el peligro más significativo de la contaminación atmosférica para la salud humana, que ha sido correlacionada con algunos resultados adversos de la salud como mutaciones en los organismos, así como efectos ambientales [1]. Las fuentes de las partículas y las condiciones meteorológicas involucradas son los principales factores que influyen en sus características y composición, y toman un rol muy importante en la determinación de los efectos dañinos de las partículas en la salud y daños al medio ambiente. No está de más, esclarecer cuales son los agentes causantes (biológicos, composición química o morfología física), mecanismos expuestos y cuales son los mayores responsables de estos efectos adversos para la salud tales como problemas respiratorios, cáncer por hidrocarburos, entre otras [2]. De cualquier manera, no existe mucha investigación que se relacione con los efectos adversos, enfocada en la caracterización fisicoquímica de las partículas. La mayor parte de las investigaciones se enfocan a la determinación de la composición química (cantidades de elementos presentes) y su correlación con los monitoreos diarios para determinar si están o no dentro de norma y ver la influencia de las actividades cotidianas de una ciudad. La caracterización de la morfología y microestructura puede ayudar a entender los efectos adversos a la salud ya que al entrar las partículas en el organismo humano pueden causar daños luego de ser inhaladas o al contacto por ejemplo en los ojos, fosas nasales. El ser humano puede desechar mediante estornudos, las partículas más grandes pero el problema lo constituyen las partículas de menor diámetro que pueden alcanzar los alvéolos pulmonares [2]. La caracterización morfológica muy posiblemente puede ayudar a identificar cuales son las posibles fuentes emisoras, y tomar medidas para prevenir, disminuir y controlar las emisiones. La emisión de las partículas suspendidas totales (PST) a la atmósfera en una mega ciudad son principalmente atribuidas a fuentes naturales, fuentes terrestres como erosión de la tierra (polvos), volcanes, incendios forestales y emisiones naturales gaseosas, pero estas emisiones de PST son alteradas dramáticamente por la actividad industrial y minera (industria del cemento, metálica, cerámica, entre otras), actividad agrícola (incendios provocados y cambio en el uso de suelo) y ciertamente la acelerada urbanización de las áreas rurales alrededor de la ciudad. Sin embargo, estas emisiones son dispersadas por vientos regularmente

en la atmósfera y aún detectadas en un relativo nivel bajo de concentraciones de PST en la troposfera.

Las fuentes naturales que tienen el mayor impacto en las concentraciones de PST incluyen polvos provenientes de la erosión, aerosoles de sal de mar (principalmente en la costa) y quema de biomasa (incendios forestales) [3]. La mayor fuente de origen antropogénico son por ejemplo las partículas en transportación, combustión estacionaria, calentamiento del espacio, quema de biomasa y emisiones de las industrias y tráfico (polvo de las calles). Las PST urbanas provenientes de fuentes antropogénicas son una mezcla compleja y potencialmente más dañinas que la mayoría de las PST de origen natural, la presencia de gases contaminantes en el medio ambiente provocan la formación de partículas secundarias aun más peligrosas. La mayoría de las PST antropogénicas son emitidas dentro de un espacio urbano relativamente pequeño (las áreas industriales), generando lugares con altas concentraciones de partículas y otros contaminantes en el aire los cuales normalmente se encuentran en los alrededores de las mega ciudades. Las partículas emitidas pueden permanecer en suspensión por algunos días y viajar miles de kilómetros en la atmósfera, es bien conocido el hecho de que partículas emitidas en China pueden alcanzar las costas de Estados Unidos de América y Canadá.

El objetivo de esta tesis consiste en el estudio de la caracterización de las partículas suspendidas totales emitidas en una zona de la ciudad de Monterrey y su Área Metropolitana (mega ciudad industrial) con un énfasis fisicoquímico, microestructural e identificación de morfológica (forma y tamaño) así como de su carácter orgánico metálico. Todo esto con la finalidad de identificar las posibles fuentes emisoras y la evolución de las partículas en la atmósfera urbana. Las partículas colectadas mediante un sistema de muestreo de alto volumen fueron caracterizadas por las técnicas de Difracción de Rayos X en polvos (DRX), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) acoplado, microanálisis de EDS, Espectroscopía de luz Ultravioleta-Visible y Espectroscopía de Infrarrojo. Las partículas analizadas en este trabajo fueron colectadas durante un periodo de uno a cinco días efectuados durante la primavera de 2008 en el centro de la ciudad de Monterrey, Nuevo León.

Referencias

- [1] R.M. Harrison, J. Yin, "Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health?", *Sci. Total Environ.*, 249, (2002), 85-101.
- [2] M. Ruchirawat, D. Settachan, P. Navasumrit, I. Tuntawircoon H. Autrup., *Toxicol. Lett.*, 168, (2007), 200-209.
- [3] E. Mészáros, "Study of the chemical composition of atmosphere aerosol particles in hungary a review", *Atmospheric Research*, Volumen 26, August, 1991, 275-283.

CAPITULO I

"ANTECEDENTES"

1.1 Primeros monitoreos ambientales a nivel mundial	1
1.2 Monitoreos en América Latina	5
1.3 Estudios de contaminación atmosférica en Bogotá y otros centros	8
1.4 Monitoreos ambientales a nivel regional	10
1.4.1 Caracterización atmosférica de contaminación atmosférica a nivel regional	14
1.4.2 Estudios realizados en Medellín y su área metropolitana	15
1.4.3 Antecedentes de programas de monitoreo y control de la contaminación	20
1.5 Conclusión	23
Referencias	25

CAPÍTULO I

“ANTECEDENTES”

1.1 Primeros monitoreos ambientales a nivel mundial

En 1979 la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) iniciaron el Programa Global de Monitoreo de la Calidad del Aire (PNUMA-GEMS) como parte de un sistema global de monitoreo ambiental llamado GEMS (Global Environmental Monitoring System), el cual fue complementado con la recolección de muestras mensuales de polvo atmosférico total y muestras diarias de partículas totales en suspensión (PTS) y de SO_2 . Desde el verano de 1980 se operaron redes de monitoreo

	<i>Página</i>
1.1 Primeros monitoreos ambientales a nivel mundial.....	5
1.2 Monitoreos en América Latina.....	6
1.3 Estudios de contaminantes atmosféricos realizados a nivel mundial.....	8
1.4 Monitoreos ambientales a nivel nacional.....	10
1.4.1 Caracterización fisicoquímica de contaminantes atmosféricos a nivel nacional.....	14
1.4.2 Estudios realizados en Monterrey y su Área Metropolitana.....	16
1.4.3 Antecedentes de programas de prevención y control de la contaminación.....	18
1.5 Conclusión.....	19
Referencias.....	20

CAPÍTULO I

“ANTECEDENTES”

1.1 Primeros monitoreos ambientales a nivel mundial.

En 1976 la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) iniciaron el Programa Global de Monitoreo de la Calidad del Aire, como parte de un sistema global de monitoreo ambiental llamado GEMS/AIR por sus siglas en inglés (Global Environmental Monitoring System/Air), inició sus operaciones con la recolección de muestras mensuales de polvo sedimentable (PS) y muestras diarias de partículas totales en suspensión (PTS) y de SO₂. Durante la década de 1980 se operaron redes extensas de monitoreo de la calidad del aire en varias de las áreas urbanas de la Región, en los países de América Latina y el Caribe [1].

Estas redes midieron los contaminantes del aire más comunes, incluidos el dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), plomo (Pb) y partículas suspendidas totales (PST) [1].

En la década de 1990, la OMS desarrolló con carácter global el Sistema de Información para el Control de la Calidad del Aire llamado AMIS por sus siglas en inglés (Air Management Information System) como parte del Programa de Ciudades Saludables (Health Cities Programme) [2].

En 1997, la red GEMS-Air desapareció como tal para integrarse al AMIS. El objetivo del AMIS es actuar como un sistema global de intercambio de información sobre la calidad del aire. El programa comprende información de la contaminación del aire en 100 ciudades de 40 países [2], esta información permite conocer las concentraciones de las emisiones y tener un plan de control o de prevención.

Además de los acuerdos internacionales para el monitoreo y control de las emisiones de contaminantes a la atmósfera, diversos países han desarrollado programas para determinar las tendencias, concentraciones y características de

estos contaminantes, elaborar leyes, normas y estándares que permitan reducir la contaminación atmosférica en las mega ciudades y ciudades industriales.

En 1973, el Consejo Directivo de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) recomendó a

su Director. En Estados Unidos numerosos programas de control de emisiones han sido establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) en un esfuerzo por reducir la concentración del ozono a nivel del suelo, mediante la reducción de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOC's) o los óxidos de nitrógeno (NOx), los cuales son precursores en la producción fotoquímica del ozono (O₃) [2].

de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire (REDPANAIRE) inició sus operaciones en junio de 1967, con la recolección de

muestras. Con el incremento del número de eventos en donde la concentración de ozono, partículas, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno sobrepasan los límites máximos permisibles y la baja visibilidad reportados por los medios de comunicación, se ha prestado mucha atención a la reducción de las emisiones de contaminantes y al mejoramiento de la calidad del aire en las ciudades, municipios y provincias en China. Desde el año 2000, un índice de la contaminación y niveles de la calidad del aire están disponibles en muchas ciudades de China, como es Beijing, Shanghai, y la Pearl River Delta región incluyendo Guangzhou, Shenzhen y Hong Kong [3]. Actualmente, la Iniciativa de Aire Limpio (CAI por sus siglas en inglés) Clean Air Initiative fomenta formas innovadoras para mejorar la calidad del aire en las ciudades, mediante el intercambio de conocimientos y experiencias a través de las asociaciones en determinadas regiones del mundo, en cuestiones de desarrollo urbano, transporte, energía, gestión ambiental y salud ambiental. Esta iniciativa está actualmente desarrollándose en tres regiones: Asia, América Latina y África, además de algunos lugares de Europa [4]. Paradójicamente los Estados Unidos que es el país mayor emisor de contaminantes ambientales poseen la normatividad más estricta, seguida de la comunidad Europea.

monitoreo eran Brasil, Chile y México, los países con limitada capacidad de monitoreo eran Argentina, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Perú y Venezuela; y los países con mínima capacidad de monitoreo

eran **1.2 Monitoreos en América Latina.** Perú [5]. La Iniciativa de Aire Limpio en

Ciudades de América Latina, fue lanzada por el Banco Mundial para establecer un

enfoque. Desde 1950 se observó en los países de América Latina y el Caribe una preocupación por la contaminación del aire. Las universidades y dependencias de los ministerios de salud fueron los organismos que realizaron las primeras

mediciones de contaminación en el aire gracias a que el control de la contaminación se volvió una de las políticas ambientales importantes en todo el mundo. En 1965, el Consejo Directivo de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) recomendó a su Director el establecimiento de programas de investigación de la contaminación del agua y del aire, con el objeto de colaborar con los Gobiernos Miembros en el desarrollo de políticas adecuadas de control. Por medio del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), la OPS acordó establecer una red de estaciones de muestreo de la contaminación del aire [5]. La Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire (REDPANAIRE) inició sus operaciones en junio de 1967, con la recolección de muestras mensuales de polvo sedimentable (PS), muestras diarias de Partículas Totales en Suspensión (PTS) y de SO_2 . La REDPANAIRE comenzó con ocho estaciones y a fines de 1973 tenía un total de 88 estaciones distribuidas en 26 ciudades de 14 países [5]. Hasta diciembre de 1973 se habían recogido más de 350,000 datos sobre la calidad del aire, los que indicaban que varias ciudades duplicaban y triplicaban los niveles de referencia recomendados. Algunas ciudades mostraban además una tendencia al incremento de los niveles de contaminación de polvo sedimentable (PS), de partículas suspendidas totales (PST) y de SO_2 [5]. En 1980 la REDPANAIRE desapareció como tal y pasó a formar parte del Programa Global de Monitoreo de la Calidad del Aire.

En el monitoreo del aire es el resultado de los procedimientos de muestreo y análisis de los contaminantes atmosféricos. Los contaminantes atmosféricos importantes que se monitorean comúnmente son: dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), ozono (O_3), partículas menores a 10 micras (PM_{10}) y partículas suspendidas totales (PST). Hasta 1999 los países latinoamericanos con buena capacidad de monitoreo eran Brasil, Chile y México; los países con limitada capacidad de monitoreo eran Argentina, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Perú y Venezuela; y los países con mínima capacidad de monitoreo eran Bolivia, Guatemala, Nicaragua y Uruguay [5]. La Iniciativa de Aire Limpio en Ciudades de América Latina, fue lanzada por el Banco Mundial para establecer un enfoque amplio para abordar los retos de la calidad del aire en América Latina. La fase inicial apoyó el desarrollo y mejora de planes de acción para un aire limpio a nivel local, en grandes áreas urbanas de América Latina, mejoró el conocimiento

científico y la comprensión acerca de la calidad del aire urbano y sus impactos asociados sobre la salud humana y brindó a los tomadores de decisiones herramientas para la evaluación de opciones de política. Esta iniciativa opera en México, El Caribe (Cuba, Haití), Centroamérica (Guatemala, Costa Rica, Honduras, Nicaragua, Panamá), Región Andina (Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia), Brasil y el Cono Sur (Paraguay, Chile, Uruguay y Argentina) [6]. Todos estos países cuentan con monitoreos en distintas ciudades de su territorio.

En la India, se han estudiado las tendencias de las PST y PM₁₀. En la ciudad de la Oroya del Perú se realizó un estudio de monitoreo de calidad del aire del 14 al 24 de Mayo 2007, estableciéndose tres estaciones fijas en tres diferentes zonas, instalando equipos de muestreo para la evaluación de partículas menores a 10 micras (PM₁₀), sistemas de muestreo para dióxido de azufre (SO₂) [7]. El 12 de marzo de 2008, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) consolidó sus estándares nacionales de la calidad del aire ambiente para el ozono a nivel del suelo, y los puntos de desempate cambiados del índice de la calidad del aire (AQI) para reflejar el nuevo estándar primario. El nuevo nivel 100 del ozono AQI es 0.075 partes por millón (ppm), el promedio de ocho horas, que es el nivel del estándar primario revisado. [8]

Para los estudios de la contaminación del ozono en los Estados Unidos de Norteamérica, la EPA tiene dividido el país en 10 regiones, de las cuales se presenta la tendencia del ozono que se ha presentado durante el periodo 1990 a 2003, presentándose tendencias favorables, debido a los programas de control de la emisión de NO_x y VOC's ya que han tenido impacto significativo en las concentraciones de ozono [8]. Generalmente los países latinoamericanos han y están adoptando las normas estadounidense para controlar sus emisiones ambientales.

Además se han estudiado las características del O₃ y el NO_x durante las tormentas de polvo [9]. Todos estos estudios se realizaron para conocer y estudiar el impacto que tienen todas las fuentes de emisión estudiadas.

1.3 Estudios de contaminantes atmosféricos realizados a nivel mundial

Se han realizado y se siguen realizando numerosos estudios acerca de las tendencias, concentraciones, fuentes y características de los contaminantes atmosféricos presentes en el aire en diversos países alrededor del mundo.

En 1997, el programa OATG (Ozone Transport and Assessment Group) reveló que el transporte interestatal del ozono y sus precursores contribuyen a elevar las concentraciones de ozono en el noroeste de Estados Unidos. Como consecuencia, la EPA diseñó una política de control de emisiones para reducir el transporte interestatal del ozono y sus precursores mediante la reducción de la emisión de NOx en 22 estados ubicados al oriente de Estados Unidos [2].

En la India, se han estudiado las tendencias de las PST y PM₁₀ encontrándose que sobrepasan los límites establecidos por el Consejo Central de Control de la Contaminación de la India como por las guías de la Organización Mundial de la Salud [9, 10].

En los Valles de los Alpes de Francia, se han realizado estudios sobre el tamaño de las partículas presentes en la atmósfera, específicamente de hidrocarburos aromáticos cíclicos, encontrando que la distribución del tamaño de estas partículas presenta grandes variaciones que dependen de la estación del año y el sitio donde fueron muestreadas. En general se encontraron partículas finas (1.3 μm) [11].

En Alemania, se han estudiado los tamaños medios de las Partículas Suspendidas Totales (PST), para determinar si diferentes técnicas de medición del tamaño de las partículas son congruentes entre ellas [12].

En China se han estudiado las tendencias, fuentes y concentraciones de las PM₁₀, PM_{2.5} y partículas ultrafinas. [3, 13-16], así como de los contaminantes atmosféricos relacionados con el tránsito vehicular, como lo son el SO₂ [16, 17], el CO y los NOx [22]. Además se han estudiado las características del O₃ y el NOx durante las tormentas de polvo [16]. Todos estos estudios se realizaron para conocer y estudiar el impacto que tienen todas las fuentes de emisión estudiadas sobre la calidad del aire.

En Estados Unidos se han realizado diversos estudios que constan del modelado de las reducciones de las emisiones de NOx y el impacto que estas tendrían en la reducción de la concentración de ozono, tomando parámetros

meteorológicos claves en la formación fotoquímica del ozono y comparándolos con los datos disponibles recabados en los monitoreos [2, 19-21].

Otros estudios se han enfocado en la caracterización de las PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la Unión Europea, Estados Unidos y Escandinavia. [22-28]. Además, se han realizado estudios de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en países de América Latina como Colombia, Venezuela, Chile y México [29-32]. Todos estos estudios han sido realizados con el objetivo de obtener información y crear bases de datos históricas para determinar qué tanto está cambiando la calidad de la atmósfera a través del tiempo y poder tomar acciones de planificación, prevención y control. En México gracias a la catálisis generada con la obtención del premio Nobel de Química por parte del Dr. Mario Molina se han instaurado programas de control y monitoreo ambiental, principalmente en la capital del país, con el famoso programa Milagro, estos monitoreos se han extendido ya a diversas ciudades del país como programa PROAIRE estatales [33].

1.4 Monitoreos ambientales a nivel nacional.

El monitoreo ambiental se define como un sistema continuo de observación de medidas y evaluaciones que se realizan con un propósito definido. El monitoreo ambiental se emplea para detectar impactos adversos presentes en parámetros ambientales tales como el aire, agua y suelo, lo anterior para poder emprender acciones correctivas y preventivas enfocadas al medio ambiente y salud de la población ubicada en el entorno cercano a las estaciones de monitoreo, las cuales fueron situadas estratégicamente.

En 1974 la Secretaría de Salud inició la medición sistematizada de contaminantes del aire (ozono y partículas suspendidas) en la capital del país [34].

En 1984 la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología inició la operación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) en la ciudad de México, con 25 estaciones interconectadas por vía módem, a un centro de operaciones, sustituyendo en su totalidad los componentes pero conservando el concepto inicial

de monitoreo de SO₂ y CO, O₃ y NO_x, PS. La información generada por el sistema permitió desarrollar políticas y aplicar medidas de control más adecuadas, lográndose con ello avances significativos en la disminución de los índices de contaminación por SO₂ y CO, para concentrar los esfuerzos y recursos en el monitoreo del ozono y sus precursores, que se manifiestan a partir de 1986 como un problema ambiental de dimensiones serias por su frecuencia y las concentraciones con que se presentaban. Esto dio pie al desarrollo de sistemas de monitoreos financiadas por el gobierno y aplicadas por organismos como SEDEU hoy SEMARNAT, es la dependencia de gobierno federal que tiene como propósito fundamental "fomentar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales, bienes y servicios ambientales, con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable".

Actualmente, en México el monitoreo atmosférico se lleva a cabo en las distintas Redes de Monitoreo de la Calidad del Aire de la república, las cuales miden de manera automática o manual las concentraciones de diversos contaminantes criterio y no criterio, así como parámetros meteorológicos (Tabla 1).

Los contaminantes atmosféricos que se monitorean principalmente son: ozono, monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y las partículas PM₁₀, mientras que los parámetros meteorológicos son: la velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, presión barométrica, precipitación pluvial y radiación solar.

En algunas estaciones, se determina la concentración de otros contaminantes atmosféricos no criterio como PM_{2.5} e hidrocarburos totales (en los que se incluyen dos categorías: metano y todas aquellas especies diferentes a este compuesto, denominadas: hidrocarburos no metano), así como ácido sulfhídrico. Los datos generados por las distintas redes de monitoreo, son enviados al SINAICA (Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire) y están disponibles en la página web del mismo.

Las redes incorporadas al SINAICA son las redes de los estados de Baja California, Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Ciudad de México, Durango,

Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Nuevo León, Morelos, Puebla, San Luis Potosí y Tabasco. En la Tabla 1 se muestra en detalle los estados de la República Mexicana incorporados a la red SINAICA y en específico los contaminantes monitoreados en sus estaciones.

Tabla 1. Redes de Monitoreo Atmosférico incorporados al SINAICA. [35].

Estado	Ciudad	Número de estaciones	Contaminantes monitoreados
Baja California	Tijuana-Rosarito Mexicali Tecate	9 Automáticas 4 Manuales	O ₃ , NO ₂ , CO ₂ , CO, PM ₁₀ .
Chihuahua	Cd. Juárez	3 Automáticas	
Coahuila	Torreón	1 Automática 5 Manuales	O ₃ , NO ₂ , NO, NO _x , SO ₂ , CO, PST, PM ₁₀ .
Distrito Federal	Ciudad de México	32 Automáticas 13 Manuales	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , CO, PM ₁₀ .
Ciudad de México	Red INE	2 Automáticas	O ₃ , NO ₂ , NO, NO _x , SO ₂ , CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} .
Durango	Gómez Palacio Cd. De Lerdo La Laguna	2 Automáticas 3 Manuales	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , CO, PST, PM ₁₀ .
Estado de México	Toluca	7 Automáticas 2 Muestreadores PST	O ₃ , NO ₂ , NO, NO _x , SO ₂ , CO, PST, PM ₁₀ .
Guanajuato	León de los Aldama Irapuato Salamanca Celaya	10	
Hidalgo	Tula de Allende Región Tula-Vito- Apasco	2 Automáticas 6 Manuales 1 Móvil	SO ₂ , NO _x , CO, O ₃ , PM ₁₀ , PST.
Jalisco	Guadalajara	6 Automáticas	SO ₂ , NO ₂ , CO, O ₃ , PM ₁₀ .
Nuevo León	Monterrey	5 Automáticas 1 Móvil	O ₃ , NO ₂ , NO, NO _x , SO ₂ , CO, PM ₁₀ , PM _{2.5} .
Morelos	Cuernavaca	2 Automáticas	O ₃ , NO ₂ , NO, NO _x , SO ₂ , CO, PM ₁₀ .
Puebla	Puebla	4 Automáticas	O ₃ , NO ₂ , NO, NO _x , SO ₂ , CO, PM ₁₀ .
San Luis Potosí	San Luis Potosí	2 Automáticas 1 Móvil	O ₃ , NO ₂ , NO, NO _x , SO ₂ , CO, PM ₁₀ , PST.
Tabasco	Villahermosa	1 Automática 1 Manual 2 Muestreadores PM ₁₀	O ₃ , NO ₂ , NO, NO _x , SO ₂ , CO, PM ₁₀ .

En México los contaminantes atmosféricos normados son: dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3), partículas suspendidas totales (PST), partículas menores a 10 micrómetros de diámetro (PM_{10}), partículas menores a 2.5 micrómetros de diámetro ($\text{PM}_{2.5}$) y plomo (Pb). Para cada uno de estos contaminantes se cuenta con un estándar o norma de calidad del aire. En la Tabla 2 se muestran las normas de calidad del aire que establecen las concentraciones máximas permitidas de contaminantes en el medio ambiente, para garantizar que se protege adecuadamente la salud de la población, inclusive la de los grupos más susceptibles como los niños, los ancianos y las personas con enfermedades respiratorias crónicas, entre otros [36].

Tabla 2. Normas Oficiales Mexicanas para los contaminantes atmosféricos [37].

Norma Oficial Mexicana	Contaminante
NOM-020-SSA1-1993	O_3
NOM-021-SSA1-1993	CO
NOM-022-SSA1-1993	SO_2
NOM-023-SSA1-1993	NO_2
NOM-024-SSA1-1993	PST
NOM-025-SSA1-1993	PST, PM_{10}, $\text{PM}_{2.5}$
NOM-026-SSA1-1993	Pb

En la Tabla 3 se muestran los valores de la concentración máxima permitida de cada contaminante establecidos por las normas mexicanas de calidad del aire.

nivel nacional.

Diversos estudios se han realizado con técnicas de caracterización en distintos puntos del país con el objeto de determinar la calidad del aire con técnicas de caracterización. En San Luis Potosí se han realizado estudios para determinar la concentración, morfología y tamaños de las PST [38-42], destacando que gran porcentaje del PST son de carácter inerte. Además se han realizado estudios de la calidad del aire con relación al ozono en el Valle Mexical - Imperial de Baja California, analizando además las tendencias de este contaminante en la zona [43].

Tabla 3. Valores Normados para los Contaminantes.

Contaminante	Exposición Aguda		Exposición Crónica
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para protección de la salud de la población susceptible)
Ozono (O ₃)	0,11 ppm (1 hora)	1 vez cada 3 años	----
Dióxido de azufre (SO ₂)	0,13 ppm (24 horas)	1 vez al año	0,03 ppm (media aritmética anual)
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0,21 ppm (1 hora)	1 vez al año	----
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas)	1 vez al año	----
Partículas suspendidas totales (PST)	210 µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	75 µg/m ³ (media aritmética anual)
Partículas menores a 10 micrómetros de diámetro (PM ₁₀)	150 µg/m ³ (24 hora)	1 vez al año	50 µg/m ³ (media aritmética anual)
Partículas menores a 2.5 micrómetros de diámetro (PM _{2.5})	----	----	1,5 µg/m ³ (media aritmética anual)
Plomo (Pb)	-----	-----	-----

Fuente: Diario Oficial de la Federación

1.4.1 Caracterización fisicoquímica de contaminantes atmosféricos a nivel nacional.

Diversos estudios se han realizado con técnicas de caracterización en distintos puntos del país con el objeto de determinar la calidad del aire con técnicas de caracterización. En San Luis Potosí se han realizado estudios para determinar la concentración, morfología y tamaños de las PST [38-42], destacando que gran porcentaje del PST son de carácter metálico. Además se han realizado estudios de la calidad del aire con relación al ozono en el Valle Mexicali – Imperial de Baja California, analizando además las tendencias de este contaminante en la zona [43].

En la Ciudad de México se han elaborado inventarios de emisiones acerca de la tendencia histórica de las PST [44].

Dichos estudios, además de determinar las concentraciones y tendencias de los contaminantes atmosféricos, buscan establecer relaciones entre las actividades antropogénicas que se desarrollan en los lugares de estudio y la presencia o ausencia de los contaminantes, así como su comportamiento a lo largo del tiempo. Por ejemplo, se han realizado estudios para determinar la calidad del aire en 8 centrales termoeléctricas del país, ubicadas en el Estado de México, Monterrey, Tula, Salamanca, Mazatlán, Manzanillo, Lerdo, Petacalco, y Piedras Negras. Los contaminantes monitoreados y modelados fueron el SO_2 , NO_x , PM_{10} y PST [45], así como en la Plataforma Continental del Golfo de México [51, 52]. Mario Molina y colaboradores han efectuado una gran número de estudios en el mega proyecto llamado Milagro, los estudios van desde análisis histórico-estadísticos hasta simulaciones de la dispersión de contaminantes, incluyendo la caracterización de las partículas en suspensión en el medio ambiente [46-50]. Esto ha dado pie a un libro que es un compendio de los estudios realizados desde el 2000 y que se siguen desarrollando no solo a nivel nacional si no también internacional, con el objetivo de mejorar la calidad del aire de la Ciudad de México, el cual están extendiendo como programas PROAIRES a diferentes entidades estatales como el Distrito Federal.

La campaña Milagro tiene como objetivo realizar mediciones de contaminantes gaseosos y de aerosoles, estudiando el proceso atmosférico de gases precursores que resultan en aerosoles secundarios, así como su transporte y transformación a escala global. Esta campaña agrupa cuatro componentes complementarios:

-MCMA-2006 (The Mexico City Metropolitan Area – 2006 experiment)

Enfocado a los temas relativos a la calidad del aire de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), evaluación, políticas que ayuden a la reducción de los contaminantes presentes

- MAX-Mex (The Megacity Aerosol Experiment in Mexico City)

Estudio de los aerosoles (partículas atmosféricas) así como su transporte, transformación y propiedades químicas y ópticas.

-MIRAGE-Mex (Megacity Impacts on Regional and Global Environments)

Examinar la evolución de la pluma de contaminación proveniente de la Ciudad de México en escalas regionales mayores.

- INTEX-B (Intercontinental Chemical Transport Experiment-B)

Enfocado en el transporte, transformación de gases, aerosoles y determinar el impacto sobre el clima y la calidad del aire.

1.4.2 Estudios realizados en Monterrey y su Área Metropolitana

Se han realizado estudios sobre las fuentes, impactos y posibles soluciones de contaminación ambiental ocasionada por automóviles y PM_{10} en la ciudad de Monterrey y su Área Metropolitana [55].

En un estudio llevado a cabo en el municipio de Santa Catarina, se encontró una disminución en la concentración de los contaminantes NO_x , PM_{10} y SO_2 en los meses de Mayo y Junio debido a la temporada de lluvias. En los meses de Marzo, Abril, Mayo y Junio, el viento fue un factor favorable para la dispersión de los contaminantes. Además de los factores meteorológicos, los aspectos antropogénicos como la carga vehicular aumentada en ciertas zonas durante algunos períodos, por ejemplo, el período vacacional, influyen en el aumento de las concentraciones de ciertos contaminantes [56]. En 1999 se realizó un estudio mediante el análisis por la técnica de emisión de rayos X inducida por partículas alfa (PIXE) de PST colectadas en la atmósfera de Monterrey [57]. Se encontró que elementos como azufre, vanadio y plomo estaban correlacionados con la combustión de combustibles fósiles (diesel, combustóleo y gasolinas) mientras que elementos como níquel, cobre, zinc estaban asociados con la industria metalúrgica además elementos como potasio, titanio, manganeso y hierro fueron asociados con

partículas provenientes de los suelos. Finalmente el calcio se correlacionó con la presencia de la industria del cemento y de los cerámicos existentes en la ciudad de Monterrey.

El Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA), elabora reportes anuales donde muestra el comportamiento de los contaminantes monitoreados y los compara contra los registrados en años anteriores. Tanto los estudios que se han realizado como los reportes elaborados por el SIMA, han permitido conocer el estado actual de la ciudad de Monterrey y su Área Metropolitana. El alto grado de industrialización junto con el elevado tráfico vehicular, explica en parte el comportamiento que tienen los contaminantes como son el ozono, monóxido de carbono y dióxido de nitrógeno presentes en la atmósfera del Área Metropolitana de Monterrey; sin embargo, también pueden ser arrastrados y esparcirse hacia otras áreas por la acción del viento.

La predominancia de las partículas menores a 10 micras es uno de los problemas que aquejan al Área Metropolitana de Monterrey sobre todo durante los meses de invierno cuando se presentan los mayores índices de contaminación [54].

En la zona suroeste se hace presente un mayor número de excedencias a las normas de los contaminantes, debido a que las concentraciones son mayores en el oeste y que la dirección predominante del viento es de este a oeste, lo que genera que los contaminantes producidos en el Área Metropolitana sean arrastrados hacia la zona suroeste. [54].

En el Área Metropolitana de Monterrey los principales contaminantes que están presentes y sobrepasan la norma son las partículas menores a diez micrómetros (PM_{10}) y el ozono, el clima es un factor que influye en la presencia o dispersión de los contaminantes. A lo largo del año se distinguen en el Área Metropolitana de Monterrey dos épocas climáticas: la época de lluvias (junio-octubre), la cual se asocia con la afluencia de aire marítimo tropical con alto contenido de humedad, y la época de secas (noviembre-mayo), asociada con el flujo de aire polar con bajo contenido de humedad [54]. Debido al crecimiento industrial y urbano de las distintas regiones del mundo, y a las consecuencias ambientales de

este crecimiento, los monitoreos ambientales han evolucionado a la par del crecimiento. Los monitoreos ambientales han estado cambiando de manera importante, conforme los estudios recientes van poniendo de manifiesto que muchos problemas de salud están relacionados con ellos. Por ejemplo, en el caso de las partículas suspendidas totales, estudios recientes sugieren que las partículas $PM_{2.5}$ son más perjudiciales para la salud que las partículas más gruesas, PM_{10} [58-60]. Aún más, existen estudios sobre las llamadas partículas ultrafinas en el rango de tamaño por debajo de 0.1 (100 nm) [61-63].

1.4.3 Antecedentes de programas de prevención y control de la contaminación.

Los primeros esfuerzos para controlar la contaminación atmosférica en el AMM (Área Metropolitana de Monterrey) se realizaron en 1991, cuando se estableció el Programa de Verificación Vehicular, con el objetivo de prevenir y controlar las emisiones de contaminantes provenientes de vehículos automotores en circulación [53].

En enero de 1992, la Subsecretaría de Ecología inició el proceso de planeación para la instalación de una Red de Monitoreo de la Calidad del Aire, detectando que no se podía limitar únicamente al monitoreo del aire, sino que se debería de evaluar la situación ambiental del Estado en los rubros de aire, agua y suelo, para lo cual se definió al proyecto como Sistema Integral de Monitoreo Ambiental, (SIMA). El Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) inició su operación a partir del 20 de noviembre de 1992 con la finalidad de contar con información continua y fidedigna de los niveles de contaminación ambiental en el Área Metropolitana de Monterrey. Asimismo, en el período 1994-1996, se realizaron mediciones en diferentes zonas del AMM, que permitieron identificar la influencia de algunas fuentes específicas de contaminación sobre la calidad del aire. Con la finalidad de estudiar la evolución del comportamiento de los diferentes contaminantes atmosféricos, se llevó a cabo un análisis comparativo de los datos

recabados por la red de monitoreo de calidad del aire en el periodo comprendido entre enero de 1993 y diciembre de 1996.

El 1997 la SEMARNAT inició el Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey con el objeto de proteger la salud de los habitantes del AMM mediante acciones específicas que prevengan y controlen la contaminación del aire tanto por agentes químicos como físicos [53]. La meta general del programa fue reducir el promedio anual del valor máximo de contaminación en el AMM, de 70 puntos IMECA, Índice Metropolitano de la Calidad del Aire, a un promedio para el año 2000 de aproximadamente 50 puntos IMECA; y por consecuencia, reducir la probabilidad de poner en operación del Programa de Respuesta a Contingencias Ambientales [54].

1.5 Conclusión

En la actualidad el tema de calidad del aire es de gran importancia y preocupación mundial, por lo cual los grandes y pequeños países están considerando ó adoptando medidas de medición y control, con el propósito de disminuir o controlar la contaminación atmosférica, sin embargo la mayor parte de los estudios se centran en estudios históricos estadísticos sin prestar importancia a la morfología, composición química y microestructura del material particulado colectado en las estaciones de monitoreo. Como lo han mostrado los estudios sobre morfología y microestructura de PST a nivel mundial, la caracterización fisicoquímica de las PST permite conocer el daño que pueden ocasionar a la población, así como también conocer la fuente de emisión que aunado a los estudios históricos estadísticos proporcionarían una herramienta invaluable para la prevención y disminución de las PST. Actualmente gran cantidad de países desarrollados y no desarrollados cuentan con redes de medición, las cuales intercambian la información, con el propósito de generar y modificar normas o políticas de calidad del aire. Hay que destacar que en México existen redes de monitoreo atmosférico muy completas, la red de la ciudad de México, Monterrey y Guadalajara. Esto podría aprovecharse para reforzar y desarrollar sistemas más precisos de detención e

identificación de las fuentes y peligrosidad del material particulado. De manera específica para cada ciudad de acuerdo a su actividad económica y situación geográfica y con ellos obtener normas más precisas y personalizadas que ayuden a disminuir y prevenir los daños causados por las emisiones contaminantes antropogénicas y naturales.

Referencias

- [1]. W. Richard Boubel, L. Donald Fox, D. Bruce Turner and C. Arthur, Stern, Fundam Air Pollut, Third Edition. Academic Press. USA.
- [2]. J.M. Godowitch, A.B. Gilliland, R.R. Draxler, S.T. Rao. "Modeling assessment of point source NO_x emission reductions on ozone air quality in the eastern United States", *Atmos. Environ.* 42 (2008) 87–100.
- [3]. K. Chak Chan, Xiaohong Yao. "Air pollution in mega cities in China", *Atmos. Environ.* , 42 (2008) 1–42.
- [4]. About the Clean Air Initiative. Consulta: 18 de Mayo de 2008, 20:25hrs.
<http://www.cleanairnet.org/cai/1403/article-33678.html>
- [5]. M. E. Core y R. Sáenz. "Monitoreo de la Calidad del Aire en América Latina". Programa de Control de la Contaminación del aire (1999).
- [6]. Iniciativa de Aire Limpio: América Latina. Consulta: 15 de junio de 2008, 22 hrs.
<http://www.cleanairnet.org/lac/1471/channel.html>
- [7]. Monitoreo de calidad del aire "La oroya oroya"
http://www.digesa.sld.pe/aire_LC/MONITOREO%20AIRE%20MAYO%202007.pdf
- [8]. The Ozone Report - Measuring Progress through 2003
<http://www.epa.gov/airtrends/aqtrnd04/ozone.html>
- [9]. I. Gupta and R. Kumar. "Trends of particulate matter in four cities in India", *Atmospheric Environment*, 40 (2006) 2552–2566.
- [10]. A.K. Gupta, K. Karar , A. Srivastava, "Chemical mass balance source apportionment of PM₁₀ and TSP in residential and industrial sites of an urban region of Kolkata, India", *Journal of Hazardous Materials*, 142 (2007) 279–287.
- [11]. A. Albinet, E. Leoz-Garziandia, H. Budzinski, E. Villenave, J.-L. Jaffrezo. "Nitrated and oxygenated derivatives of polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air of two French alpine valleys Part 2", Particle size distribution. *Atmos. Environ* 42 (2008) 55–64.
- [12]. P. Gwaze, H. J. Annegarn, J. Huth, G. Helas. "Comparison of particle sizes determined with impactor, AFM and SEM". *Atmos. Res.* 86 (2007) 93–104.
- [13]. B. Ye, X. Ji, H. Yang, X.H. Yao, C.K. Chan, S.H. Cadle, T. Chan, P.A. Mulawa. "Concentration and chemical composition of PM_{2.5} in Shanghai for 1-year period", *Atmos. Environ*, 37 (2003) 499–510.
- [14]. R. Zhang, R. Arimoto, J. An, S. Yabuki, J. Sun. "Ground observation of a strong dust storm in Beijing in March 2002". *J. Geophys. Res* 110, (2005) D18S06.
- [15]. Y.Q. Wang, X.Y. Zhang, R. Arimoto, J.J. Cao, Z.X. Shen. "The transport pathways and sources of PM₁₀ pollution in Beijing during 2001, 2002 and 2003". *Geophys. Res. Lett.* 31 (2004) L14110.
- [16]. S. Xie, T. Yu, Y. Zhang, L. Zeng, L. Qi, X. Tang. "Characteristics of PM₁₀, SO₂, NO_x and O₃ in ambient air during the dust storm period in Beijing". *Sci Environ*, 345 (2005) 153– 164.
- [17]. X.D. Xu, X.J. Zhou, X.H. Shi. "Spatial structure and scale feature of the atmospheric pollution source impact of city agglomeration", *Sci in China Series D—Earth Sci*, 48 (Suppl. II) (2005a) 1–24.
- [18]. Q-D. Wang, K. He, H. Huo, J. Lents. "Real-world vehicle emission factors in Chinese metropolis city—Beijing". *J. Environ. Sci.* 17 (2005) 319–326.
- [19]. C. Hogrefe, S.T. Rao, I.G. Zurbenko, P.S. Porter., "Interpreting the information in ozone observations and model predictions relevant to regulatory policies in the eastern United States", *Bull. Am. Meteorol. Soc.* , 91(2000) 2083–2106.

- [20]. S.W. Kim, A. Heckel, S.A. McKeen, G.J. Frost, E.Y. Hsie, M.K. Trainer, A. Richter, J.P. Burrows, S.E. Peckham, G.A. Grell. Satellite-observed US power plant NO_x emission reductions and their impact on air quality. *Geophys. Res. Lett.* 33, (2006) L22812.
- [21]. G.J. Frost, S.A. McKeen, M. Trainer, T.B. Ryerson, J.A. Neuman, J.M Roberts, A. Swanson, J.S. Holloway, D.T. Sueper, T. Fortin, D.D. Parrish, F.C. Fehsenfeld, F. Flocke, S.E. Peckham, G.A. Grell, D. Kowal, J. Cartwright, N. Auerbach, T. Habermann. "Effects of changing power plant Nox emissions on ozone in the eastern United States: proof of concept", *J. Geophys. Res.* , 111 (2006) D12306.
- [22]. C. Schmid, I. L. Marr, A. Caseiro, P. Kotianová, A. Berner, H. Bauer, A. Kasper-Giebl, H. Puxbaum. "Chemical characterisation of fine particle emissions from wood stove combustion of common woods growing in mid-European Alpine regions", *Atmos Environ* 42 (2008) 126–141.
- [23]. J.D. McDonald, B. Zielinska, E.M. Fujita, J.C. Sagebiel, J.C. Chow, J.G. Watson. Fine particle and gaseous emission rates from residential wood combustion. *Environ. Sci and Technol*, 34 (2000) 2080–2091.
- [24]. P.M. Fine, G. R. Cass, B.R.T. Simoneit., "Chemical characterisation of fine particle emissions from fireplace combustion of woods grown in the Northeastern United States", *Environ. Sci and Technol* 35, (2001) 2665–2675.
- [25]. G.R. Cass, B.R.T Simoneit. "Chemical characterisation of fine particulate emissions from the fireplace combustion of woods grown in the southern United States. P.M. Fine", *Environ. Sci and Technol* 36 (2002) 1442–1451.
- [26]. G.R. Cass, B.R.T. Simoneit. "Chemical characterisation of fine particulate emissions from the fireplace combustion of woods grown in the midwestern and western United States, P. M. Fine", *Environ. Eng. Sci*, 21 (2004a) 387–409.
- [27]. G.C. Cass, B.R.T. Simoneit. "Chemical characterisation of fine particle emissions from the wood stove combustion of prevalent United States tree species, P.M. Fine", *Environ. Eng Sci*, 21(2004b) 705–721.
- [28]. E. Hedberg, A. Kristensson, M. Ohlsson, C. Johansson, P.–A. Johansson, E. Swietlicki, V. Vesely, U. Wideqvist, R. Westerholm. "Chemical and physical characterisation of emissions from birch wood combustion in a wood stove". *Atmos Environ*, 36 (2002) 4823–4837.
- [29]. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *Naciones Unidas* (1998).
- [30]. www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r33-2288/eu/contenidos/informe_estudio/particulas_abanto/es_doc/adjuntos/2003pdf
- [31]. http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UB/AVAILABLE/TDX-0216104-122033/
- [32]. <http://www.scielo.org.mx/pdf/spm/v46n6/22567.pdf>
- [33]. [http://mce2.org/docs/MILAGRO%20Opeing%20ceremony%20\(3-2-06\).pdf](http://mce2.org/docs/MILAGRO%20Opeing%20ceremony%20(3-2-06).pdf)
- [34]. <http://www.cepis.org.pe/bvsci/e/fulltext/2encuent/mexico3.pdf>
- [35]. <http://sinaica.ine.gob.mx/>
- [36]. V. G. Avedoy. "Situación actual y tendencias de la calidad del aire en México", CEPAL, Serie de Seminarios y Conferencias.
- [37]. <http://www.economia-nmx.gob.mx/>
- [38]. A. Aragón, R. Leyva, A. Luszczewski, M. Hernández, "Características fisicoquímicas de las partículas del polvo suspendido en el aire de la ciudad de San Luis Potosí", *Av. en Ing. Quím* 6, 2 (1996) 145-151.
- [39]. A. Luszczewski, P. Medellín, M. Hernández. Medición de contaminantes de aire en San Luis Potosí. *Investigación* 23 – 24 (1988) 89-100.
- [40]. P. Medellín, M. Hernández, "Evaluación de la calidad del aire en San Luis Potosí", *Investigación*, 23-24 (1988) 82-88.
- [41]. A. Aragón Piña, G. Torres Villaseñor, P. Santiago Jacinto, M. Monroy Fernández. "Scanning and transmission electron microscope of suspended lead-rich particles in the air of San Luis Potosi, Mexico", *Atmos Environ*, 36 (2002) 5235–5243.
- [42]. Mexico, A. Aragón Piña, G. Torres Villaseñor, M. Monroy Fernández, A. Luszczewski Kudra, R. Leyva Ramos. "Scanning Potosí is microscope and statistical Potosí is of suspended heavy metal particles in San Luis Potosí", *Atmos Environ* 34 (2000) 4103-4112.
- [43]. A. Mendoza. Mexicali-Imperial Valley Air Quality Modeling and Monitoring Program. *Progress Report* (2004).
- [44]. M.E. Martínez y R. Muñoz Cruz, "Tendencia Histórica de las Partículas Suspendidas Totales en las Estaciones de la Red Manual de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México", *Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación* (1994).
- [45]. M. Muriel, B.I. Romero y H. Ramírez, "Calidad del Aire en Centrales Termoeléctricas del país", Instituto de Investigaciones Eléctricas. División Fuentes de Energía.

- [46]. http://www.sma.df.gob.mx/simat/anuales/Inf_tendencias_simat_2005.pdf
- [47]. http://www.sma.df.gob.mx/simat/programas_ambientales/anexo/avances.pdf
- [48]. http://www.centromariomolina.org/proy_milagro.html
- [49]. <http://en.scientificcommons.org/7007090>
- [50]. http://www.centromariomolina.org/publicaciones_2.html
- [51]. A. H. Bravo, E.R. Sosa, A.P. Sánchez, J.A.L. Alarcón, P.M. Jaimes, M.J.D. Santacruz, N.P. Hernández, H.A. Retama, R.M. Sánchez, R. C. Gómez, D.I. León, L.E. Bueno, A.R. Soto. Evaluación de la contaminación atmosférica en el Sur del Golfo de México. *Campaña Oceanográfica SGM-9* (2004).
- [52]. R. Sosa-Echeverría, H. Bravo-Álvarez, P. Sanchez-Álvarez, R. Soto-Ayala, A. Alarcón-Jiménez, J.D.W. Kahl. Determinación de partículas suspendidas totales durante cinco cruceros de investigación en la Plataforma Continental del Golfo de México. *Ingeniería Investigación y Tecnología VIII*, 2 (2007) 71-83.
- [53]. M. programa de administración de la calidad del aire del área metropolitana de monterrey 1997-2000, semarnat.
- [54]. Reporte anual SIMA 2006.
- [55]. G.M. Mejía Velásquez. "Fuentes e impacto de PM₁₀ en el área metropolitana de Monterrey", *Transferencia*, 48 (1999).
- [56]. L. García Campos, L. Menchaca Oria, M. Rodríguez García, G. Sánchez Hernández, E. Ramírez Lara, U. López Chuken, "Evaluación de las tendencias de los contaminantes atmosféricos en la zona industrial del municipio de Santa Catarina Nuevo León", Facultad de Ciencias Químicas UANL (2007).
- [57]. F. Aldape, J. Flores M., R.V. Díaz, B. Hernández-Mendez, J.M. Montoya Z. E.E. Blanco, A.F. Fuentes, L.M. Torres Martínez, "PIXE analysis of airborne particulate matter from Monterrey, México. A first Survey" *Nuclear Instrum and Methods in Physics Res B*, 150, (1999), 439-444.
- [58]. G. Hoek, B. Brunekreef, S. Goldbohm, P. Fischer, P.A. van den Brandt., "Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study", *Lancet* 360 (2002) 1203-1209.
- [59]. T.F. Mar, G.A. Norris, J.Q. Koenig, T.V. Larson. "Associations between air pollution and mortality in Phoenix, 1995-1997", *Environ Health Perspect*, 108 (2000) 347-353.
- [60]. C. A. Pope, R.T. Burnett, M.J. Thun, E.E. Calle, D. Krewski, K. Ito, G.D. Thurston. "Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution", *JAMA-J Am Med Assoc.*, 287 (2002) 1132-1141.
- [61]. J.J. de Hartog, G. Hoek, A. Peters, K.L. Timonen, A. Ibaldo-Mulli, B. Brunekreef, J. Heinrich, P. Tiittanen, J.H. van Wijnen, W. Kreyling, M. Kulmala, J. Pekkanen, "Effects of fine and ultrafine particles on cardiorespiratory symptoms in elderly subjects with coronary heart disease - The ULTRA study", *Am J Epidemiol*, 157 (2003) 613-623.
- [62]. A. Peters, H.E. Wichmann, T. Tuch, J. Heinrich, J. Heyder, "Respiratory effects are associated with the number of ultrafine particles", *Am J Respir Crit Care Med.*, 155 (1997) 1376-1383.
- [63]. J. Ruuskanen, T. Tuch, H. Ten Brink, A. Peters, A. Khlystov, A. Mirme, G.P.A. Kos, B. Brunekreef, H.E. Wichmann, G. Buzorius, M. Vallius, W. G. Kreyling, J. Pekkanen. "Concentrations of ultrafine, fine and PM_{2.5} particles in three European cities", *Atmos Environ.*, 35 (2001) 3729-3738.

Integración.....	30
2.3.1 Principio de operación.....	30
2.3.2 Preparación de muestra.....	33
2.4 Espectroscopia de Infrarrojo con transformada de Fourier (IRTF).....	33
2.4.1 Principio de operación.....	33
2.4.2 Preparación de muestra.....	35
2.5 Conclusión.....	35
Referencias.....	36

2 Técnicas de caracterización

Introducción

Para conocer las características fisicoquímicas y su posible daño a la salud ambiental del material que se encuentra en la atmósfera de la ciudad de Monterrey fue necesario realizar la colección de PST y hacer la caracterización microestructural y **TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN** (morfología y microestructura). La tecnología para medir los contaminantes del aire ha evolucionado, los últimos estudios de PST colectadas por monitoreo de

	<i>Página</i>
2 Técnicas de caracterización.....	24
2.1 Difracción de Rayos X en polvos (DRX).....	24
2.1.1 Principio de Difracción de Rayos X en polvos (DRX).....	24
2.1.2 Preparación de muestra.....	28
2.2 Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) acoplado con microanálisis en de EDS.....	28
2.2.1 Principio de operación.....	28
2.2.2 Preparación de muestra para su análisis por Microscopia Electrónica de Barrido.....	30
2.3 Espectroscopia de luz ultravioleta- visible acoplado con esfera de Integración.....	30
2.3.1 Principio de operación.....	30
2.3.2 Preparación de muestra.....	33
2.4 Espectroscopia de Infrarrojo con transformada de Fourier (IRTF).....	33
2.4.1 Principio de operación.....	33
2.4.2 Preparación de muestra.....	35
2.5 Conclusión.....	35
Referencias.....	36

2 Técnicas de caracterización

Introducción

Para conocer las características fisicoquímicas y su posible daño a la salud ambiental del material que se encuentra presente en la atmósfera de la ciudad de Monterrey fue necesario realizar la colección de PST y hacer la caracterización microestructural desde el punto de vista físico y químico (morfología y microestructura). La tecnología para medir los contaminantes del aire ha evolucionado, los últimos estudios de PST colectadas por monitoreo de aire incluyen técnicas como Difracción de Rayos X, Espectroscopia de Infrarrojo, Espectroscopia Ultravioleta-Visible y Microscopia Electrónica de Barrido [1-2]. Estas técnicas son usadas también en la caracterización de otros materiales como semiconductores, compuestos híbridos (orgánicos e inorgánicos), plásticos, cementos, metales pesados, entre otros. [3]. Durante el desarrollo de la presente tesis se realizó el estudio y caracterización de los polvos obtenidos en muestreadores de alto volumen mediante el uso de las técnicas de Difracción de Rayos X en polvos (DRX), Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (IRTF), Espectroscopia ultravioleta-visible (UV-Vis) acoplado con esfera de integración y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) acoplado con microanálisis de EDS. Los principios básicos de cada técnica son presentados a continuación.

2.1 Difracción de Rayos X en polvos (DRX)

2.1.1 Principio de Difracción de Rayos X en polvos (DRX)

El principio de Difracción de Rayos X consiste en incidir una onda electromagnética de longitud de onda (λ) de 0.05 a 0.25 nm (0.5 a 2.5 Å) a una muestra.

La producción de rayos X para propósitos de difracción requiere el desplazamiento de electrones internos de un átomo a niveles superiores de energía y este vacío será ocupado inmediatamente por un electrón cualquiera de algún otro nivel provocando una emisión de energía generando los rayos X. Para generar este desplazamiento de electrones se necesitan cantidades de energía para producir estados de excitación. El átomo regresa a su estado fundamental mediante múltiples emisiones, algunas de las cuales se traducen en fotones de energía definida, característicos para cada elemento. en la Ley de Bragg, la cual determina el ángulo de difracción que forman los haces difractados con la superficie. Los tubos de rayos X actuales tienen un vacío permanente (6-10 mmHg); los electrones son suministrados por un filamento de wolframio incandescente que constituye el cátodo, y son acelerados contra el anticátodo mediante una diferencia de potencial de unos 20-100 kiloelectron Volt.

La energía cinética de los electrones que chocan contra el anticátodo aumentará al incrementar la diferencia de potencial aplicada entre el filamento y el anticátodo, por el que aumentará la intensidad de la radiación X emitida y al mismo tiempo habrá un desplazamiento del máximo y de la longitud de onda mínima hacia la zona de longitudes de ondas cortas.

En la DRX, cuando se hace incidir sobre la muestra un haz de rayos X, se genera un patrón de difracción. El estudio de la estructura del sólido por la difracción de rayos X permite determinar parámetros como la cristalinidad y la composición de las fases cristalinas a partir de los patrones de difracción originados por la desviación de los rayos X que producen los electrones de los átomos de un cristal [2].

La identificación de las fases cristalinas se realiza comparando el difractograma obtenido de la muestra analizada, con los patrones experimentales almacenados en una base de datos de difracción de rayos X en polvos. Los difractogramas de rayos X obtenidos permiten identificar las fases presentes en cada una de las muestras analizadas.

Un sólido cristalino está formado por un grupo de átomos o moléculas ordenadas periódicamente. Este arreglo o red cristalina puede generarse repitiendo indefinidamente un arreglo elemental, llamado celda unitaria. Independientemente de que su aspecto externo sea o no el de un cristal, existen materiales que presentan el aspecto de un sólido y que sin embargo su estructura interna es irregular, a los cuales se les conoce como sólidos amorfos.

La técnica de difracción de Rayos X se basa en la Ley de Bragg, la cual determina el ángulo de difracción que forman los haces difractados con la superficie de un cristal, de acuerdo a la longitud de onda del haz incidente, mediante las ecuaciones siguiente [3].

$$n\lambda = 2d\sin \theta$$

n: Orden de la reflexión de rayos X

λ : Longitud de onda

d: Espacio entre los planos cristalográficos

θ : Ángulo de incidencia del haz de rayos X

En la DRX, cuando se hace incidir sobre la muestra un haz de rayos X, se genera un patrón de difracción único que permite obtener un difractograma que es característico de cada material, a excepción de algunos casos particulares. Así, la identificación de los compuestos se basa en la posición de los picos, sus intensidades relativas y las distancias interplanares y se efectúa por comparación con las tarjetas clasificadas por el "Joint Committee of Powder Diffraction Standards (JCPDS)", el cual contiene miles de difractogramas clasificados y ordenados y es actualizado constantemente.

Figura 2. (a) Difracción de rayos X de polvos Bruker D8 Advance. (b) Sistema de rotación.

2.1.2 Preparación de muestra

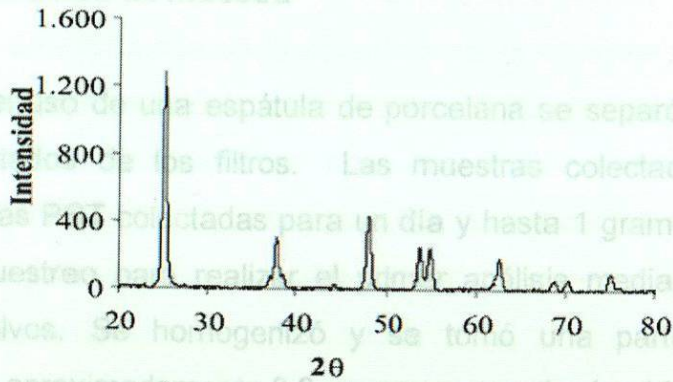


Figura 1. Difactograma de DRX representando picos de gran intensidad en $2\theta = 25, 38, 47, 55, 63, 78$ [3].

2.2 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) acoplado con microanálisis de EDS

Características del equipo utilizado

La identificación de las fases presentes en las muestras fue realizada mediante un equipo de Difracción de Rayos X de polvos D8 Advance de Bruker, ver Figura 2(a). El equipo cuenta con un cambiador automático de 9 posiciones en un carro lineal que puede comenzar a medir en posiciones desde 5° en 2θ . En la figura 2(b) se muestra el sistema que proporciona rotación a la muestra y opera con el goniómetro en posición vertical.

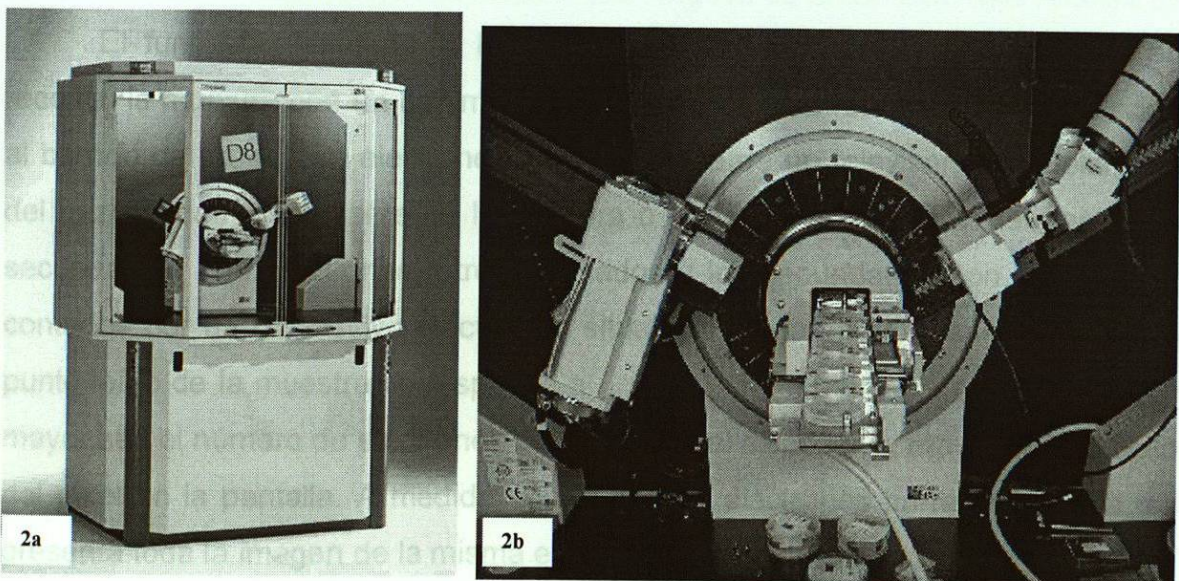


Figura 2. (a) Difracción de rayos X de polvos Bruker D8 Advance, (b) Sistema de rotación.

2.1.2 Preparación de muestra

Mediante el uso de una espátula de porcelana se separó cuidadosamente los polvos colectados de los filtros. Las muestras colectadas consisten de miligramos para las PST colectadas para un día y hasta 1 gramo para la muestra de 5 días de muestreo para realizar el primer análisis mediante Difracción de Rayos X en polvos. Se homogenizó y se tomó una parte proporcional y representativa de aproximadamente 0.3 gramos y se colocó cuidadosamente en el portamuestras para su posterior análisis.

2.2 Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) acoplado con microanálisis de EDS

2.2.1 Principio de operación

La técnica de Microscopia Electrónica de Barrido explora la superficie de la imagen punto por punto además puede ampliar los objetos 100,000 veces o más, produce imágenes tridimensionales reales de la superficie del objeto. El funcionamiento de la Microscopia Electrónica de Barrido se basa en recorrer la muestra con un haz muy concentrado de electrones de forma parecida al barrido de un haz de electrones por la pantalla de un televisor. Los electrones del haz pueden dispersarse de la muestra o provocar la aparición de electrones secundarios. Los electrones retrodispersados y los secundarios son recogidos y contados por un dispositivo electrónico situado a los lados del espécimen. Cada punto leído de la muestra corresponde a un píxel en un monitor de la PC. Cuanto mayor sea el número de electrones contados por el dispositivo, mayor será el brillo del píxel en la pantalla. A medida que el haz de electrones barre la muestra, se presenta toda la imagen de la misma en el monitor.

La Microscopia Electrónica de Barrido se fundamenta en el bombardeo mediante un haz de electrones de la superficie de la muestra a analizar. A nivel general, un microscopio electrónico difiere de un óptico en que el bombardeo de electrones reemplaza a los rayos de luz y las lentes electromagnéticas a las ópticas. Esto mejora mucho la resolución, ya que ésta, es proporcional a la longitud de onda (λ) de la descarga incidente. Así cuanto menor es λ , menor es el tamaño que podemos diferenciar en el microscopio, lo que significa una mayor resolución [3].

Figura 3. Microscopio Electrónico de Barrido de Bajo Vacío, JEOL 6490 LV

El microscopio electrónico de barrido utiliza un haz de electrones extremadamente fino, que bajo la acción de un juego de bobinas deflectoras es desplazado sobre la superficie de la muestra rastreándola [4].

2.2.2 Preparación de muestra para su análisis por Microscopia

El equipo de Microscopia Electrónica de Barrido, tiene acoplado una sonda para llevar a cabo el microanálisis por EDS. El cual permite conocer la distribución e identificación de cada uno de los elementos químicos presentes en la muestra, debido a que los electrones incidentes excitan los átomos de la muestra y provocan la emisión de rayos X cuya longitud de onda es característica de dichos elementos e intensidad, para una determinada longitud de onda, es proporcional a la concentración relativa del elemento a esa longitud de onda. Con este análisis es posible obtener datos semi-cuantitativos de los elementos químicos presentes.

2.3 Espectroscopia de luz ultravioleta visible acoplado con esfera de

integración

Características del equipo utilizado.

Los estudios morfológicos fueron realizados utilizando un microscopio electrónico de barrido de bajo vacío JEOL JSM-6490LV, equipado con un detector EDS INCA-X Sight de Oxford.

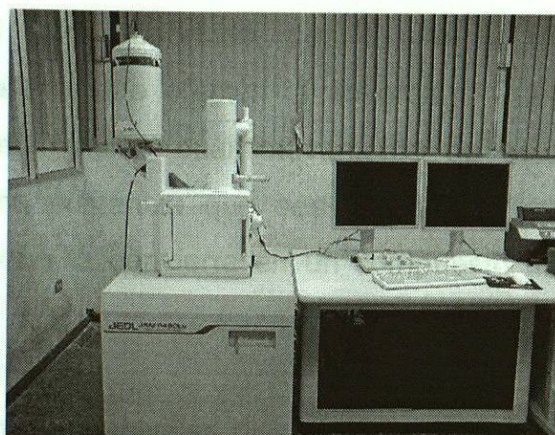


Figura 3. Microscopio Electrónico de Barrido de Bajo Vacío, JEOL 6490 LV acoplado con analizador de EDS.

2.2.2 Preparación de muestra para su análisis por Microscopia Electrónica de Barrido

Las muestras fueron directamente espolvoreadas sobre cinta adhesiva de carbón de doble cara. Previo al análisis, la superficie de la muestra fue recubierta con oro (50 a 100 Å de espesor) por medio de una recubridora de bajo vacío con la finalidad de hacer conductora la muestra para que posteriormente la muestra sea analizada en el microscopio electrónico de barrido.

2.3 Espectroscopia de luz ultravioleta visible acoplado con esfera de integración

2.3.1 Principio de operación

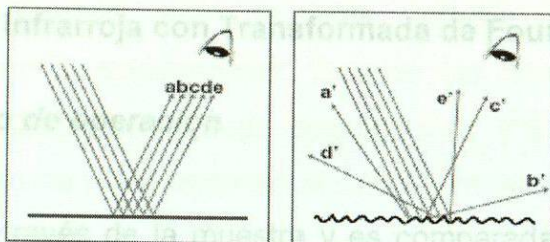
Esta técnica se utiliza para conocer la longitud de onda del máximo de absorción y la intensidad de absorción de la muestra de interés. Cuando la energía absorbida es mayor en algunas longitudes de onda del visible que para otras, el haz emergente aparecerá coloreado. El color aparente de la solución es siempre

el complemento del color absorbido, por lo cual la radiación absorbida es característica del material que efectúa la absorción. Cualquier material soluble coloreado puede determinarse cuantitativamente de esta forma. Además, se puede determinar una sustancia que sea incolora o muy poco coloreada, al agregar un reactivo que la convierta en un compuesto intensamente coloreado (grupos cromóforos).

En vez de considerar niveles discretos de energía en un cristal, dado su gran número, se consideraron bandas de energía. Los diversos niveles de valencia conforman la banda de valencia y los primeros niveles de excitación están englobados en la banda de conducción. Ambas bandas están separadas por un intervalo de energía prohibida (llamado Band-gap) que corresponde a la energía que debe recibir un electrón de la banda de valencia para pasar a la banda de conducción.

Los compuestos de metales de transición que tienen capas "d" incompletas absorben determinadas longitudes de onda en la región visible del espectro. Estas absorciones suelen extenderse, a las regiones del infrarrojo próximo [3] y depende de la energía de los orbitales "d", de su degeneración y del número de electrones distribuidos en ellos, que vienen condicionados por el estado de oxidación del metal, el número y clase de ligando y la geometría de los complejos. Una correcta interpretación de un espectro, puede proporcionar una considerable información sobre el número de coordinación y la geometría del complejo. En la región Ultravioleta se observan bandas de algunos grupos o iones inorgánicos como resultado de transiciones internas [4]. En la región del visible e infrarrojo próximo, se observan las bandas debidas a transiciones (d-d) correspondientes al ión metálico. Estas bandas pueden ser intensas o débiles [3, 5]. En general, el número, la posición, así como la intensidad de las bandas, permiten determinar la geometría de los complejos (tetraédrica, octaédrica) [6].

La reflectancia difusa tiene lugar en todas las direcciones de la superficie como consecuencia de los procesos de absorción y dispersión (ver figura 4), y predomina cuando los materiales de la superficie reflectante son débilmente absorbentes a la longitud de onda incidente y cuando la penetración de la radiación es grande en relación a la longitud de onda. La luz reflejada es colectada y dirigida hacia el detector óptico.



Estas figuras indican que
 $a + b + c + d + e = a' + b' + c' + d' + e'$.

Figura 4. Reflectancia difusa

La reflectancia difusa está relacionada con el tamaño de la partícula, menores partículas haciendo espectros más definidos y mejores intensidades relativas.

Características del equipo utilizado

Las muestras fueron analizadas mediante un equipo de espectroscopia de ultravioleta-visible Lambda 35 de Perkin Elmer, además cuenta con esfera de integración para reflectancia difusa lo cual permite realizar el análisis en muestras en polvos, ver figura 5.

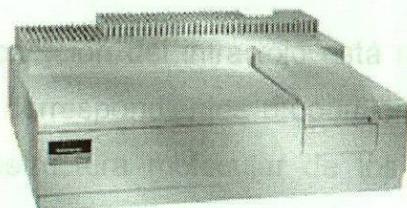


Figura 5. Espectrofotómetro de ultravioleta-visible (UV-Vis) acoplado con esfera de integración, Perkin Elmer Lambda 35.

2.3.2 Preparación de muestra

Las muestras colectadas se colocaron en un portamuestra de teflón el cual se cubre con vidrio de cuarzo de calidad óptica para posteriormente colocarlo en el equipo para realizar el análisis.

2.4 Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (IR-TF)

2.4.1 Principio de operación

La luz pasa a través de la muestra y es comparada la diferencia entre la intensidad incidente y la transmitida. Cada molécula posee una vibración característica y una interacción con la energía electromagnética para absorber e irradiar en la región del espectro infrarrojo, con obtención de bandas que se asocian a grupos funcionales específicos [7].

La absorción de la radiación infrarroja depende del aumento de la energía de vibración o rotatoria asociado a la unión covalente, siempre y cuando éste aumento de energía de como resultado un cambio en el momento dipolar de la molécula. Esto quiere decir que prácticamente todas las moléculas que presenten uniones covalentes mostrarán algún grado de absorción selectiva en el infrarrojo. Los espectros en el infrarrojo de los compuestos poliatómicos covalentes de composición diversa como las PST son generalmente muy complejos, pues constan de diferentes bandas de absorción muy angostas y muy próximas.

Debido a que la absorción del infrarrojo está relacionada con las uniones covalentes, los espectros correspondientes proporcionan información mucho más detallada acerca de la estructura molecular de los compuestos. A través del examen cuidadoso de un gran número de espectros de materiales conocidos, es posible correlacionar los máximos específicos de absorción vibracional con los grupos de átomos responsables de la absorción. Estas correlaciones empíricas

proporcionan un terreno firme para la identificación de los compuestos covalentes.

Del estudio de la complejidad de los espectros del infrarrojo se desprende que es poco probable que haya dos compuestos diferentes con curvas idénticas. Por lo tanto, el espectro de infrarrojo de un compuesto puro proporciona un medio seguro de identificación, siempre y cuando el analista tenga a la mano una recopilación extensa de los espectros de los compuestos conocidos o probables. Hoy en día existen diversas bases de datos, además del apoyo de estudios similares que permiten la comparación. Cuando las muestras a analizar son sólidas como es el caso del material colectado de PST se pueden analizar directamente tomando una parte representativa de la muestra.

Este análisis permite identificar los grupos orgánicos funcionales presentes en las muestras. Puesto que todos los grupos orgánicos pueden vibrar al recibir radiación de magnitud infrarroja, es posible detectar el movimiento de las moléculas y que este movimiento sea representado en un espectro que permitirá caracterizar de manera integral las muestras analizadas.

Características del equipo utilizado

El equipo utilizado fue un Nicolet 380 (ver figura 4) con filamento de wolframio, el cual utiliza un espectro electromagnético en un rango de 400 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} y cuenta con una técnica de atenuación total de la reflexión (ATR).

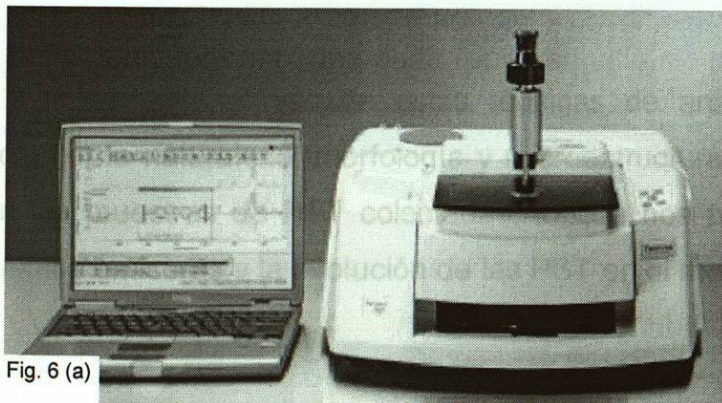


Fig. 6 (a)

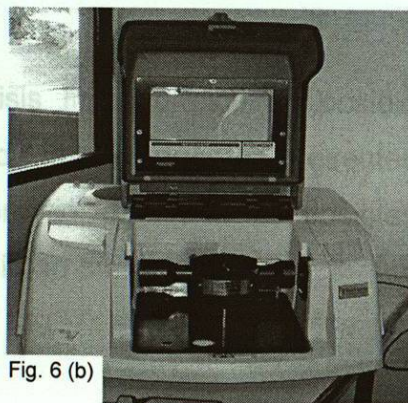


Fig. 6 (b)

Figura 6. (a) Thermo Nicolet 380 IRTF cerrado, (b) Thermo Nicolet 380 IRTF abierto.

2.4.2 Preparación de muestra

Las muestras que se analizarán se colocan directamente sobre el porta muestra del equipo y se comprime con un pistón de diamante para posteriormente realizar el análisis.

2.5 Conclusión

En la Tabla 1 se hace un resumen de las técnicas de caracterización empleadas en esta tesis.

Tabla 1: Técnicas de Caracterización

Técnica de Caracterización	Información Obtenida
Difracción de Rayos X en polvos	Fases cristalinas presentes
Espectroscopia de luz UV-Vis	Bandas de absorción en la región d-d y tipo de coordinación de las partículas metálicas
Microscopía Electrónica de Barrido	Morfología y análisis químico elemental
Espectroscopia de Infrarrojo	Bandas de absorción de los grupos funcionales

Mediante el uso de estas técnicas de análisis fisicoquímico es posible conocer la naturaleza, morfología y microestructura de los compuestos presentes en las muestras de PST colectadas, lo que nos permitió identificar las posibles fuentes emisoras y la evolución de las PST en el medio ambiente.

Referencias

- [1] I. Rodríguez, S. Gali, C. Marcos, "Atmospheric inorganic aerosol of a non-industrial city in the centre of an industrial region of the North of Spain, and its possible influence on the climate on a regional scale", *Environ. Geol*, Springer, DOI 10.1007/s00254-008-1253-9
- [2] A. Aragón Piña, G. Torres Villaseñor, M. Monroy Fernandez, A. Luszczewski Kudra, R. Leyva Ramos, "Scanning electron microscope and statistical analysis of suspended heavy metal particles in San Luis Potosi, Mexico", *Atmos. Environ.*, 34, (2000), 4103–4112.
- [3]- D. Sutton, "Espectros Electrónicos de los Metales de Transición"; Ed Reverte, S.A.; 1975.
- [4] C.C. Addison, and D. Sutton, *Progress in Inorg. Chem.*; 1967, 8, 195 y 247. Página
- [5] J. Ferguson, *Progress in Inorg. Chem.*, 1970, 12, 159. 39
- [6] F.A. Cotton, and G. Wilkinson, *Quim. Inorg. Avanzada*; 4^{ta} Ed, 1986. 39
- [7] A.B.P. Lever, *Inorganic Electronic Spectroscopy*; 2nd Edición, Ed. Elseiver, 1986. 41
- [8] G. P. Bosh, J. Domínguez, J. Zénith, E. De rouffignac, O. Guzmán y J. Tejada, "Técnicas experimentales en la caracterización de catalizadores", Series científicas IMP 2, México, 2004. 42
- [9] R. García, P. Gallezot, "Chemoselective Catalytic Oxidation of Glycerol with Air on Platinum Metals", *Applied Catalysis A-General*, 127, (1995), (1-2): 165-176. 42
- 3.3.2 Rango de medición..... 43
- 3.4 Equipo utilizados..... 44
- 3.4.1 Descripción del equipo de monitoreo de flujo volumen..... 44
- 3.4.2 Coraza del muestreador..... 45
- 3.4.3 Dispositivo de medición de flujo..... 46
- 3.4.4 Cámara ambiental..... 47
- 3.4.5 Filtros..... 48
- 3.4.6 Estación meteorológica..... 49
- 3.5 Disposición de las unidades de muestreo..... 49
- 3.8 Condiciones de operación de sistema de monitoreo usado en este estudio..... 51

CAPÍTULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

	Página
3.7 Análisis de Muestra.....	Página
3 Desarrollo experimental.....	39
3.1 Descripción de la zona de estudio.....	39
3.2 Metodología.....	41
3.3 Muestreo de alto volumen.....	43
3.3.1 Principio de muestreo de alto volumen.....	43
3.3.2 Rango de medición.....	43
3.4 Equipo utilizados.....	44
3.4.1 Descripción del equipo de monitoreo de alto volumen.....	44
3.4.2 Coraza del muestreador.....	45
3.4.3 Dispositivo de medición de flujo.....	46
3.4.4 Cámara ambiental.....	47
3.4.5 Filtros.....	48
3.4.6 Estación meteorológica.....	49
3.5 Disposición de las unidades de muestreo.....	49
3.6 Condiciones de operación de sistema de monitoreo usado en este estudio.....	51

3 Desarrollo experimental.

3.1 Descripción de la zona de estudio.

La ciudad industrial de Monterrey es la capital del estado de Nuevo León y es la tercera ciudad más grande de México con más de 3.7 millones de habitantes.

La ciudad es típicamente conocida por sus industrias y comercios (fabrica Página

3.7 Análisis de Muestra.....	53
3.7.1 Manejo de filtros antes de muestreo.....	53
3.7.2 Análisis de filtros después de muestreo.....	54
3.8 Conclusión.....	54
Referencias.....	55

ción de metales, generación de electricidad, fabricación de cerveza, etc.) Debido a la clase y cantidad de industrias situadas en Monterrey, la ciudad tiene contaminación ambiental de diversos contaminantes y congestión vehicular en horas pico. La ciudad de Monterrey se encuentra en la frontera con Texas, República Mexicana, a unos 300 kilómetros al norte de la frontera con Texas. La ciudad de Monterrey es un valle al pie de las montañas de la Sierra Madre Oriental, las montañas se levantan al suroeste de la ciudad (ver figura 2). Una pequeña colina, el Cerro del Topo Chico se localiza en el noroeste de los suburbios de San Nicolás de los Garza y Escobedo hacia el norte de Monterrey. Al noroeste de la ciudad se levanta el cerro de las Mitras. El Cerro de la Silla domina la visión del este de la ciudad, el Cerro de la Loma al sur del río Santa Catalina, el cual separa a Monterrey del suburbio de San Pedro Garza García. Las montañas que rodean Monterrey ofrecen un paisaje impresionante que abraza muchas barrancas, rios y caminos, que cruza desiertos y pequeños bosques. La Sierra Madre Oriental, al sur de la ciudad esta incluida en el "Parque Nacional Cumbres de Monterrey", que fue agregada a la UNESCO y a la Biosphere (MAB) programa de las reservas de la biosfera en el 2008 [2].

Clima, Condiciones Meteorológicas.

La ciudad de Monterrey está localizada a 25°43'N, 100°18'W, y 630 metros sobre el nivel del mar, en el noroeste del estado de Nuevo León, figura 1 [3]. Su clima es razonablemente agradable durante la primavera y otoño, el verano es

3 Desarrollo experimental.

3.1 Descripción de la zona de estudio.

La ciudad industrial de Monterrey es la capital del estado de Nuevo León y es la tercera ciudad más grande de México con más de 3.7 millones de habitantes. La ciudad es típicamente conocida por sus industrias y comercios (fabricación de cemento, fundición de metales, generación de electricidad, fabricación de cerveza, etc.). Debido a la clase y cantidad de industrias situadas en Monterrey, la ciudad tiene considerable emisión de diversos contaminantes y congestión vehicular en horas pico [1]. Esta ciudad se localiza al norte de la República Mexicana a 300 kilómetros de la frontera con Texas. La ciudad de Monterrey es un valle al pie de las montañas de la Sierra Madre Oriental, las montañas se levantan al suroeste de la ciudad (ver figura 2). Una pequeña colina, el Cerro del Topo Chico es localizado en el noreste de los suburbios de San Nicolás de los Garza y Escobedo hacia el norte de Monterrey. Al noroeste de la ciudad se levanta el cerro de las Mitras. El Cerro de la Silla domina la visión del este de la ciudad, el Cerro de la Loma al sur del río Santa Catarina, el cual separa a Monterrey del suburbio de San Pedro Garza García. Las montañas que rodean Monterrey ofrecen un paisaje impresionante que abriga muchas barrancas, rastros y caminos, que cruza desiertos y pequeños bosques. La Sierra Madre Oriental, al sur de la ciudad esta incluida en el "Parque Nacional Cumbres de Monterrey", que fue agregada a la UNESCO y a la Biosphere (MAB) programa de las reservas de la biosfera en el 2006 [2].

Figura 1. Ubicación del área metropolitana de Monterrey en el estado de Nuevo León.

Clima, Condiciones Meteorológicas.

La ciudad de Monterrey está localizada a 25°40'N, 100°18'W, y 530 metros sobre el nivel del mar, en el noroeste del estado de Nuevo León, figura 1 [3]. Su clima es razonablemente agradable durante la primavera y otoño, el verano es

muy caliente; en Agosto las temperaturas promedio alcanzan los 35°C y con una mínima de 33°C. El invierno es frío, en Enero las temperaturas promedio van desde 5°C a 25°C, sin embargo, las temperaturas bajo cero son raras [3]. La humedad en invierno puede ser alta, las nevadas son un acontecimiento muy raro. Monterrey es uno de los principales centros industriales en México. La ciudad tiene posiciones prominentes en sectores industriales tales como acero, cemento, vidrio, piezas de automóvil y cerveza.

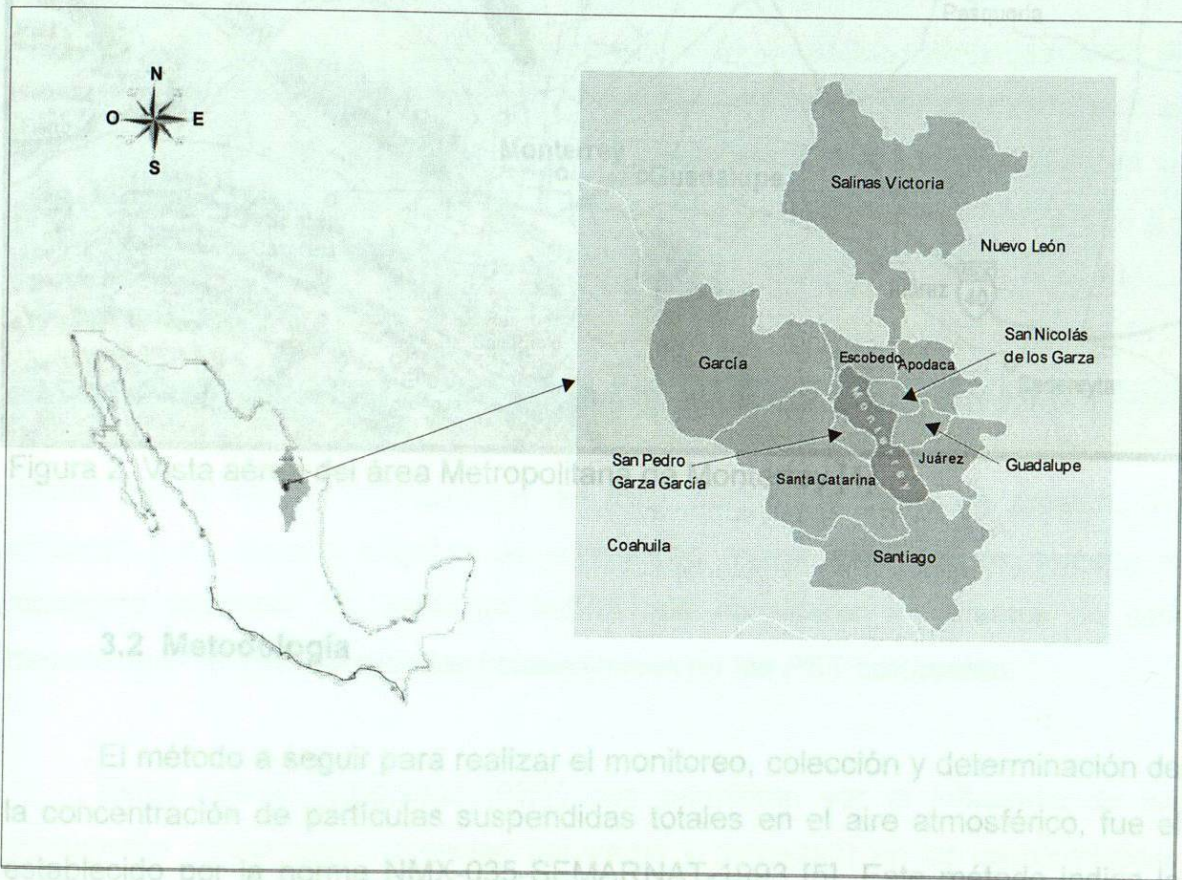


Figura 1. Ubicación del área metropolitana de Monterrey en el estado de Nuevo León.

El método a seguir para realizar el monitoreo, colección y determinación de la concentración de partículas suspendidas totales en el aire atmosférico, fue establecido por la norma NMX-035-SEMARNAT-1993 [5]. Esta metodología se adjunta en el anexo 1. La norma tiene como objetivo que la metodología sea homogénea y confiable y que pueda compararse con otros monitoreos, esta norma tiene concordancia con normas internacionales (USEPA, Appendix B to Part 50—Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High-Volume Method)). Esta norma establece los métodos de

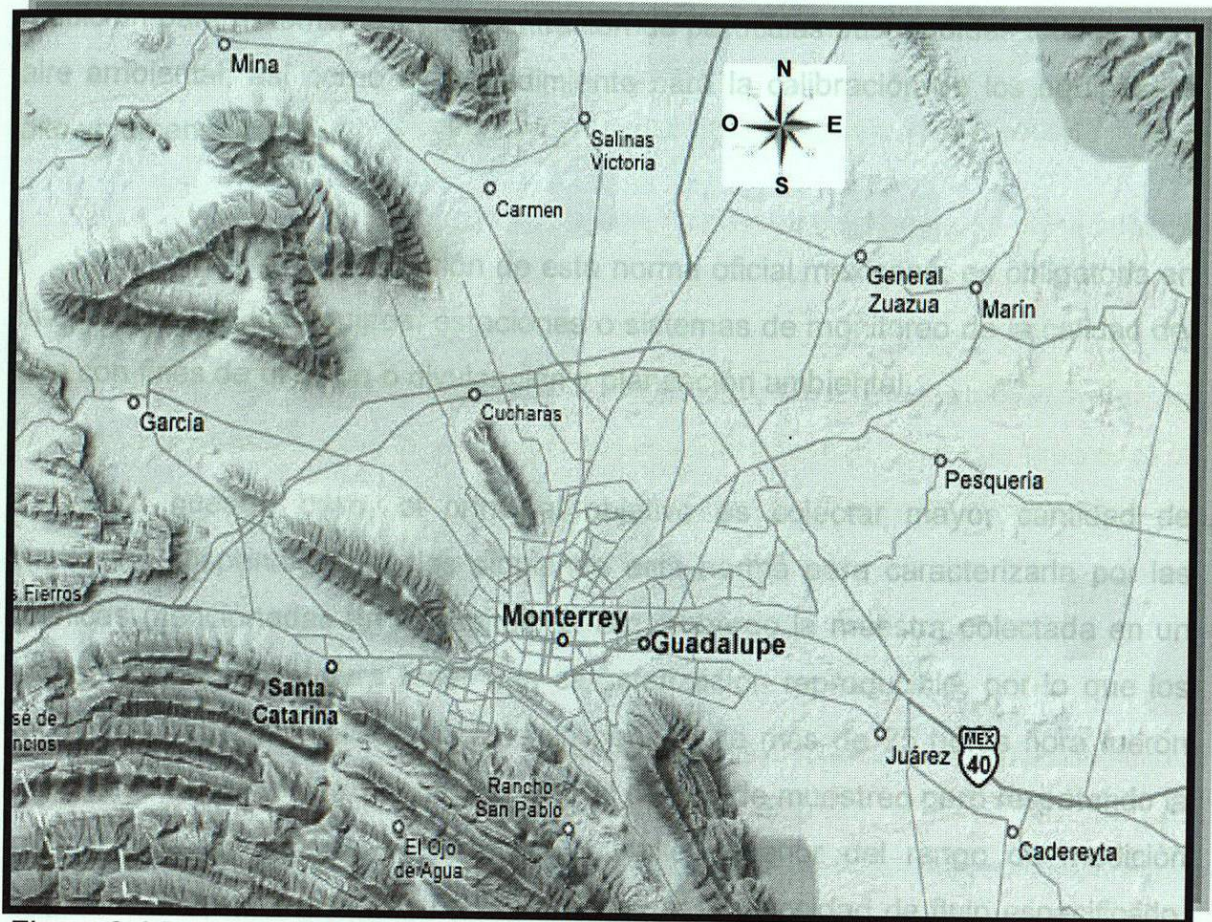


Figura 2. Vista aérea del área Metropolitana de Monterrey [4].

3.2 Metodología

El método a seguir para realizar el monitoreo, colección y determinación de la concentración de partículas suspendidas totales en el aire atmosférico, fue el establecido por la norma NMX-035-SEMARNAT-1993 [5]. Este método indica la metodología establecida para medir la concentración de partículas suspendidas totales (PST) en el aire por medio de un muestreador de alto volumen. La norma se adjunta en el anexo 1. La norma tiene como objetivo que la metodología sea homogénea y confiable y que pueda compararse con otros monitoreos, esta norma tiene concordancia con normas internacionales (USEPA, Appendix B to Part 50—Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High-Volume Method)). Esta norma establece los métodos de

medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiental, así como el procedimiento para la calibración de los equipos de alto volumen.

3.3.1 Principio de muestreo de alto volumen

Los campos de aplicación de esta norma oficial mexicana; es obligatoria en la operación de los equipos, estaciones o sistemas de monitoreo de la calidad del aire con fines de difusión o divulgación y planeación ambiental.

En nuestro caso, el principal objetivo es coleccionar mayor cantidad de partículas suspendidas totales siguiendo esta norma para caracterizarla por las técnicas mencionadas en el capítulo 2. Sin embargo la muestra coleccionada en un día no es suficiente para tener una caracterización reproducible, por lo que los monitoreos que se realizan durante un periodo de más de 25 horas hora fueron realizados fuera de norma con respecto al tiempo de muestreo pero respetando la metodología. La norma señala que el límite superior del rango de medición depende de que muestreador pueda mantener la velocidad de flujo especificado, debido que al saturar la superficie del filtro, habrá una caída de presión. Sin embargo para nuestro objetivo de contar con mayor cantidad de muestra el monitoreo funciona. Sin embargo habría que considerar los efectos de esta metodología, en las propiedades fisicoquímicas de las PST coleccionadas.

Estos polvos coleccionados (PST) nos permitirán ver la influencia de las condiciones ambientales (dirección del viento y humedad) en las características fisicoquímicas de las PST emitidas por las diversas industrias de la ciudad de Monterrey. Esperamos oponer las posibles fuentes emisoras y el tipo de material coleccionado, considerando siempre los factores que puedan alterar el monitoreo. Y sobre todo ver el daño potencial que puedan tener las propiedades fisicoquímicas de las partículas (forma, carácter cancerígeno, etc) en la salud humana.

3.3 Muestreo de alto volumen

3.3.1 Principio de muestreo de alto volumen

El aire se succiona por medio de una bomba de flujo alto y se hace pasar a través de un filtro de fibra de vidrio con medidas de 20.3 por 25.4 cm, a una velocidad de 1100 L/min (38.8 ft³/min) a 1700 L/min (60.03 ft³/min) por un orificio limitante, previamente calibrado durante un periodo de muestreo de 24 horas. El flujo de aire atmosférico y la geometría del muestreador son tales que favorecen la colección de partículas de 0.1 a 100 µm de diámetro aerodinámico. La masa de las partículas es determinada con un análisis gravimétrico del filtro a peso constante (diferencia en los pesos del filtro antes y después del muestreo).

La concentración de las partículas suspendidas totales se calcula dividiendo el peso de las partículas colectadas en el filtro entre el volumen de aire muestreado corregido a condiciones normales. Como indicamos anteriormente solo el monitoreo a 24 horas, sería válido para calcular la concentración de PST, después de 25 horas ya no es válido ya que la velocidad del flujo del muestreador es alterada por saturación del filtro. Sin embargo se logra monitorear hasta 5 días consecutivos.

3.3.2 Rango de Medición

El rango de las concentraciones para aplicar este método de referencia es de 2 a 750 µg/m³ a condiciones normales (CN). Para determinar la concentración de partículas suspendidas totales (PST) mediante un muestreo con duración de 24 horas y a un flujo entre 1.1 m³/min (38.8 ft³/min) a 1.7 m³/min (60.03 ft³/min), el límite inferior es determinado por la sensibilidad de la balanza y por fuentes inherentes de error. El límite superior depende de la naturaleza de las partículas colectadas, como la distribución del tamaño de partícula, la humedad, variabilidad

del voltaje de alimentación de la bomba y la cantidad de masa colectada en el filtro, por lo cual el muestreador no puede mantener el flujo especificado (1.1 a 1.7 m³/min CN). La concentración se reporta en µg/ m³. Nuestro interés radica en coleccionar mayor cantidad de muestra, es por eso que se monitorea fuera de norma cuidando que la bomba continuara trabajando. Podemos suponer que después de las 24 horas la cantidad de muestra colectada es menor debido a la caída de presión.

3.4 Equipos utilizados

3.4.1 Descripción del equipo de monitoreo de alto volumen

El sistema de muestreo de alto volumen modelo GMWL-2000 H esta diseñado para operar de manera continua a cualquier condición climática, los monitoreos se realizaron en días sin lluvia, este sistema es una estación de monitoreo completa para la colección de partículas suspendidas totales [6]. Todos los instrumentos y componentes se montan dentro de la coraza de aluminio anodizado para su protección. La tapa con bisagras permite el adecuado cambio del medio filtrante (filtro). El sistema consiste de un muestreador de alto volumen, un marco de acero inoxidable para fijar y sellar el filtro, unos empaques herméticos para evitar fugas que puedan producir errores en la medición del aire filtrado, la bomba de vacío para succionar el aire debe ser capaz de funcionar por 24 horas continuas, el dispositivo de medición de flujo, graficas para registrar el flujo, un controlador de tiempo, un accesorio para eliminar el aire muestreado y un transformador de 90 volt. el cual permite el ajuste manual del voltaje para compensar las variaciones en la caída de presión del filtro por fallas en la línea de voltaje y la altitud del lugar. Este ajuste puede efectuarse mediante un controlador de flujo manual o automático.

El accesorio para desechar el aire muestreado es un contenedor rígido fabricado de aluminio el cual presenta un orificio fijo en la parte baja para

descargar el aire. El flujo de aire es medido exactamente por el dispositivo de medición de flujo que proporciona un registro permanente de cada muestreo. El sistema cuenta con cuatro pernos fácilmente accesibles para efectuar el retiro del motor el cual nos permite reemplazar periódicamente las escobillas de carbón, como precaución después de cambiar las escobillas se debe aplicar un voltaje del 50% al 70% durante un periodo de 30 minutos para acondicionar las escobillas. El transformador de 90 voltios reduce el voltaje de funcionamiento para modificar el flujo de muestreo.

Especificaciones: Motor HP 0.6; Velocidad 13.500 rpm; Amper. 4.9; Watts. 440; Flujo máximo 52 ft³/min.; Flujo mínimo 20 ft³/min.; Fuente de energía 115 Volts., 1 fase, 60 Hertz; Peso neto 65 libras. Una representación esquemática es presentada en la figura 3.

3.4.2 Coraza del muestreador

La coraza del muestreador mantiene el filtro en una posición horizontal a un metro por arriba de la superficie de apoyo del muestreador, de modo que la muestra de aire sea drenada a través del filtro y hacia abajo, es de geometría rectangular con una cubierta triangular como se muestra en la Figura 3, cubre y protege adecuadamente al filtro y al muestreador de la lluvia y de otros factores climáticos, además esta diseñado de modo que minimice la recolección de polvo de la superficie de apoyo, por lo cual tiene adaptado una protección entre el ducto de salida del aire y la superficie de apoyo.

3.4.3 Dispositivo de medición de flujo

En la parte superior del equipo se coloca una coraza móvil la cual forma un conducto con las paredes de la careta. Este conducto de entrada debe ser uniforme en todos sus lados y con suficiente área para permitir una captura efectiva de partículas, a una velocidad de aire entre 20 y 35 cm/s, que es el flujo recomendado.

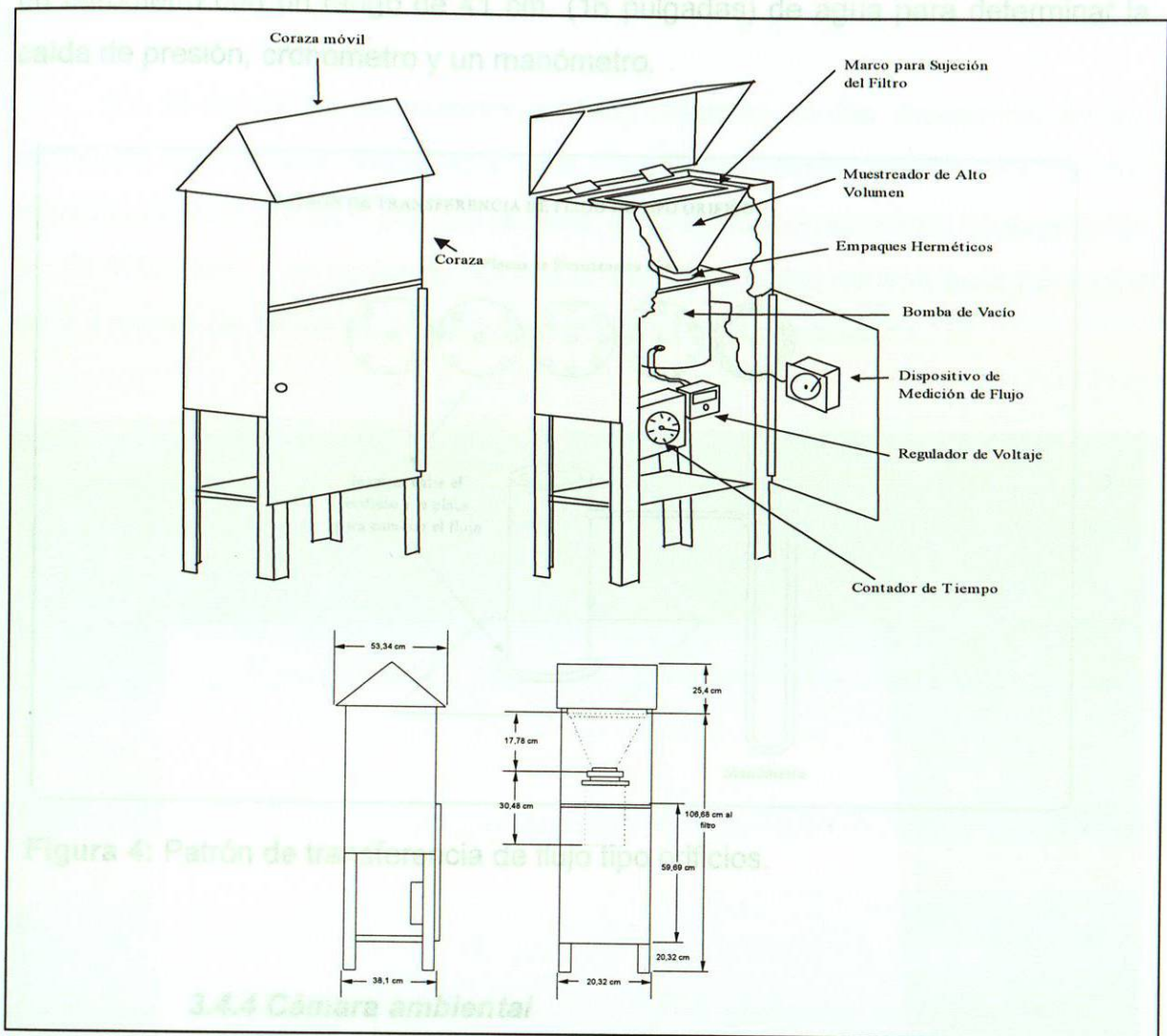


Figura 3: Esquema representativo del sistema de muestreo de alto volumen utilizado para muestreos de partículas suspendidas totales en aire ambiente.

3.4.3 Dispositivo de medición de flujo

El muestreador cuenta con un medidor de flujo capaz de indicar el flujo total. El indicador de flujo utilizado fue el de orificios el cual consiste en un tubo metálico de 7.6 cm. de diámetro interno y 15.9 cm. de longitud, con una toma para medir la presión estática, localizado a 5.1 cm de la parte superior de uno de los extremos además de cinco placas con diferente número de perforaciones, el cual se coloca en el trayecto de la corriente de aire (ver Figura 4). Además se empleo

un barómetro con un rango de 41 cm. (16 pulgadas) de agua para determinar la caída de presión, cronometro y un manómetro.

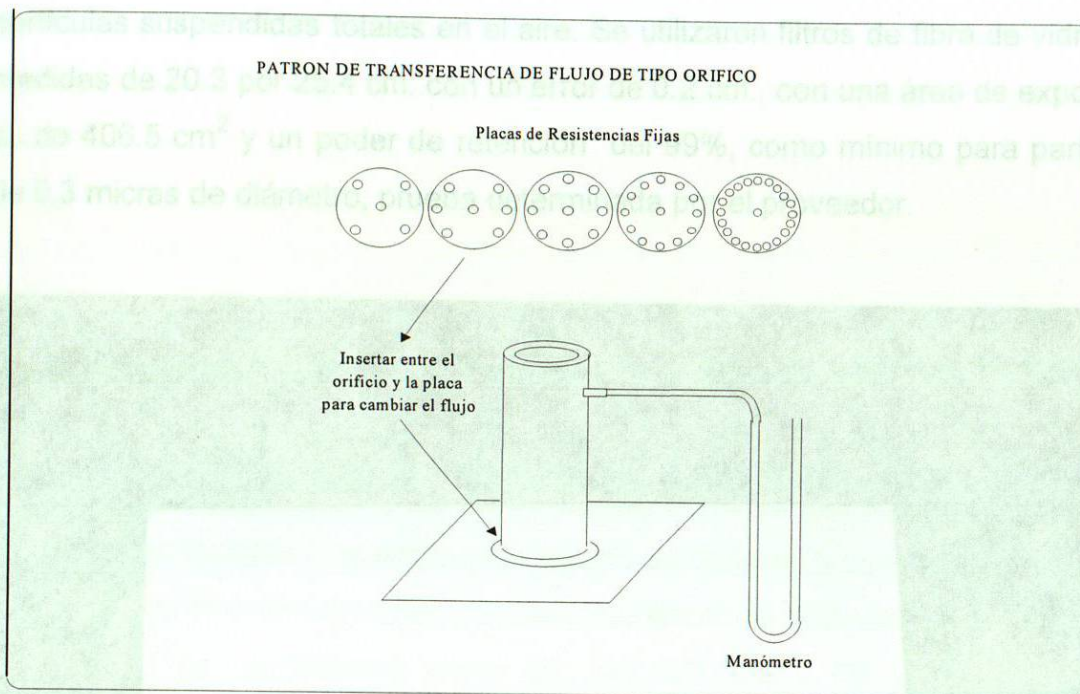


Figura 4: Patrón de transferencia de flujo tipo orificios.

3.4.4 Cámara ambiental

Sitio de ubicación de la balanza analítica marca OHAUS, modelo AP 250 con una sensibilidad de 0.01 mg. y desecador, se mantuvo a una temperatura controlada de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ y una humedad relativa de $50\% \pm 5$ de variación durante el periodo de pesado de filtros (24 horas), estos valores cumplen con los valores especificados por el método de referencia (temperatura entre 15 a $30 \pm 3^\circ\text{C}$ y una humedad relativa de $50\% \pm 5$ durante un periodo de 24 horas). Además se cuenta con una buena iluminación para la inspección de los filtros y un marcador de filtros.

3.4.5 Filtros. *ión meteorológica*

En la figura 5. se muestra el filtro utilizado en los muestreos de las partículas suspendidas totales en el aire. Se utilizaron filtros de fibra de vidrio con medidas de 20.3 por 25.4 cm. con un error de 0.2 cm., con una área de exposición es de 406.5 cm² y un poder de retención del 99%, como mínimo para partículas de 0.3 micras de diámetro, prueba determinada por el proveedor.

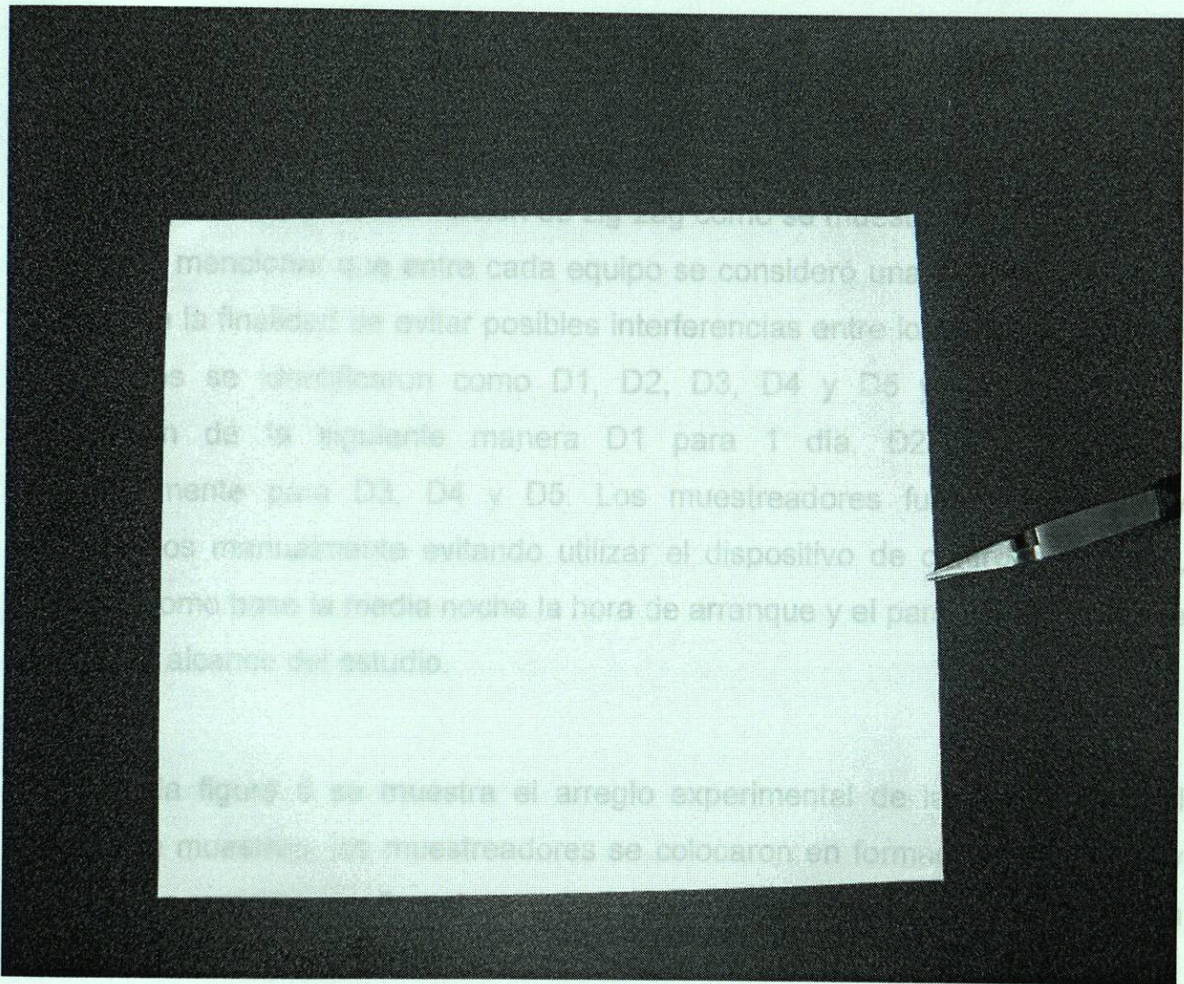


Figura 5: Filtro utilizado para muestreos de partículas suspendidas totales en aire ambiente.

3.4.6 Estación meteorológica

Para los datos de temperatura, presión barométrica, velocidad del viento, dirección del viento y humedad se utilizó una estación meteorológica marca Davis, modelo vantage pro, la cual fue utilizada durante todo el periodo de muestreo.

3.5 Disposición de las unidades de muestreo

El arreglo experimental de muestreo consistió de 5 equipos de alto volumen los cuales se ubicaron en formación de zig-zag como se muestra en la figura 6. Es importante mencionar que entre cada equipo se consideró una distancia de cinco metros con la finalidad de evitar posibles interferencias entre los mismos, además los equipos se identificaron como D1, D2, D3, D4 y D5 y respectivamente funcionaron de la siguiente manera D1 para 1 día, D2 para 2 días y respectivamente para D3, D4 y D5. Los muestreadores fueron activados y desactivados manualmente evitando utilizar el dispositivo de control de tiempo, tomando como base la media noche la hora de arranque y el paro fue realizado de acuerdo al alcance del estudio.

En la figura 6 se muestra el arreglo experimental de la distribución del sistema de muestreo, los muestreadores se colocaron en formación de zig-zag y con una separación de 5 metros entre cada muestreador, se consideró esta distancia para evitar interferencias entre los muestreadores.

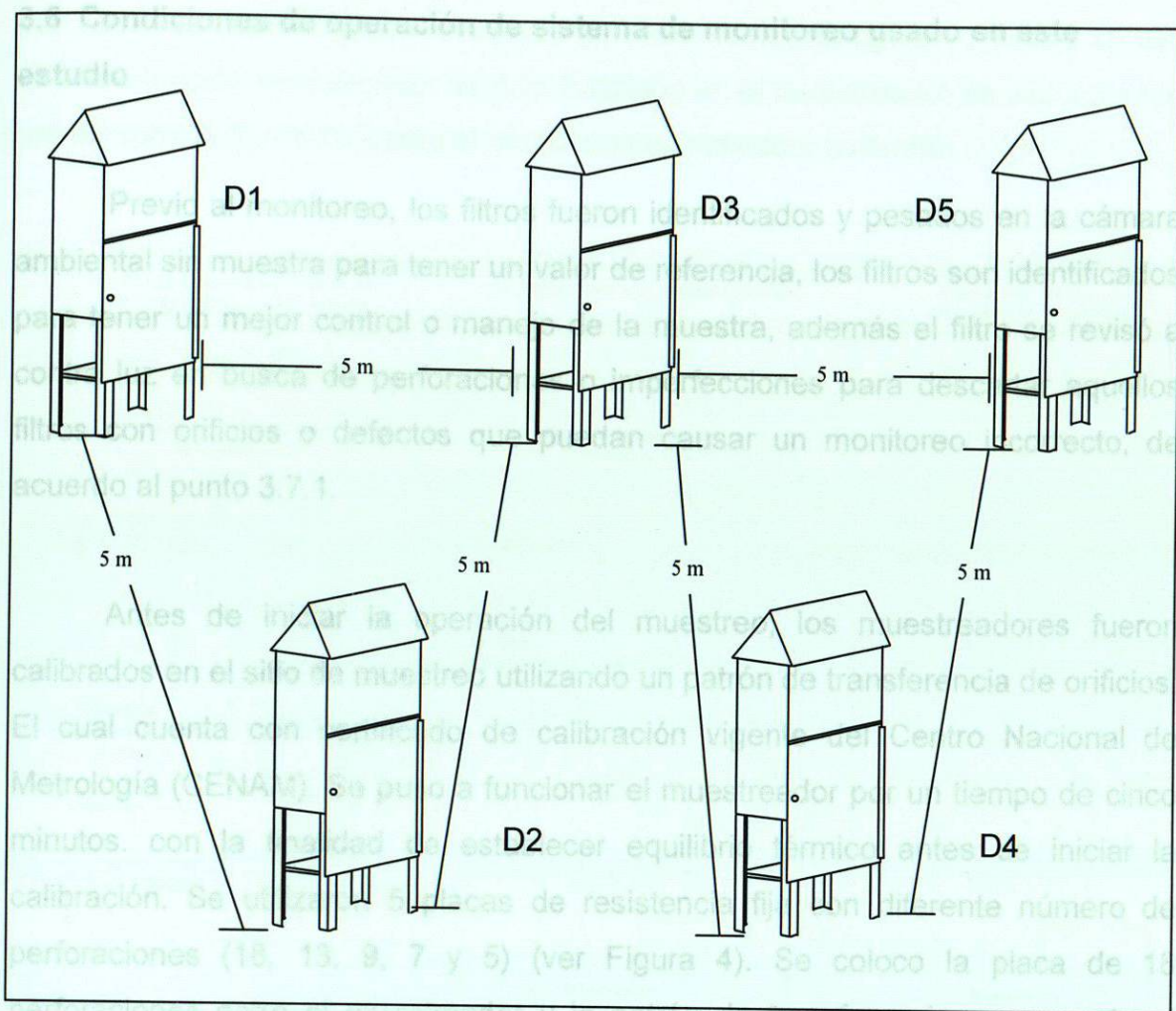


Figura 6: Arreglo experimental en donde se muestra la posición de los muestreadores de alto volumen en la etapa de colección de polvos.

El objetivo de incrementar el tiempo de muestreo es obtener mayor cantidad de muestra colectada y contar con mayor muestra que facilite la caracterización de los polvos colectados. Sin embargo estos cambios no considerados en la norma, por lo tanto están fuera de norma. También se considera el efecto de las condiciones ambientales en la evolución de las PST colectadas. De cualquier manera se contara con la referencia del muestreo de un día, la cual cumple con todas las condiciones de la norma NMX-035-SEMARNAT-1993.

Esto es necesario para establecer la tendencia de medición en el campo de un patrón primario mediante un patrón de transferencia. La Figura 7a ilustra el

3.6 Condiciones de operación de sistema de monitoreo usado en este estudio

Previo al monitoreo, los filtros fueron identificados y pesados en la cámara ambiental sin muestra para tener un valor de referencia, los filtros son identificados para tener un mejor control o manejo de la muestra, además el filtro se revisó a contra luz en busca de perforaciones o imperfecciones para descartar aquellos filtros con orificios o defectos que puedan causar un monitoreo incorrecto, de acuerdo al punto 3.7.1.

Antes de iniciar la operación del muestreo, los muestreadores fueron calibrados en el sitio de muestreo utilizando un patrón de transferencia de orificios. El cual cuenta con certificado de calibración vigente del Centro Nacional de Metrología (CENAM). Se puso a funcionar el muestreador por un tiempo de cinco minutos. con la finalidad de establecer equilibrio térmico antes de iniciar la calibración. Se utilizaron 5 placas de resistencia fija con diferente número de perforaciones (18, 13, 9, 7 y 5) (ver Figura 4). Se colocó la placa de 18 perforaciones entre el muestreador y la patrón de transferencia, se conectó el patrón de transferencia a la entrada del muestreador, además de conectar un manómetro a la tapa de presión de orificio del patrón de transferencia (ver Figura 6b), se revisó que no hubiera fugas entre el patrón de transferencia y el muestreador, se dejó funcionando el muestreador durante dos minutos para reestablecer las condiciones de temperatura, Se registró la caída de presión a través del orificio (ΔH), el flujo indicado por el indicador de flujo instalado en el muestreador (I), la temperatura, presión, la hora de inicio y término de la calibración. Se repitió el procedimiento anterior variando la placa de resistencia fija.

Esto es necesario para establecer la tendencia de medición en el campo de un patrón primario mediante un patrón de transferencia. La Figura 7a ilustra el manejo del filtro. El filtro fue asegurado dentro del muestreador, posteriormente

certificado del patrón de transferencia (en laboratorio); la figura 7b ilustra su uso en la calibración del indicador de flujo instalado en el muestreador de alto volumen (en campo); la figura 7c ilustra el muestreo con indicador calibrado.

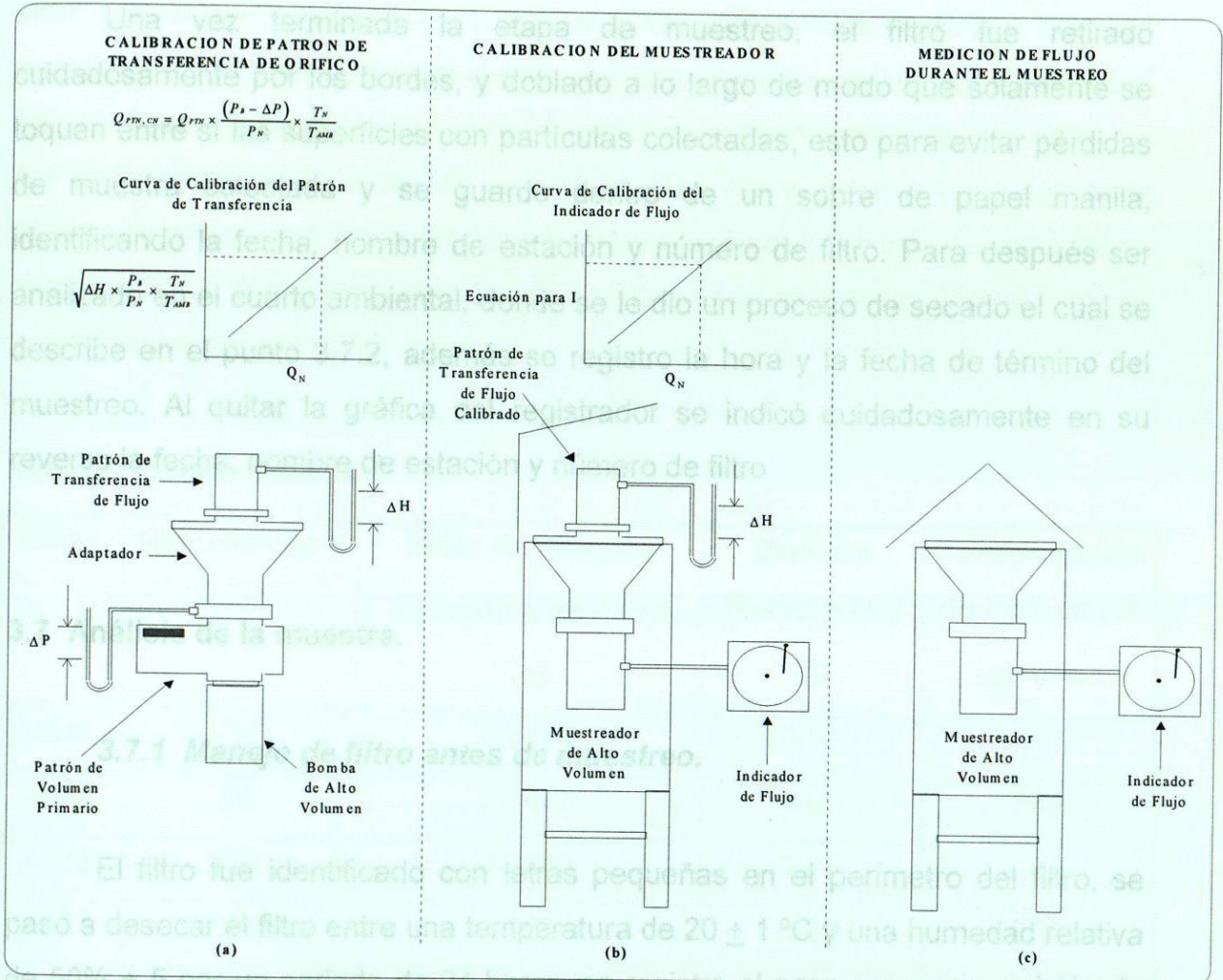


Figura 7. Etapas del proceso de medición de flujo. a) Calibración del patrón de transferencia b) Calibración del indicador de flujo instalado en el muestreador c) Muestreo con indicador calibrado.

Después de terminar de calibrar los 5 muestreadores, se levanto la coraza superior o cubierta del muestreador y se instalo el filtro preparado e identificado en cada uno de los muestreadores utilizados, evitando tocar el filtro con las manos, utilizando guantes de látex y pinzas, ésto ayudó a evitar posibles interferencias en el manejo del filtro. El filtro fue asegurado dentro del muestreador, posteriormente

se cerró la tapa y se puso a funcionar durante el periodo de interés (24, 48, 72, 96 y 120 horas), se registro la fecha y hora de inicio, además se aseguro que el flujo del muestreador se encontrara dentro del rango aceptable (1,1 a 1,7 m³/min CN).

Una vez terminada la etapa de muestreo, el filtro fue retirado cuidadosamente por los bordes, y doblado a lo largo de modo que solamente se toquen entre sí las superficies con partículas colectadas, esto para evitar pérdidas de muestra colectada y se guardo dentro de un sobre de papel manila, identificando la fecha, nombre de estación y número de filtro. Para después ser analizado en el cuarto ambiental, donde se le dio un proceso de secado el cual se describe en el punto 3.7.2, además se registro la hora y la fecha de término del muestreo. Al quitar la gráfica del registrador se indicó cuidadosamente en su reverso la fecha, nombre de estación y número de filtro

3.7 Análisis de la muestra.

3.7.1 Manejo de filtro antes de muestreo.

El filtro fue identificado con letras pequeñas en el perímetro del filtro, se pasó a desecar el filtro entre una temperatura de 20 ± 1 °C y una humedad relativa de $50\% \pm 5$ por un periodo de 24 horas, se registro el peso con una precisión de 0.01mg, se colocó el filtro nuevamente en el desecador a 20 ± 1 °C y una humedad relativa de $50\% \pm 5$ por un intervalo de 6 horas, se registró el peso hasta llegar a peso constante (diferencia entre las dos últimas pesadas menor o igual a 0.5 mg).

Considerando a la norma NMX-035-SEMARNAT-1993 [5] se desarrollo una metodología para coleccionar mayor cantidad de PST es decir incrementando el tiempo de muestreo de un día hasta 5 días. El tren de muestreo se dispuso en zig-zag para evitar interferencias entre ellos.

3.7.2 Análisis de filtros después de muestreo.

Se revisó la identificación del filtro para evitar alguna interferencia, además se verificó visualmente cualquier daño (rotura, arrugas), se pasó a desecar el filtro entre una temperatura de 20 ± 1 °C y una humedad relativa de $50\% \pm 5$ por un periodo de 24 horas, se registró el peso con una precisión de 0.01mg, se colocó el filtro nuevamente en el desecador a 20 ± 1 °C y una humedad relativa de $50\% \pm 5$ por un intervalo de 6 horas, se registró el peso hasta llegar a peso constante (diferencia entre las dos últimas pesadas menor o igual a 0.5 mg). La muestra se mantuvo en un desecador hasta su utilización para su caracterización tal como se especifica en el capítulo 2.

Tabla 1. Pesado de filtros

Filtro	Nomenclatura	Masa de Muestra Colectada en Filtro (g)	Muestra Recuperada (g)	Concentración de PST en AA $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ cn}$
4535	D1	0.6973	0.50	317
4537	D2	2.1455	0.63	548
4538	D3	0.8889	0.85	154
4539	D4	1.9394	1.00	253
4540	D5	1.6542	1.35	188

3.8 Conclusión

Considerando a la norma NMX-035-SEMARNAT-1993 [5] se desarrolló una metodología para coleccionar mayor cantidad de PST es decir incrementando el tiempo de muestreo de un día hasta 5 días. El tren de muestreo se dispuso en zigzag para evitar interferencias entre ellos.

Sin embargo cabe notar que después de un periodo mayor a 24 horas el monitoreo se efectúa fuera de norma es decir que no existe una normatividad para periodos largos de muestreo utilizando este equipo de muestreador. Nuestro objetivo primordial es obtener mayor material (PST) para una caracterización de las partículas suspendidas totales en la ciudad de Monterrey. En la parte de discusión se prestara atención a la posible evolución de las PST por las condiciones climáticas a las que permanecieron expuestas las muestras colectadas por mas de 24 horas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Referencias

	Página
4 Resultados y discusión.....	57
[1] http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=10202	
[2] http://www.unescomexico.org/	58
[3] Reporte anual SIMA 2006.	
[4] Imagen 2009 DigitalGlobe, Google Earth	
[5] NMX-035-SEMARNAT-1993, Determinación de Partículas Suspendidas Totales en Aire Ambiente y el Procedimiento para la Calibración de los Equipos de Medición.	64
[6] Manual de Operadores, GMW High Volume Air Samplers, General Metal Works Inc.	77
[7] M. programa de administración de la calidad del aire del área metropolitana de Monterrey 1997-2000, SEMARNAT.	81
[8] http://sinaica.ine.gob.mx	82

4.- Resultados y discusión

En este capítulo se presenta la caracterización fisicoquímica y microestructura de las partículas suspendidas totales PST (PM_{10} y $PM_{2.5}$) colectadas en la ciudad de Monterrey. La caracterización fisicoquímica fue realizada con la ayuda de técnicas de caracterización avanzada; las técnicas de Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia (IR-TF) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Estas técnicas fueron de gran utilidad para identificar las posibles fuentes de emisión, antropogénicas y naturales así como el daño que estas pudieran causar por sus características fisicoquímicas a la salud humana y el ecosistema. En la tabla 1 se muestran las condiciones

Página

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4 Resultados y discusión.....	57
4.1 Difracción de rayos X de los materiales.....	58
4.2 Espectroscopia UV-Vis de las PST.....	62
4.3 Espectroscopia IR-FT de las muestras.....	64
4.4 Microscopía Electrónica de Barrido.....	67
4.5 Análisis de las diversas técnicas.....	77
4.6 Correlación con los monitoreos efectuados con SIMA.....	78
4.7 Conclusión.....	81
Referencias.....	82

Tabla 1. Tiempo de colección de las muestras colectadas de PST

Condición	Tiempo de muestreo
D1	1 día de muestreo (24 horas)
D2	2 días de muestreo (48 horas)
D3	3 días de muestreo (72 horas)
D4	4 días de muestreo (96 horas)
D5	5 días de muestreo (120 horas)

La norma oficial mexicana NMX-SEMARNAT-035-1993 establece un tiempo de colección de 24 horas.

4.- Resultados y discusión de los materiales.

En este capítulo se presenta la caracterización fisicoquímica y microestructura de las partículas suspendidas totales PST (PM_{10} y $PM_{2.5}$) colectadas en la ciudad de Monterrey. La caracterización fisicoquímica fue realizada con la ayuda de técnicas de caracterización avanzada; las técnicas de Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia (UV-Vis), Espectroscopia (IR-TF) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Estas técnicas fueron de gran utilidad para identificar las posibles fuentes de emisión, antropogénicas y naturales así como el daño que estas pudieran causar por sus características fisicoquímicas a la salud humana y el ecosistema. En la tabla 1 se muestran las condiciones de muestreo empleadas en las muestras colectadas y la nomenclatura empleada para su identificación. Es importante mencionar que el método de monitoreo de las PST se basa en la norma oficial mexicana NMX-SEMARNAT-035-1993 y una de las modificaciones realizadas fue en el tiempo de colección de 24 horas a los tiempos especificados en la tabla 1.

Tabla 1: Tiempo de colección de las muestras colectadas de PST

Nomenclatura	Tiempo de muestreo
D1	1 día de muestreo (24 horas)
D2	2 días de muestreo (48 horas)
D3	3 días de muestreo (72 horas)
D4	4 días de muestreo (96 horas)
D5	5 días de muestreo (120 horas)

La norma oficial mexicana NMX-SEMARNAT-035-1993 establece un tiempo de colección de 24 horas.

4.1. Difracción de rayos X de los materiales.

En la figura 1 se muestran los patrones DRX obtenidos del polvo colectado y en donde se puede observar que los difractogramas de las muestras D2 y D3 son muy similares a la muestra D1, por lo que para fines prácticos y de manejo no son mostrados. Las principales fases cristalinas identificadas por DRX de las muestras D1, D4 y D5 son: Calcita CaCO_3 (C), silicatos sobre todo cuarzo SiO_2 (Q), Dolomita $((\text{Ca},\text{Mg})(\text{CO}_3)_2)$ (D), hematita Fe_2O_3 (H) y yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (G) [1]. En la tabla 2 se presentan los patrones ICDDTMJCPDS correspondientes para cada fase cristalina.

Tabla 2: Patrones ICDDTMJCPDS correspondientes para cada fase cristalina identificada.

PDF	Nombre	Compuesto
01-071-3699	Calcita	CaCO_3
01-085-1780	Silicatos (Cuarzo)	SiO_2
01-071-3697	Dolomita	$((\text{CaMg})(\text{CO}_3)_2)$
01-089-8104	Hematita	Fe_2O_3
01-074-1433	Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

En la figura 1 de hacer un comparativo entre los picos de difracción de las muestras D1, D4 y D5, se puede observar las fases cristalinas de cuarzo y calcita y un pico de mayor intensidad de calcita para la muestra de un día en comparación con las muestras colectadas por más de dos días. Entre otras diferencias que pudieron observarse se encuentran picos de difracción característicos del yeso y hematita (óxido de fierro) en muestras de dos días y en el caso de la muestra de un día se pudo observar la presencia de dolomita, (carbonatos de calcio y magnesio). La principal variación en los picos de difracción es la presencia de calcita como principal fase cristalina en la muestra colectada en un día (D1), además se puede apreciar que su intensidad disminuye conforme

aumenta el tiempo de muestreo. La posible explicación a esta observación es que en la colección de partículas suspendidas totales por un día en mayor porcentaje es calcita. Esta fase principal calcita no permite detectar las otras fases minoritarias, que se encuentran en porcentajes menores. El incremento de la cantidad de muestra colectada con el aumento del tiempo de monitoreo, permite incrementar las fases cristalinas minoritarias, con esto se logra observar los picos principales de las fases cristalinas del yeso y la hematita. La aparición del yeso como fase principal se debe posiblemente en mayor porcentaje a la evolución de los carbonatos de calcio y magnesio a su forma cristalina (yeso).

El resultado de la difracción de rayos X resulto visible debido a la diversificación del material colectado y disminución de la intensidad de la calcita. En donde se pueden observar 4 fases cristalinas: Calcita, cuarzo, hematita y yeso

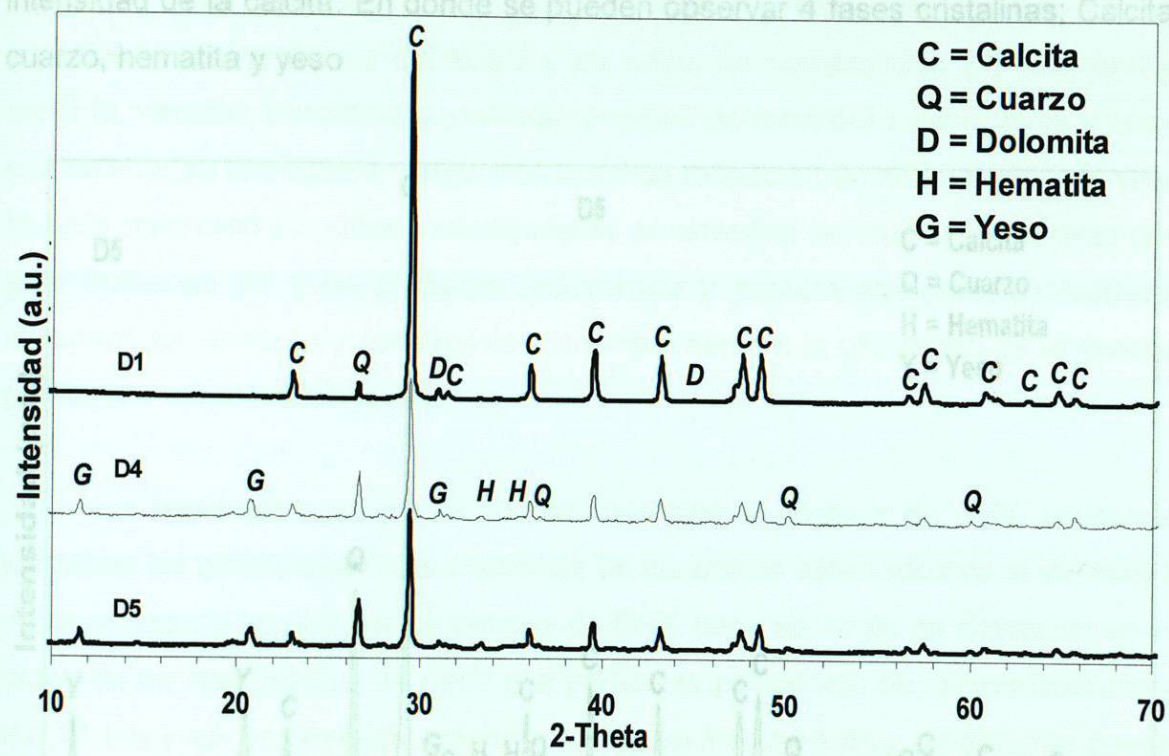


Figura 1. Difractogramas de los polvos colectados en la ciudad de Monterrey durante los días 1, 4 y 5.

Figura 2. Patrón DRX del polvo recolectado del aire para las muestra colectadas

Entonces la intensidad de la fase principal colectada se ve disminuida por incremento de la fase cristalina de la calcita. Además se debe señalar la evolución de los compuestos dolomita a yeso muy probablemente debido al ambiente

sometido de humedad nocturna y el calor del día y a la posible presencia de gases de azufre de la atmósfera circundante, picos de difracción a 32 y 45 de 2 theta para la dolomita y 11.5, 21 y 31 de 2 theta para el yeso en las muestras a un día D1 y en muestras colectadas a más de 3 días D4, respectivamente. La presencia de yeso en las muestras recolectadas en los días 4 y 5 (D4 y D5) son atribuidos a la humedad del ambiente que permitió la cristalización del yeso de los sulfatos de calcio anhidros y la formación de yeso de la reacción de la calcita con el dióxido de azufre y carbono de la atmósfera tal y como lo reporta Böke et al [2]. La figura 2 de la muestra colectada a 5 días muestra más claramente como la fase de hematita resultó visible debido a la diversificación del material colectado y disminución de la intensidad de la calcita. En donde se pueden observar 4 fases cristalinas; Calcita, cuarzo, hematita y yeso

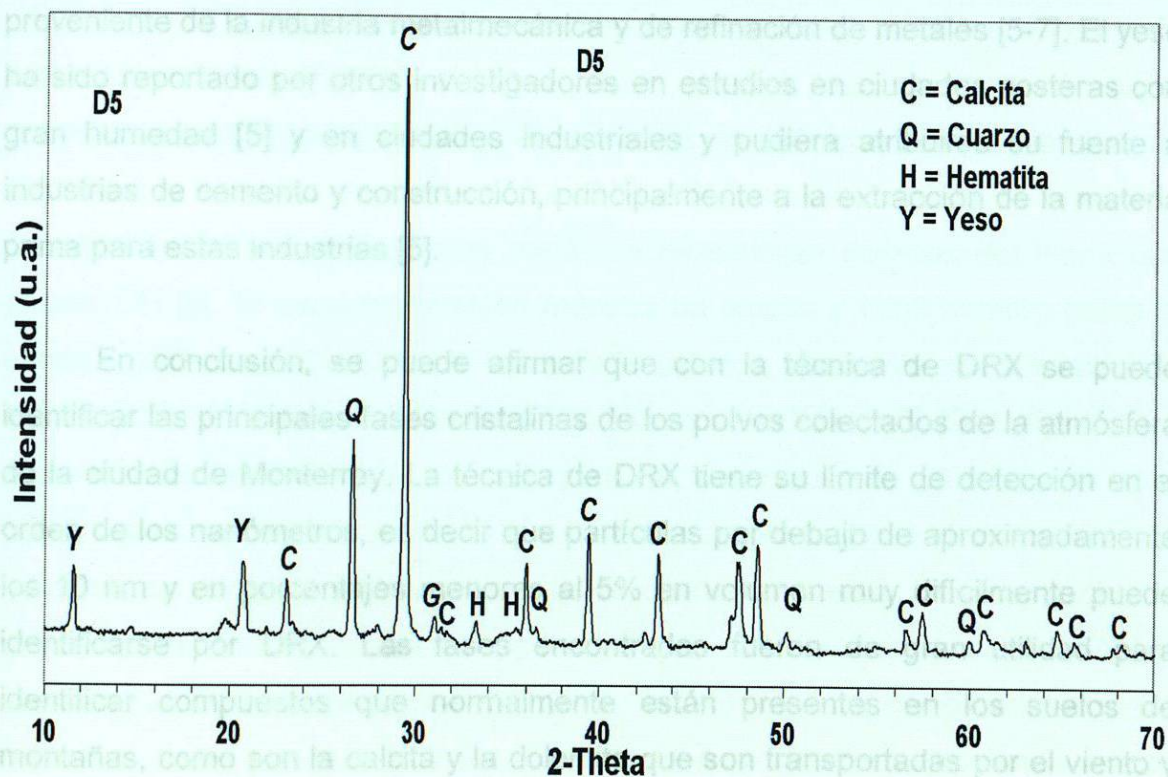


Figura 2: Patrón DRX del polvo recolectado del aire para las muestra colectadas en 5 días (D5).

Otras investigaciones han reportado que metales pesados como el hierro y plomo aceleran la reacción entre sulfuros y carbonatos de calcio para formar yeso a condiciones atmosféricas sobre estructuras de mármol [3]. Lo que pudiera servir de soporte en la evolución de los polvos colectados por más de un día. En los difractogramas (figura 1 y 2) podemos ver claramente el incremento de los principales picos de difracción de las fases cristalinas de hematita y yeso. La presencia de óxidos de Ca y Mg como calcita y dolomita en las partículas transportadas por aire fue reportada por F. Goodarzi et al. [4] y por I. Rodríguez et al. [5] normalmente atribuidas a fuentes de polvo de suelo y polvo suspendido provenientes de la erosión de montañas y cerros [5] característico de la ciudad de Monterrey. Los silicatos tales como el cuarzo fueron identificados y muy probablemente provienen del suelo y de sitios de construcción [5]. Los óxidos como la hematita encontrados pudieran provenir de emisiones vehiculares y polvo proveniente de la industria metalmecánica y de refinación de metales [5-7]. El yeso ha sido reportado por otros investigadores en estudios en ciudades costeras con gran humedad [5] y en ciudades industriales y pudiera atribuirse su fuente a industrias de cemento y construcción, principalmente a la extracción de la materia prima para estas industrias [5].

En conclusión, se puede afirmar que con la técnica de DRX se puede identificar las principales fases cristalinas de los polvos colectados de la atmósfera de la ciudad de Monterrey. La técnica de DRX tiene su límite de detección en el orden de los nanómetros, es decir que partículas por debajo de aproximadamente los 10 nm y en porcentajes menores al 5% en volumen muy difícilmente puede identificarse por DRX. Las fases encontradas fueron de gran utilidad para identificar compuestos que normalmente están presentes en los suelos de montañas, como son la calcita y la dolomita que son transportadas por el viento y corrientes de aire. Lo que justifica su presencia en los compuestos colectados debido a que la ciudad de Monterrey esta rodeada de las Sierra Madre Oriental y algunos otros cerros como el del topo chico. Es importante mencionar que se tuvo especial cuidado al recuperar el polvo de los filtros para evitar cambios en su

composición y estos fueron almacenados en un desecador para evitar problemas con la humedad. En algunos casos utilizar una técnica de caracterización e identificación de fases no es suficiente para la composición fisicoquímica debido a sus limitantes en lo que a detección se refiere, por lo que se tiene que recurrir a otras técnicas como la de UV-Vis.

4.2. Espectroscopia UV-Vis de las PST.

El análisis por espectroscopia de UV-Visible de las PST colectadas del aire fueron efectuados con el fin de encontrar las características de los óxidos de metálicos presentes en la región de transmisión d-d electrónica, en el rango de 200-600 nm de longitud de onda. La figura 3 muestra tales espectros que serán relacionados a los estudios previos de DRX. Los espectros UV-Vis nos indican la presencia de iones de Fe^{2+} aislados y que pueden estar presentes en bajas concentraciones mezclados con otros óxidos inorgánicos. Estas bandas de absorción de iones de Fe^{2+} , a 212, 270 y 355 nm de longitud de onda son características de coordinaciones metálicas tetraédricas aislados del hierro con grupos OH [9]. El espectro también muestra un amplio y débil hombro sobre la banda a 290 nm atribuido a los iones Fe^{3+} aislados, altamente coordinados con oxígenos. Estas especies están en proporciones minoritarias [9]. En la figura 3 se muestran las atribuciones hechas para la presencia de la hematita que comúnmente comprende óxido férrico y óxido ferroso. El óxido férrico se usa en mezclas con cemento y pintura para dar resistencia y cuerpo. Para comprobar la presencia del carácter metálico de la hematita se obtuvieron los espectros UV-Vis para los reactivos puros (Junsei company, Japan) y fueron comparados con los espectros de los polvos colectados. En la figura 4 se observa coincidencia en dos bandas, a 270 y 340 nm con lo cual se confirma que existe la presencia de hematita como óxido férrico y como óxido ferroso. De igual manera las muestras colectadas de uno a tres días son muy similares por lo que las muestras a dos y tres días no se incluyen en los difractogramas para facilitar su interpretación. Este

tipo de compuestos han sido reportados por otros autores sobre todo en ciudades en crecimiento urbano, ciudades mineras y con industria metalmeccánica [6-7].

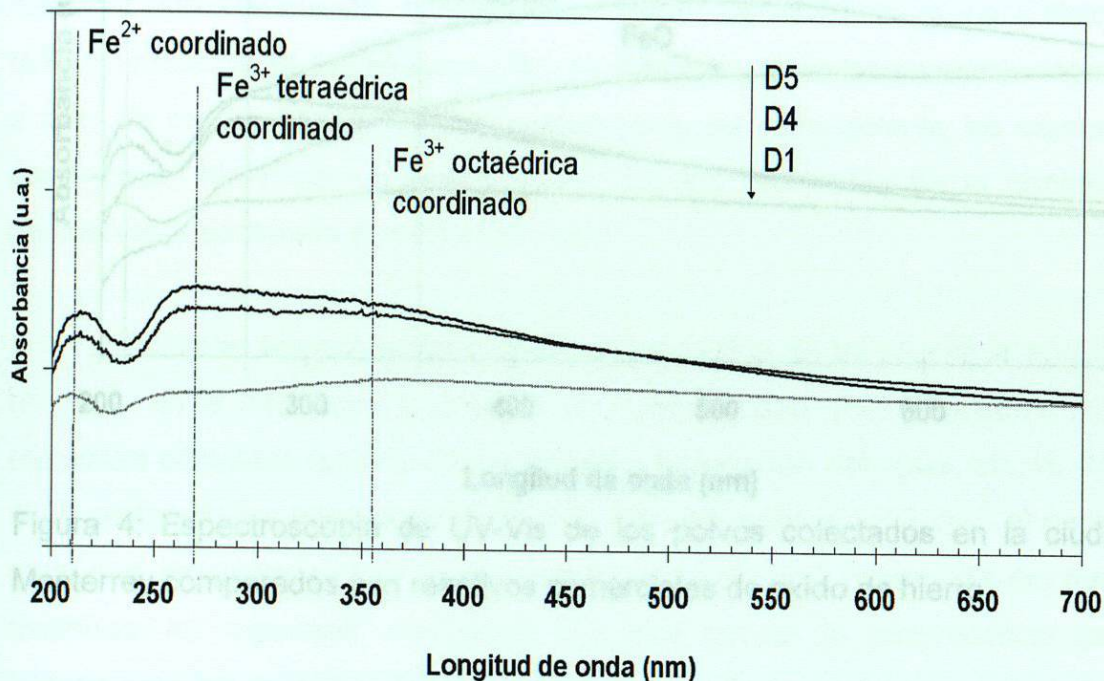


Figura 3: Espectroscopia de UV-Vis de los polvos colectados en la ciudad de Monterrey.

La espectroscopia IR-TF provee información acerca de los grupos orgánicos e inorgánicos presentes en la muestra al igual que la espectroscopia UV-Vis. Una muestra de polvo de hematita (Fe_2O_3) fue caracterizada por DRX y UV-Vis. Los resultados de DRX muestran los principales picos de difracción de las especies de Fe_2O_3 (01-089-8104). La técnica del UV-Vis nos permitió identificar la presencia de hematita desde la muestra a un día, situación que no fue posible con la DRX, esto respalda que el incrementar la cantidad de muestra colectada no permite hacer una caracterización más completa de los polvos colectados, debido a los límites de detección de las diferentes técnicas.

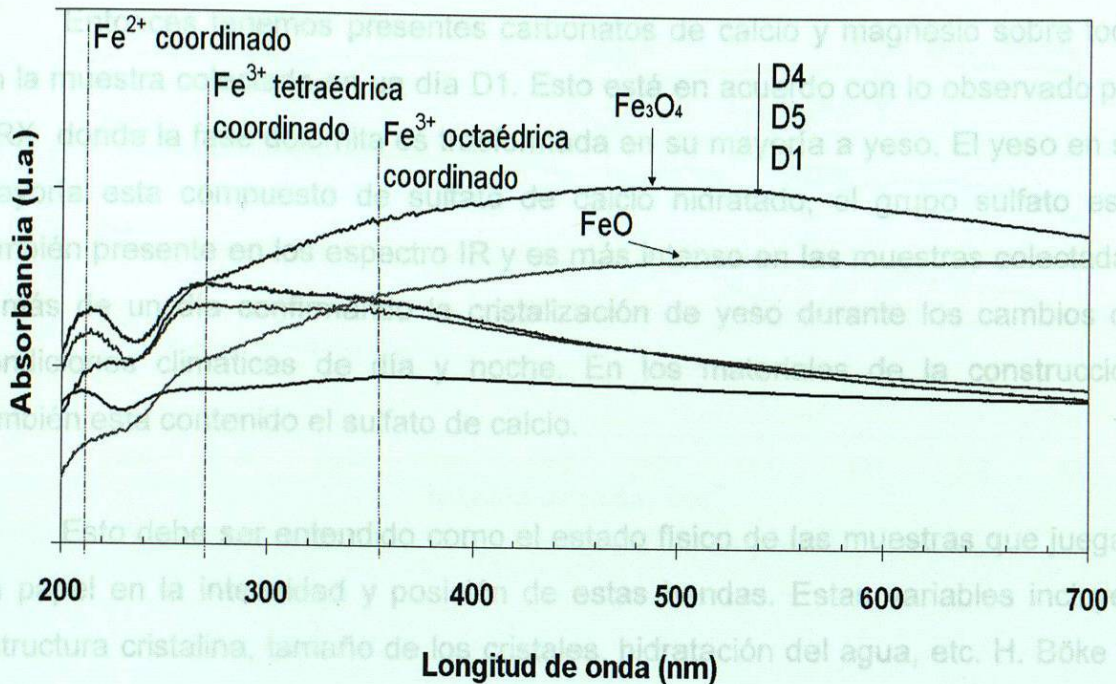


Figura 4: Espectroscopia de UV-Vis de los polvos colectados en la ciudad de Monterrey comparados con reactivos comerciales de oxido de hierro.

4.3. Espectroscopia IR-FT de las muestras.

La espectroscopia IR-TF provee información acerca de los grupos orgánicos e inorgánicos (iones como carbonato, nitrato) presentes en la muestra al igual que las técnicas de caracterización anteriores no requiere ninguna preparación química para este análisis y la muestra se recupera ya que no es alterada. Los espectros IR-TF de las muestras recolectadas se muestran en la figura 5. Las bandas de transmitancia en la región infrarroja de 4000-400 cm^{-1} muestran bandas características para los grupos inorgánicos funcionales como carbonatos CO_3^{2-} a 1405 y 873 cm^{-1} , silicón SiO_3^{2-} a 1018 cm^{-1} , sulfuro y sulfato SiO_3^{2-} , SO_4^{2-} a 1105 y, 713 y 520 cm^{-1} respectivamente [9]. Otros grupos con menor intensidad como HCO_3^{2-} (1015 y 595 cm^{-1}) y HSO_4^{2-} (525 cm^{-1}) posiblemente están presentes. De cualquier manera la amplitud de las bandas de transmitancia dificulta su identificación y en la mayoría de ellas están empalmadas en la misma banda amplia.

Entonces tenemos presentes carbonatos de calcio y magnesio sobre todo en la muestra colectada en un día D1. Esto está en acuerdo con lo observado por DRX donde la fase dolomita es transformada en su mayoría a yeso. El yeso en su mayoría está compuesto de sulfato de calcio hidratado, el grupo sulfato está también presente en los espectros IR y es más intenso en las muestras colectadas a más de un día confirmando la cristalización de yeso durante los cambios de condiciones climáticas de día y noche. En los materiales de la construcción también está contenido el sulfato de calcio.

Esto debe ser entendido como el estado físico de las muestras que juegan un papel en la intensidad y posición de estas bandas. Estas variables incluyen estructura cristalina, tamaño de los cristales, hidratación del agua, etc. H. Böke et al [2] atribuyen las bandas de absorción del carbonato a 1453 cm^{-1} al carbonato puro que es análoga a la banda amplia a 1410 cm^{-1} observada en nuestras muestras, es importante mencionar que esta banda de transmitancia es más intensa para las muestras D1 que es rica en calcita. La atribución de la banda de absorción a 1100 cm^{-1} en un espectro IR de sulfato de calcio semihidratado después de 5 días a la exposición de aire- SO_2 fue reportada como formación de yeso [2], en nuestro caso esta banda está ausente en la muestra recolectada en un día pero aparece a 1115 cm^{-1} en las muestras recolectadas en más de un día (D2-D5). Estos resultados concuerdan con los resultados DRX, picos de difracción y aparición de yeso en las muestras colectadas en los días 2 a 5. Los espectros IR-TF también nos permiten confirmar la presencia del cuarzo y de algunos compuestos minoritarios no detectados por DRX ni por UV-Vis como son los bicarbonatos de calcio y sodio materias primas en la fabricación de porcelana y yeso. Finalmente podemos observar una banda apenas visible a los 1600 cm^{-1} aproximadamente que es debida a la presencia de óxidos de carbono.

reportadas por estudios experimentales [2]

Mediante el uso de estas tres técnicas de caracterización de materiales podemos correlacionar los compuestos presentes y complementar su grado de detección y confirmar la presencia de los compuestos.

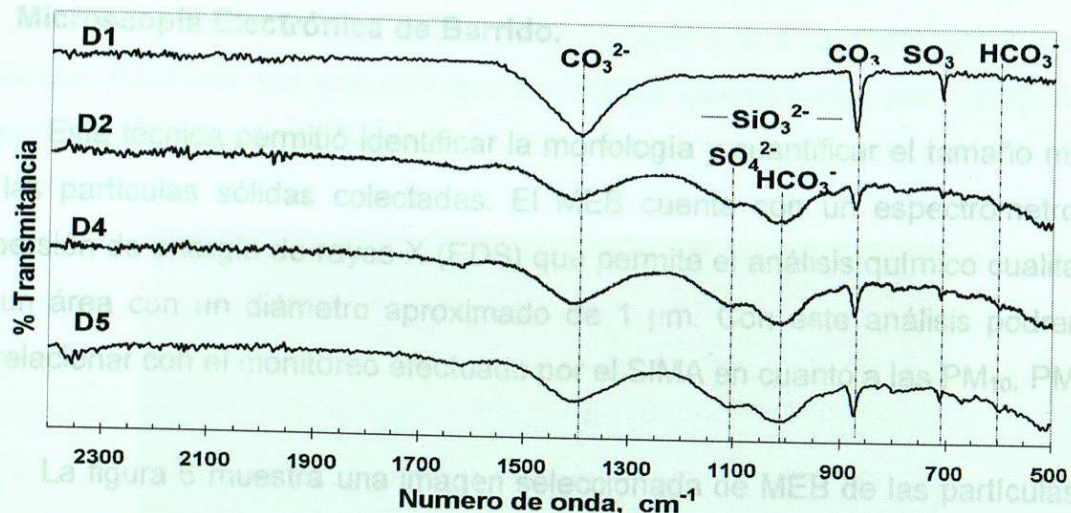


Figura 5. Espectro IR-TF de las muestras de polvos colectadas.

Los compuestos presentes son comunes en polvos de suelos donde también puede atribuirse a la extracción de materia prima para yeso y cemento (Pedreras). El polvo es transportado por los vientos provenientes de la Sierra Madre Oriental, la Zona de Santa Catarina es donde se encuentran la mayoría de las pedreras que abastecen la industria cementera y yesera de la zona industrial de Monterrey.

Concluyendo este tipo de caracterización, las transmitancias de carbonatos inorgánicos fueron observadas principalmente de las muestras D2 a D5. Estas transmitancias de carbonatos muestran una variación substancial en longitud, número de picos, número de onda entre muestras, indicando variabilidad en la composición y fuentes, formación de yeso después de días de recolección. Las transmitancias atribuidas a grupos funcionales de sulfuros y carbonatos aparecieron en las muestras recolectadas en los días 4 y 5, lo cual sugiere la influencia de fuentes del aire libre, humedad y dióxido de azufre en la atmósfera ya reportadas por estudios experimentales [2].

Mediante el uso de estas tres técnicas de caracterización de materiales podemos correlacionar los compuestos presentes y complementar su grado de detección y confirmar la presencia de los compuestos.

4.4 Microscopía Electrónica de Barrido.

Esta técnica permitió identificar la morfología y cuantificar el tamaño medio de las partículas sólidas colectadas. El MEB cuenta con un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X (EDS) que permite el análisis químico cualitativo de un área con un diámetro aproximado de 1 μm . Con este análisis podremos correlacionar con el monitoreo efectuado por el SIMA en cuanto a las PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$.

La figura 6 muestra una imagen seleccionada de MEB de las partículas de polvo colectadas en el aire en un día (D1) y su respectivo espectro EDS. La mayoría de las partículas caracterizadas mostraron una morfología del tipo amorfas con filos y formas aleatorias subangulares y angulares. Además, se lograron identificar partículas esféricas o semiesféricas. Los parámetros de resolución y número de aumentos requeridos se encuentran en la parte inferior de cada imagen, así como la escala de referencia. El promedio del tamaño de partículas es de 10 micras, destacando las partículas semiesféricas, pero en general la morfología es variada. El espectro EDS nos indica la presencia de aluminio silicatos y carbonatos de calcio y potasio, posiblemente partículas semiesféricas de aluminio silicatos. En seguida se efectuó un acercamiento a una magnificación de 10,000 aumentos, Figura 7. En la imagen MEB (micrografía), se pueden observar partículas rectangulares, angulares y amorfas, al igual que la partícula esférica de aproximadamente 1.5 micras de diámetro. La figura 10 muestra un espectro EDS seleccionado para esta muestra que nos revela la presencia de óxidos de hierro y carbonatos de calcio, es decir fases cristalinas minerales de calcita y hematita. Lo anterior concuerda con los análisis anteriores, la calcita por lo regular son rectángulos con esquinas truncas o partículas angulares, y la partícula de Fe_2O_3 esta por debajo del nivel de detección de la DRX, pero que la presencia de hematita se había manifestado en los espectros UV-Vis. I. Rodríguez et al. [4] reportaron que este tipo de morfología encontrada es característica de las partículas naturales provenientes de fuentes geológicas como las cenizas de polvo de las montañas, identificando a las esferas de

aproximadamente 10 micras como aluminosilicatos y a la parte amorfa a las partículas formadas por reacción con los sólidos ya existentes por agregación o reacción con gases atmosféricos.

los fedelpastos son silicatos aluminicos de sodio, potasio y calcio, más otros constituyentes menores. De igual manera reportan las partículas est... o-cálcicas de... tribuciones en... (calcita y... da por IR-TF... r iones SiO_2 ... ta por DRX y... como óxidos

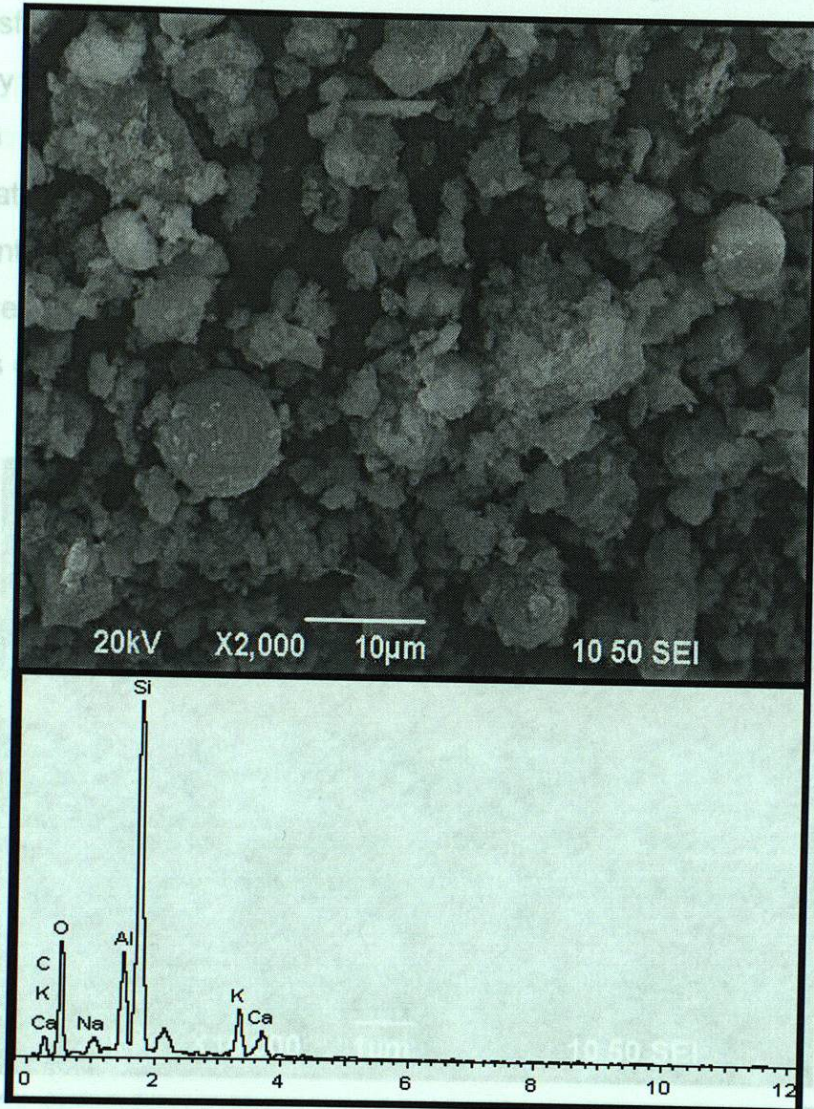


Figura 6. Imagen MEB y espectro EDS de la muestra D1.

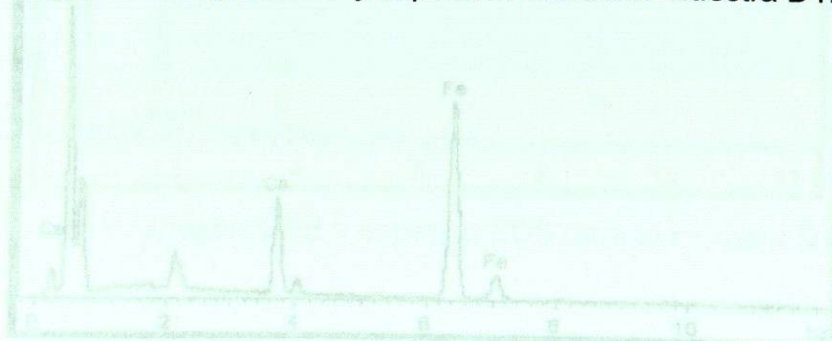


Figura 7. Imagen MEB y aspecto EDS para la muestra D1.

Otros autores atribuyen esta morfología a fedelpastos angulares y sub-angulares [5] atribuidos a polvos de carreteras y en parte de rocas provenientes de cerros y montañas generalmente los fedelpastos son silicatos aluminicos de sodio, potasio y calcio, más otros constituyentes menores. De igual manera reportan las partículas esféricas de orden de 2 micras como cenizas volantes ferro-cálcicas de tipo natural y antropogénico. Lo cual justifica nuestros resultados y atribuciones en general en la muestra D1 esta compuesta por fedelpastos (calcita y aluminosilicatos) y óxidos de hierro. La calcita fue fácilmente identificada por IR-TF y DRX, mientras que los aluminosilicatos solo eran manifestados por iones SiO_2 observados en IR-TF y los óxidos de hierro identificados como hematita por DRX y como óxidos coordinados de carácter metálico por UV-Vis.

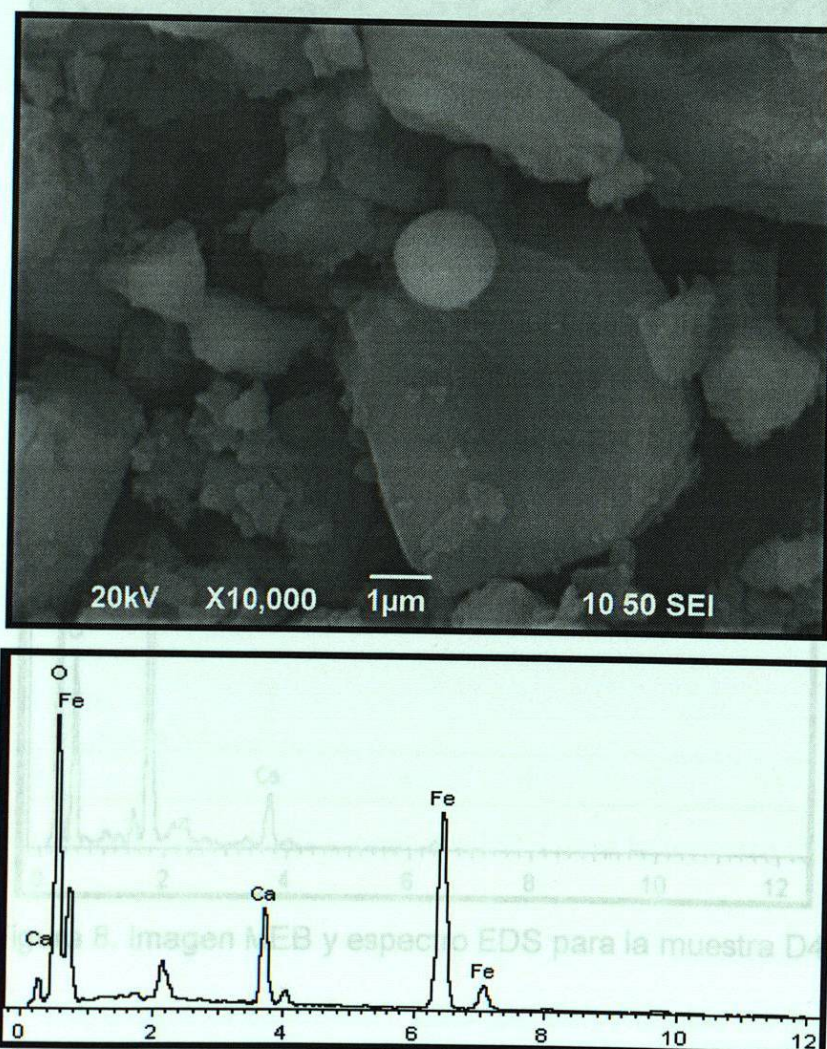


Figura 7. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D1.

En la Figura 8 se muestra una micrografía de electrones secundarios de las partículas encontradas para la muestra D4 en donde se puede observar una morfología del tipo amorfa encontrada sobre la superficie de partículas semiesféricas de 10 micras de diámetro (posiblemente PM₁₀) así como partículas angulares. Por los elementos identificados en el espectro EDS podemos ver que persiste la presencia de la fase mineral calcita y silicatos además de un incremento en la intensidad de la señal del carbono.

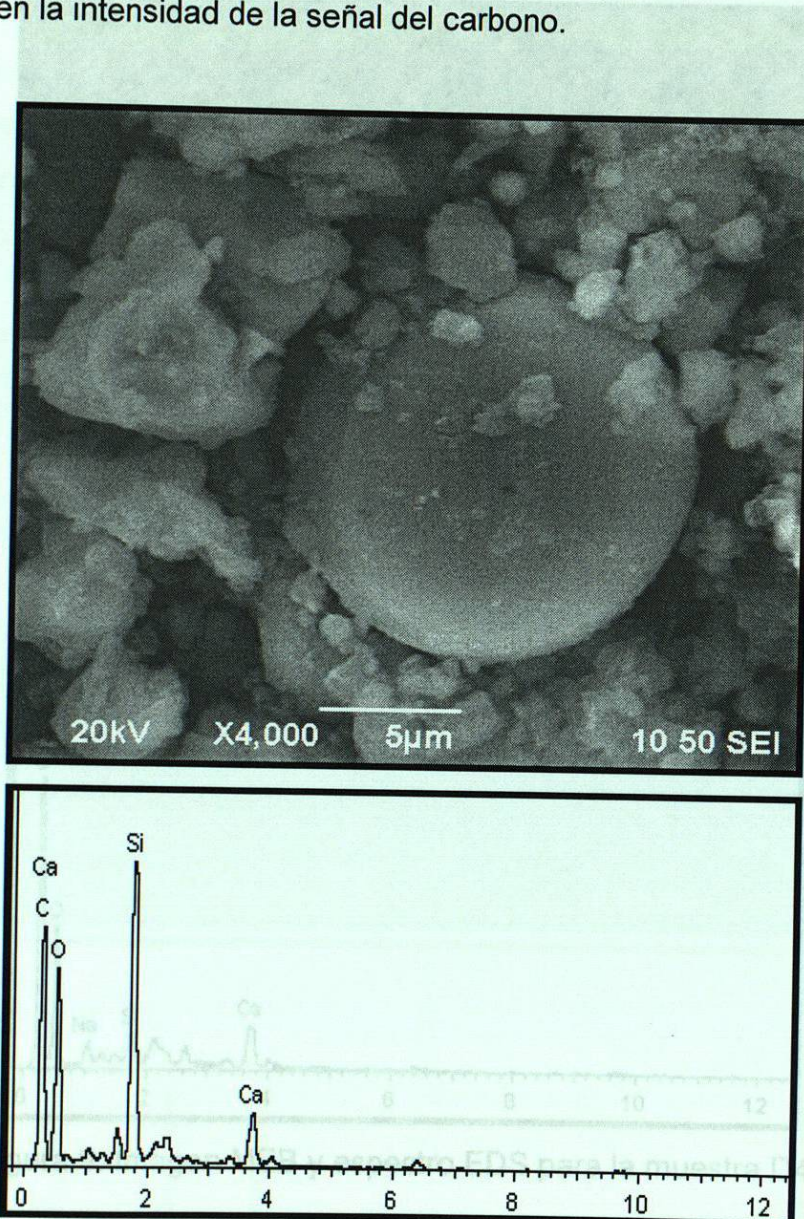


Figura 8. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D4.

Lo cual apoya nuestra suposición. Este tipo de partículas ha sido reportadas en la literatura como nucleación de carbón volátil de diámetro promedio de 1 micra

[5] Una magnificación a 20,000x nos confirma la morfología y descubre partículas esféricas que posiblemente sean de carbón, Figura 9. Esta partícula tiene un diámetro de aproximadamente una micras ($PM_{2.5}$) y se encuentra rodeada de pequeñas partículas amorfas y otras más grandes de formas irregulares y angulares. El espectro EDS muestra aun un mayor aumento en el contenido de carbón.



Figura 9. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D4.

Lo cual apoya nuestra suposición. Este tipo de partículas ha sido reportadas en la literatura como nucleación de carbón volátil de diámetro promedio de 1 micra

[5]. Estas partículas también son acompañadas por partículas de formas irregulares diversas. Además, fueron detectados picos característicos de Ca, C y O, muy probablemente de calcita así como la presencia de silicatos (Si y O). Los compuestos de carbón orgánico son difíciles de distinguir por DRX y UV-Vis, la mejor técnica es una combinación MEB-EDS. Cabe señalar que estas partículas se adhieren a otras partículas más grandes posiblemente de calcita, lo cual dificulta su identificación por técnicas espectroscópicas.

La muestra colectada durante 5 días, y a la cual habíamos ya atribuido la presencia de diversas fases muestra una morfología más diversa, figura 10. Los 8,000 aumentos nos permiten observar morfología diversa de formas regulares y bien definidas, esféricas, semiesféricas, ovaladas y angulares.

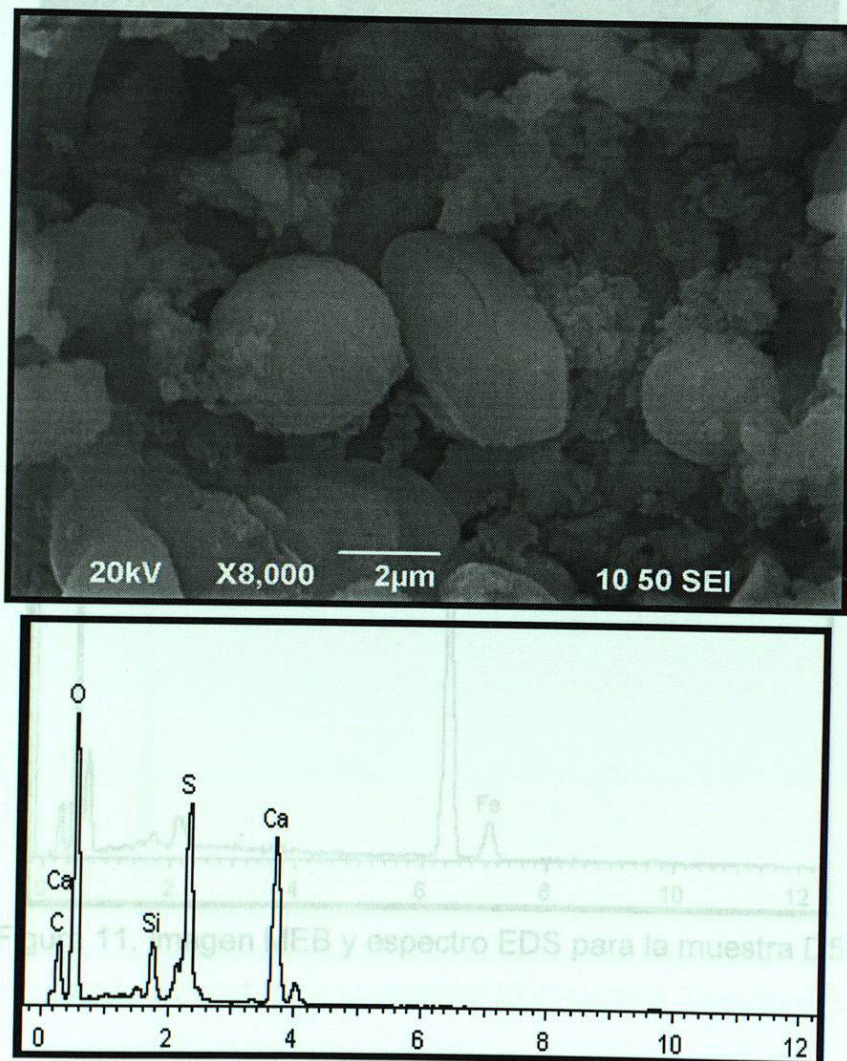


Figura 10. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D5.

El espectro EDS muestra la presencia de calcita (C y Ca), además se pueden observar semiesferas de carbón (C, S y O) y compuestos de silicio. Una magnificación a 7,000 aumentos nos permite observar partículas metálicas de hierro (6 micras), con forma esférica y de textura corrugada (Figura 11), acompañadas de partículas esféricas de menos tamaño (2 micras) y partículas amorfas y angulares subangulares de calcita. El espectro EDS obtenido sobre la esfera metálica confirma la composición, óxidos de hierro es decir hematita. *...idas a calcita, lo que concuerda con el EDS mostrado en la misma figura 11.*

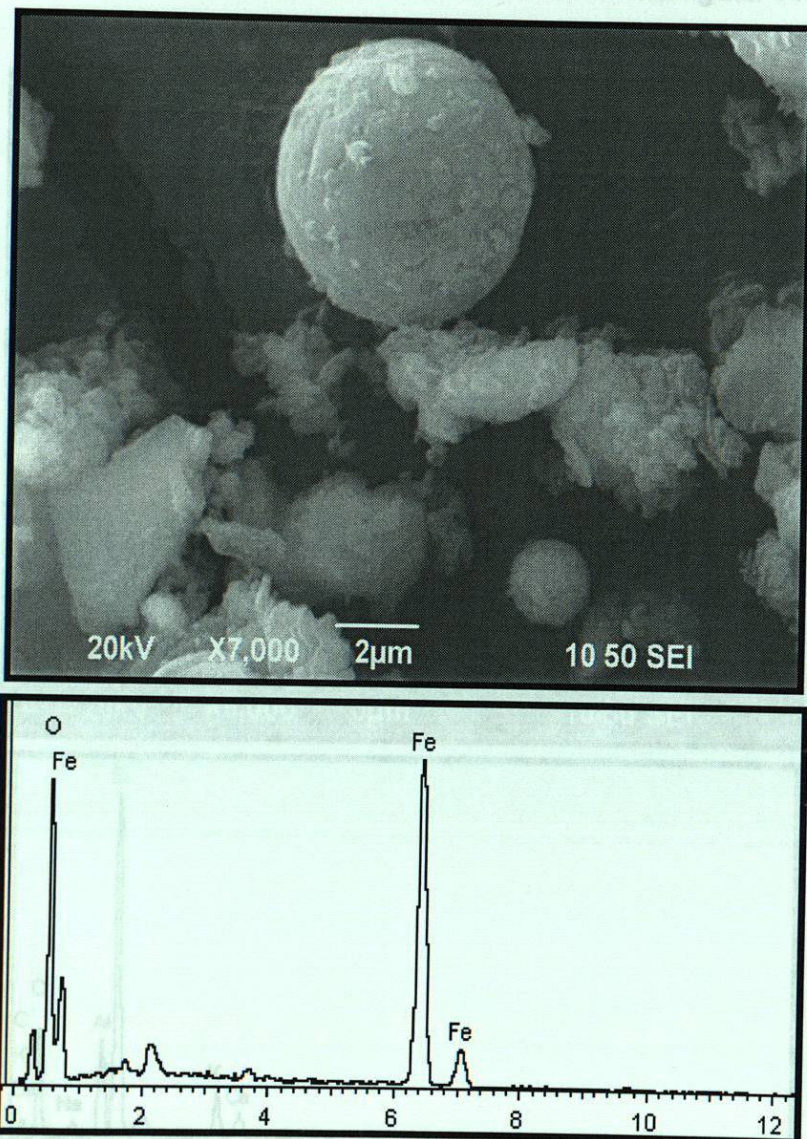


Figura 11. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D5.

Figura 12. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D5.

Otro tipo de morfologías encontradas en las muestras D5 son presentadas en las figuras 11 y 12, que van desde aluminosilicatos hasta partículas de plástico posiblemente provenientes de basureros clandestinos, materia orgánica e inorgánica transportadas por los vientos. La figura 13 presenta una partícula semiesférica de aluminosilicatos cuya textura es quebradiza y que podemos inferir que es una esfera hueca de más de 10 micras (PM_{10}). En su alrededor en su mayoría son partículas amorfas de morfologías variadas generalmente atribuidas a calcita, lo que concuerda con el EDS mostrado en la misma figura 11.

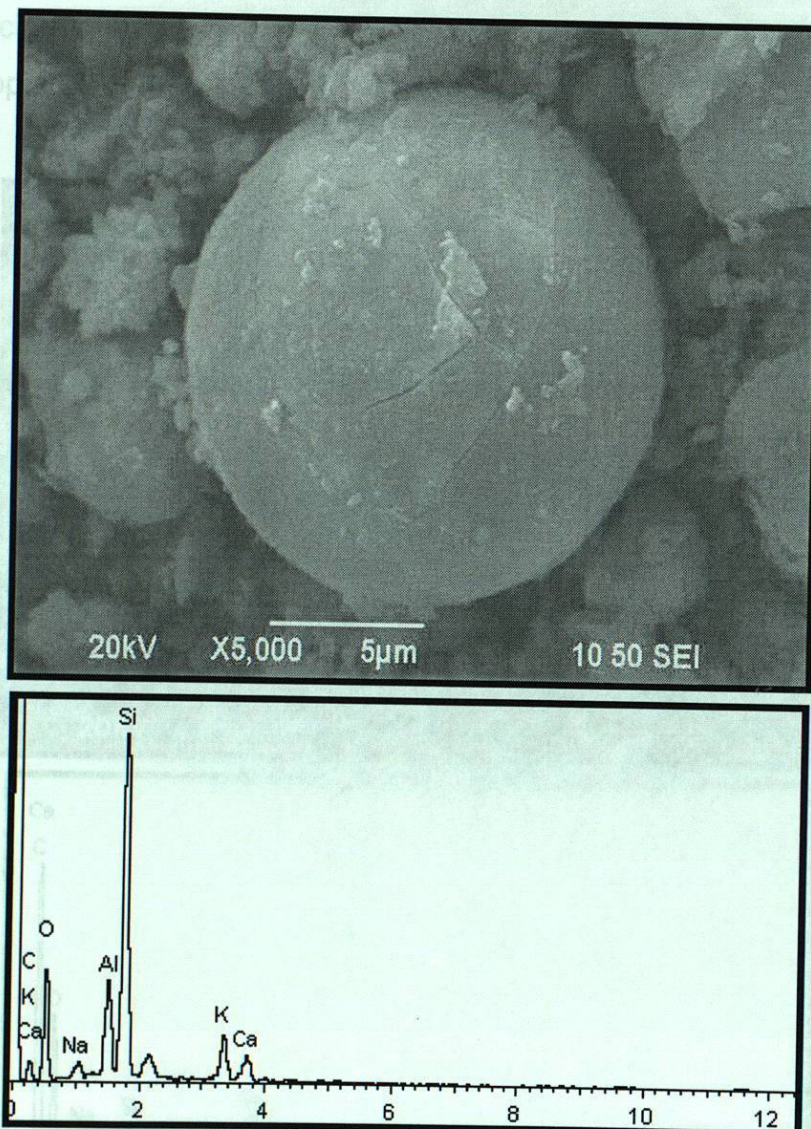


Figura 12. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D5.

Otro ejemplo de morfologías encontradas son las partículas esféricas de carbón muy probablemente provenientes de la combustión o quema de diésel y combustóleo, partícula esférica de aproximadamente 10 micras y con perforaciones, de igual manera rodeadas de partículas de diferentes morfologías generalmente calcita. En este capítulo se presentan las morfologías más relevantes encontradas durante el presente estudio, las imágenes seleccionadas reflejan claramente la riqueza morfológica de las PST colectadas en la Ciudad de Monterrey, y que coinciden con los resultados encontrados por otras técnicas realizadas. En especial la técnica de MEB-EDS tiene más precisión para conocer la composición química y confirmar lo atribuido por otras técnicas como la espectroscopia UV-Vis e IR-TF.

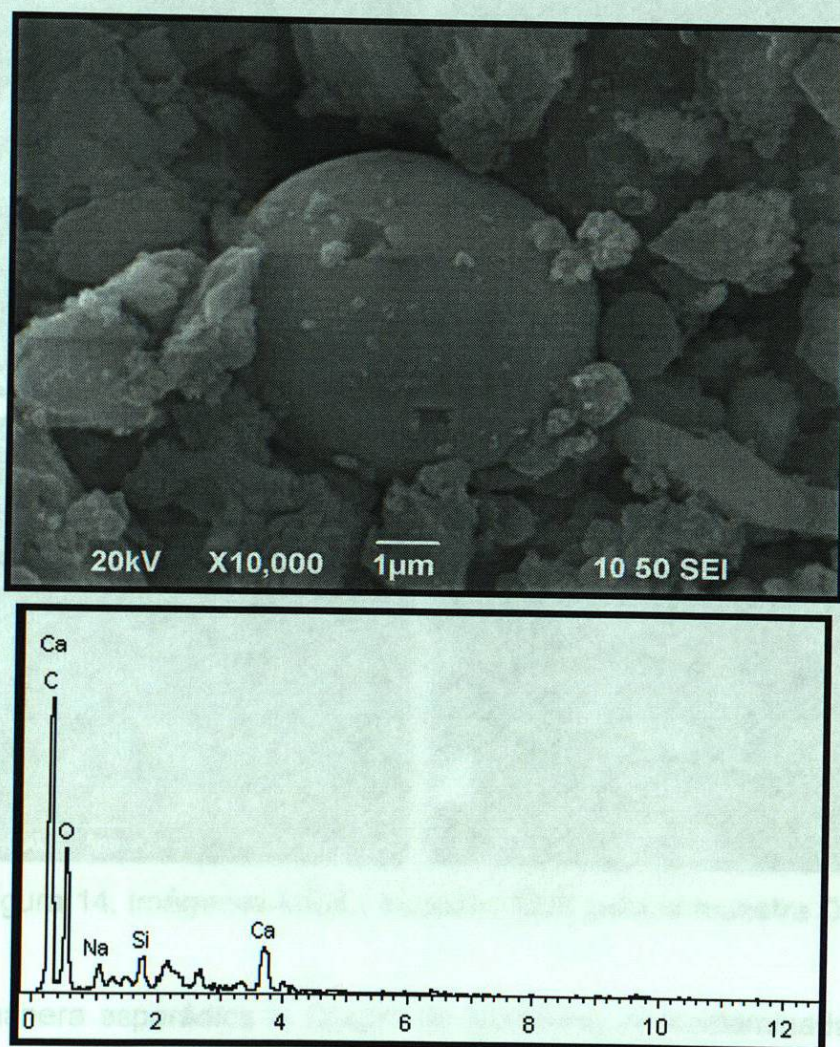


Figura 13. Imagen MEB y espectro EDS para la muestra D5.

En la figura 14 se muestran una serie de micrografías y morfologías observadas en las muestras de PST colectadas. En la figura 14A y 14B se muestran dos partículas de morfologías extrañas que no corresponden a compuestos inorgánicos pudieran ser atribuidas a materiales plásticos transportados por los vientos y provenientes de basureros clandestinos. La razón de dicha atribución se basa en el alto contenido de carbono y oxígeno observado en el EDS y el caso de la figura 14B se aprecia la presencia de Cl residual. En la figura 14C se muestra posiblemente la cristalización de la fase cristalina del yeso a partir de combinaciones de calcita y dolomita (Muestra D4). En la figura 14D se muestra la morfología de una partícula de calcita (muestra D5).

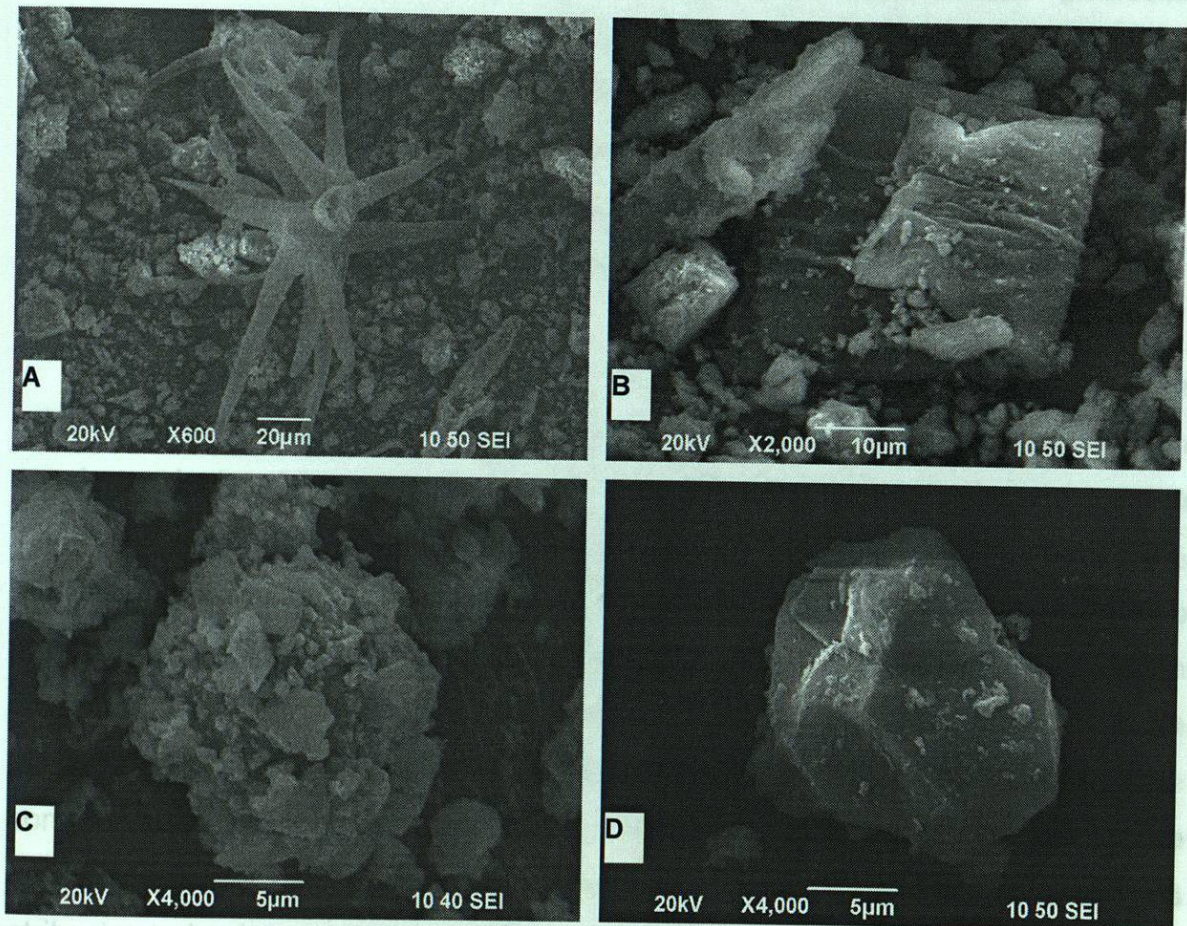


Figura 14. Imágenes MEB y espectro EDS para la muestra D5.

De manera esporádica la Ciudad de Monterrey es contaminada por medio de la quema de pastizales, bastante habituales en el primer trimestre del año,

cuando se prepara la tierra para los nuevos cultivos generando una buena cantidad de PST.

Forma de las partículas	Componente	Posibles fuentes emisoras
Esféricas	Carbono y hematitas	Industria de acero (fundición) emisiones de los vehículos
Morfologías diversas	Polímeros, plásticos y carbón	Quema clandestina de basureros y terreros

4.5 Análisis de las diversas técnicas.

En general se encontraron 5 tipos de morfologías prominentes durante la caracterización de las muestras colectadas: 1) partículas esféricas, 2) partículas semiesféricas, 3) partículas en forma bloques rectangulares con esquinas truncas, 4) amorfas de formas irregulares y 5) partículas de morfología diversa como plásticos provenientes de la quema de basureros. En particular partículas microscópicas, semiesféricas de aluminosilicatos o bien óxidos de hierro en coordinación tetraédrica y octaédrica, partículas esféricas que en su mayoría son óxidos de hierro (hematita) y partículas de carbono post-combustión. Las partículas en forma de bloques con esquinas truncas o angulares son calcita, dolomita que en parte cristalizan en yeso.

La morfología y composición química de las partículas recolectadas en aire pudiera ayudarnos a conocer la fuente emisora y los posibles daños que pudieran ocasionar dentro del organismo humano. Los tamaños de partículas que pueden inhalarse son: PST regulares ($D > 10 \mu\text{m}$), las partículas conocidas como PM_{10} ($D \leq 10 \mu\text{m}$), partículas finas $\text{PM}_{2.5}$ ($2.5 \mu\text{m} < D < 0.1 \mu\text{m}$) y nanopartículas ultrafinas o nanopartículas ($D < 0.1 \mu\text{m}$) [6]. Los diámetros de las partículas esféricas fueron obtenidos suponiendo que todas las partículas son esféricas. Las mediciones vía MEB se efectuaron haciendo 100 mapeos a diferentes magnificaciones y se contaron más de 100 partículas de cada tamaño, las partículas encontradas se encuentran en el rango de $0.1 \mu\text{m}$ a $30 \mu\text{m}$. La tabla 3 resume las principales atribuciones hechas para las partículas observadas.

Tabla 3: Resumen de morfología, composición y posibles fuentes de emisión de las partículas colectadas en la Ciudad de Monterrey

Forma de las partículas	Componente	Posibles fuentes emisoras
Esféricas	Ceniza del carbón y hematitas	Industria de acero (fundición), emisiones de los vehículos del extractor del hollín.
Semi-esférica	Polvo de los aluminosilicatos	Fabricación de cemento, materiales crudos del precursor.
Formas amorfas y secundario-angulares	Cuarzo	Fuentes naturales
Bloques de partículas angulares	Calcita y yeso, dolomita	Fabricación del cemento, fuentes naturales, extracción de piedra (pedreras)
Morfologías diversas definidas	Polímeros, plásticos y carbón	Quema clandestina de basureros y terrenos.

4.6. Correlación con los monitoreos efectuados con SIMA

Como observamos en la figura 15 el tamaño promedio de las partículas de calcita es de 10 a 12 micras, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por el SIMA que muestra que cerca del 80% de las partículas de calcita y dolomita y aluminosilicatos reportados por la estación centro del SIMA, que corresponde a los días que se colectaron los polvos utilizados en las diferentes técnicas de caracterización. Se observa que en ningún día se sobrepasa la norma para PM_{10} o $PM_{2.5}$ (NOM-025-SSAI-1993, PST $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas, PM_{10} $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas, $PM_{2.5}$ $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas) y aproximadamente el 20% de las PST corresponden a $PM_{2.5}$ y el resto a PM_{10} .

**CONCENTRACIÓN PROMEDIO DEL DIA 8 AL 13 DE MARZO 2008
ESTACIÓN CENTRO**

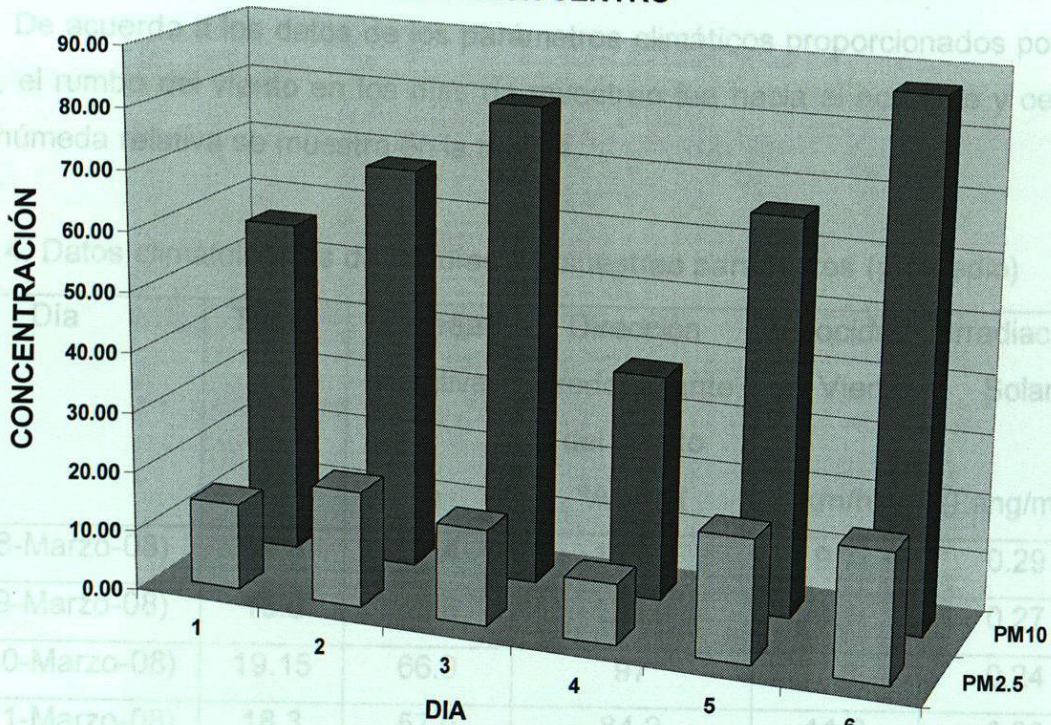


Figura 15. Concentración promedio de PM₁₀ y PM_{2.5} durante el periodo de muestreo.

Como observamos en la figura 15 el tamaño promedio de las partículas de calcita es de 10 a 12 micras, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por MEB-EDS que debido a que cerca del 80% de las PST corresponden al PM₁₀ y el resto a PM_{2.5}. El origen de las PST como la calcita, dolomita y aluminosilicatos son principalmente partículas erosionadas por los vientos procedentes de las montañas de las Sierra Madre Oriental. Esta emisión se incremento debido a la extracción de materia prima para la industria del cemento y cerámicos, en las pedreras. Los resultados arrojados por los monitoreos coinciden con los resultados obtenidos en las muestras colectadas en un día ya que es necesario colectar muestras por más de un día para poder observar las fases minoritarias que de acuerdo a los resultados de caracterización son en su mayoría partículas esféricas

y semiesféricas de carácter metálico, yeso y partículas de carbón parcialmente combustionado por los vehículos automotores. Los materiales de la industria y los vehículos automotores justifican las partículas observadas durante la caracterización.

De acuerdo a los datos de los parámetros climáticos proporcionados por el SIMA, el rumbo del viento en los días de muestreo fue hacia el noroeste y oeste cuya humedad relativa se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Datos climatológicos de los días de muestreo parámetros (promedio)

Día	Temp. °C	Humedad Relativa %	Dirección Predominante del Viento °Azimut	Velocidad del Viento (km/h)	Irradiación Solar (Lang/min)
D1 (8-Marzo-08)	14.8	27.4	155.3	9.7	0.29
D2 (9-Marzo-08)	18.6	52.5	129.9	9.1	0.27
D3 (10-Marzo-08)	19.15	66.9	97	7.8	0.24
D4 (11-Marzo-08)	18.3	57.0	84.2	11.0	0.28
D5 (12-Marzo-08)	18.8	65.7	95.2	10.9	0.26

Haciendo una correlación de los parámetros se puede observar que se incremento al doble después de 24 horas, lo que pudiera ser un indicativo de la cristalización de la dolomita a yeso. El otro parámetro climatológico que tuvo cambio fue la dirección predominante del viento a partir del día dos en donde la dirección del viento permaneció entre 84 a 97°Azimut lo que indica que las partículas transportadas por el viento pudieran proceder de fuentes diferentes a las colectadas en los días 2 a 4.

El la figura 16 se presenta el rumbo predominante del viento durante el muestreo, noroeste lo que indica que los vientos erosionan las montañas y transportan los polvos provenientes de las pedreras de Santa Catarina hacia el centro de Monterrey. Con lo cual confirmamos que la dirección del viento

Sin duda estos tipos de estudios permiten tener una visión mas clara del peligro a que esta expuesta la sociedad es una herramienta clave para la planeación y prevención de las emisiones contaminantes.

Las partículas observadas con mas potencial dañino hacia la salud son las de carácter metálico como la hematita de diámetros finos menores a 5 micras que incluso pueden penetrar por la piel, y pueden ulcerar los tejidos de los vasos sanguíneos o alojarse en los alvéolos pulmonares provocando deficiencias respiratorias.

Finalmente confirmamos que con estas cuatro técnicas utilizadas y que están disponibles hoy en día en una buena parte de las universidades que realizan investigación, es posible conocer en forma clara las fuentes posibles de emisión y un conocimiento claro de la composición fisicoquímica de las PST. Una caracterización posterior con técnicas sofisticadas como PIXE y absorción atómica pudieran confirmar los resultados que arrojan estas técnicas de caracterización avanzada en este estudio. La conjunción de los monitoreos ambientales de los contaminantes criterio y los parámetros climatológicos pudieran potencializar la atribución de las fuentes emisoras así como la evolución de las partículas durante su trayecto en la atmósfera.

Referencias

- [1] Programa Diffrac Plus XRD Commander DiffractometerI,
- [2] H. Böke, E. Hale Göktürke, N. Emne, C. Saltık, Ş. Demirci, " Effect of airborne particle on SO₂ – Calcite reaction", *Appl. Surf. Sci.*, 140, (1999), 70-82
- [3] J. R. Cheng, J.R. Hwu, J.T. Kim, S. M. Leu, Deterioration of marble structures: the role of acid rain: *Analytical Chem.* 59(1987)104-106.
- [4] I. S. Rodriguez, C. Gali, Marcos, "Atmospheric inorganic aerosol of a non-industrial city in the centre of an industrial region of the North of Spain, and its possible influence on the climate on a regional scale", *Environ. Geol*, Springer, DOI 10.1007/s00254-008-1253-9
- [5] F. Goodarzi, "Morphology and chemistry of fine particles emitted from a Canadian coal-fired power plant, *Fuel*, 85, (2006), 273–280.

Conclusiones generales

[6] A. Aragón Piña, G. Torres Villaseñor, M. Monroy Fernandez, A. Luszczewski Kudra, R. Leyva Ramos, "Scanning electron microscope and statistical analysis of suspended heavy metal particles in San Luis Potosi, Mexico, Atmos. Environ., 34, (2000), 4103–4112.

[7] A. Aragón Piña, G. Torres Villaseñor, P. Santiago Jacinto, M. Monroy Fernández, "Scanning and Transmission Electron Microscope of Suspended Lead-Rich particles in the air of San Luis Potosi", México, Atmos. Environ., 36, (2002), 5235–5243.

con el propósito de disminuir y remediar la contaminación atmosférica. Existen múltiples estudios y programas enfocados al estudio, sin embargo de la emisión y caracterización de PST, la mayor parte de estas investigaciones se centran en estadísticas que co-relacionan brevemente estos estudios histórico-estadísticos con la composición química de las PST o bien con simulaciones de la dispersión de la emisión de las PST; sin prestar real importancia a los aspectos morfológicos y fisicoquímicos de las partículas colectadas en las estaciones de monitoreo, características fisicoquímicas de forma y tamaño nanométrico, su carácter orgánico metálico y microestructura pueden ser cruciales para conocer el daño ocasionado por estas PST. Como lo han mostrado algunos estudios relacionados a la morfología y microestructura de las PST, su caracterización fisicoquímica permite conocer el daño que pueden ocasionar a la población, así como también conocer la posible fuente de emisión. Teniendo conocimiento del lugar de donde provienen y con los estudios estadísticos se proporcionaría una herramienta invaluable para una más correcta prevención y disminución de las PST para cada ciudad en específico.

El medio ambiente de la ciudad de Monterrey, su carácter industrial y su acelerado crecimiento poblacional se encuentra en un entorno y zona de influencia de fuertes vientos que transporta polvos naturales provenientes de la Sierra Madre Oriental que es incrementado por la industria minera, cementera y de cerámica. El efecto de las partículas de origen antropogénicas y metalmeccánica en la zona urbana, fueron detectados con este estudio, por ello es de vital importancia el estudio presentado en esta tesis.

Conclusiones generales

En la actualidad el tema de calidad del aire en las ciudades es de gran importancia y preocupación mundial, por lo cual los grandes y pequeños países están considerando o adoptando medidas de control y prevenciones más estrictas, con el propósito de disminuir y remediar la contaminación atmosférica. Existen múltiples estudios y programas enfocados al estudio, sin embargo de la emisión y caracterización de PST, la mayor parte de estas investigaciones se centran en estadísticas que co-relacionan brevemente estos estudios histórico-estadísticos con la composición química de las PST o bien con simulaciones de la dispersión de la emisión de las PST; sin prestar real importancia a los aspectos morfológicos y fisicoquímicos de las partículas colectadas en las estaciones de monitoreo, características fisicoquímicas de forma y tamaño nanométrico, su carácter orgánico metálico y microestructura pueden ser cruciales para conocer el daño ocasionado por estas PST. Como lo han mostrado algunos estudios relacionados a la morfología y microestructura de las PST, su caracterización fisicoquímica permite conocer el daño que pueden ocasionar a la población, así como también conocer la posible fuente de emisión. Teniendo conocimiento del lugar de donde provienen y con los estudios estadísticos se proporcionaría una herramienta invaluable para una más correcta prevención y disminución de las PST para cada ciudad en específico.

El medio ambiente de la ciudad de Monterrey, su carácter industrial y su acelerado crecimiento poblacional se encuentra en un entorno y zona de influencia de fuertes vientos que transporta polvos naturales provenientes de la Sierra Madre Oriental que es incrementado por la industria minera, cementera y de cerámica. El efecto de las partículas de origen antropogénicas y metalmeccánica en la zona urbana, fueron detectados con este estudio, por ello es de vital importancia el estudio presentado en esta tesis.

Del 8 al 13 de marzo, se colectaron las muestras D1 a D5 en un punto crítico del centro de la Ciudad de Monterrey. El muestreo se hizo de acuerdo a la metodología presentada en la Norma NMX-SEMARNAT-035-1993. Los elementos encontrados que los elementos presentes en las muestras fueron Ca, Si, S, Cl, K, Ti, Fe, Na, Al, Mg, C, O. La caracterización obtenida permite identificar la contribución antropogénica provenientes del sector industrial situada en la Ciudad de Monterrey y en su Área Metropolitana; entre ellas la industria cementera, cerámica, metalúrgica, así como fuentes naturales. Los elementos Ca, Mg, S, Ti y Fe, provienen probablemente de suelos erosionados (montañas, llanos e incluso calles y avenidas) aunque parte del origen del Fe encontrado, de acuerdo a su morfología, posiblemente sea generado por la industria de la fundición, herrerías, industria de la laminación y la industria metalmeccánica. Las concentraciones estimadas se encuentran por debajo de los niveles normados (NOM-025-SSAI-1993, PST $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas, PM_{10} $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas, $\text{PM}_{2.5}$ promedio de 24 horas). Los elementos como C y Fe, son debido a fuentes antropogénicas como emisiones de combustión incompleta o chimeneas de industrias y partículas de morfología poco habitual de la quema de basura a cielo abierto.

El conjunto de técnicas de caracterización empleadas en la caracterización del m. Cabe remarcar que los experimentos y monitoreos realizados en la presente tesis, no permiten atribuir correctamente las posibles fuentes de emisión de PST. Para una correcta atribución de fuentes en la zona de estudio, sería necesario levantar monitoreos en otros puntos para contar con mayores datos y además validar la forma de monitoreo, es decir si afectan el emplear un sistema de alto volumen por más 24hrs, y justificar que el obtener más cantidad de muestreo no influye en la caracterización de los PST, así como también la reproducibilidad y la forma como se colocaron los monitoreos. Algunos de estos puntos no están considerados en la NMX-035-SEMARNAT-1993. Este trabajo permite cuestionar que la NMX-035-SEMARNAT-1993 tiene que especificar si un solo muestreador es suficiente para cuantificar la cantidad de muestra colectada

además no especifica algunos otros parámetros como la altura a la que debe de estar colocado el muestreador y la distancia entre muestreadores.

Es importante legislar las emisiones de partículas finas $PM_{2.5}$ y $PM_{1.0}$ en la Ciudad de Monterrey debido a que su concentración, su morfología y el carácter metálico es un peligro inminente para la población de Monterrey y su área Metropolitana, así como para los ecosistemas existentes en la zona industrial. Es importante considerar la emisión de partículas finas ($PM_{2.5}$) en los programas de prevención y control de la contaminación en la ciudad de Monterrey. Este tipo de partículas ya son legisladas en los estados unidos por la EPA.

En este trabajo evidenciamos el uso de técnicas no tan sofisticadas (UV-Vis, DRX, IR-TF, SEM-EDS), disponibles normalmente en cualquier universidad, para la caracterización fisicoquímica de las PST colectadas en la Ciudad de Monterrey logrando establecer una correlación de dichas propiedades con las posibles fuentes emisoras, además de conocer el daño que podrían causar debido a su tamaño, composición y forma.

El conjunto de técnicas de caracterización empleadas en la caracterización del material particulado colectado en la Ciudad de Monterrey proporciona una información valiosa para conocer las posibles fuentes y daños que pudieran causar este tipo de emisiones antropogénicas y naturales que se incrementan a la par de las actividades económicas de una ciudad industrial. Las partículas muy finas (menores a 2.5 micras) pueden ser muy peligrosas y causar úlceras en el organismo o enfisemas pulmonares. Además que pueden introducirse fácilmente al organismo humano.

Sin duda estos tipos de estudios permiten tener una visión mas clara del peligro a que esta expuesta la sociedad es una herramienta clave para la planeación y prevención de las emisiones contaminantes de PST.

Las partículas observadas con más potencial dañino hacia la salud son las de carácter metálico como la hematita de diámetros finos menores a 5 micras que incluso pueden penetrar por la piel, y pueden ulcerar los tejidos de los vasos sanguíneos o alojarse en los alvéolos pulmonares provocando deficiencias respiratorias y que combinadas con material carbonoso puede tener propiedades cancerígenas.

El clima afecta la vida en Monterrey de muchas maneras. El aire acondicionado es esencial en una ciudad con clima semiárido, aunque desafortunadamente se ha extendido en edificios públicos y privados confundiendo la necesidad con el confort y lujo. El clima también determina la escasez relativa de los árboles altos dentro de la ciudad. El uso de vehículos automotores se incrementa día a día lo cual requiere la combustión de gasolinas y diesel, es decir mayor emisión de hidrocarburos que según nuestros resultados son partículas finas de carbono (menos a 5 micras), aunado a esto el crecimiento desmedido de la ciudad provoca la necesidad de materiales para la construcción de nuevas casas y carreteras, por ende la explotación de bancos de arena y piedra caliza.

Las técnicas de UV-Vis e IR-TF fueron empleadas para la caracterización de partículas suspendidas totales permitieron identificar las partículas que se encuentran en menor porcentaje, como los óxidos metálicos y los grupos orgánicos y inorgánicos (carbonatos y silicatos, aluminosilicatos).

La identificación de las fases por DRX es mejor si se tiene mayor cantidad de muestra, esto se obtuvo aumentando el periodo de colección de partículas suspendidas totales. En conjunción con las otras técnicas se observó que este hecho no influye y que puede ser válido. Contar con mayor cantidad de muestra ayudó a observar por DRX las fases presentes en menor porcentaje, hematita y yeso, fases cristalinas que con el muestreo habitual no son posibles de

observarse. Esto se correlacionó con estudios que tratan con la evolución de partículas en diferentes ambientes.

Entonces es posible tener una caracterización completa, una herramienta que permita conocer las posibles fuentes y peligrosidad de la PST, esto sin el uso directo de técnicas sofisticadas de difícil acceso y de alto costo, técnicas como microscopias de alta resolución o técnicas sofisticadas de inducción de rayos X por partículas alfa (PIXE) o análisis químico de materiales en muy bajas concentraciones. Si se requieren datos precisos entonces ya se utilizan estas técnicas.

NOM-035-SEMARNAT-1993

Se encontró que la mayor parte de las partículas suspendidas totales estudiadas en este proyecto, contienen estructuras esféricas de óxido de hierro y micropartículas de carbón, las partículas semiesféricas son principalmente aluminosilicatos y carbonatos de calcio. En general las partículas suspendidas totales colectadas son partículas del tipo PM_{10} , $PM_{2.5}$ y $M_{1.0}$.

Las fuentes de las partículas suspendidas totales son tentativamente; yeso, fabricación de cemento, aluminosilicatos. La calcita; de la piedra que tritura en la industria de extracción de materias prima de cerámicos (cemento crudo y fabricación de cerámica) y de la erosión natural de los vientos en las montañas. El óxido de hierro de la industria del acero, emisiones industriales y finalmente las micropartículas de carbón son emitidas principalmente de los escapes de los vehículos y de la combustión de diesel que no tuvieron una combustión completa. Lo anterior es la correlación de las empresas existentes en los alrededores, los monitoreos proporcionados por el SIMA y los resultados de la caracterización de las PST obtenidos.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-035-SEMARNAT-1993 QUE ESTABLECE LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN EL AIRE AMBIENTE Y EL PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.

ANEXO I

CON BASE EN EL **NOM-035-SEMARNAT-1993** SE REFORMA LA NOMENCLATURA DE LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS EXPEDIDAS POR LA SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, ASÍ COMO LA RATIFICACIÓN DE LAS MISMAS PREVIA A SU REVISIÓN QUINQUENAL, PUBLICADO EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN EL 23 DE ABRIL DE 2003.

SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL

NORMA OFICIAL MEXICANA

NOM-035-ECOL-1993

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-035-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS 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.

(PUBLICADA EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN EL DIECIOCHO DE OCTUBRE DE MIL NOVECIENTOS NOVENTA Y TRES)

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-035-SEMARNAT-1993 QUE ESTABLECE LOS 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.

CON BASE EN EL ACUERDO POR EL CUAL SE REFORMA LA NOMENCLATURA DE LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS EXPEDIDAS POR LA SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, ASÍ COMO LA RATIFICACIÓN DE LAS MISMAS PREVIA A SU REVISIÓN QUINQUENAL, PUBLICADO EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN EL 23 DE ABRIL DE 2003.

SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL

NORMA OFICIAL MEXICANA

NOM-035-ECOL-1993

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-035-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS METODOS DE MEDICION PARA DETERMINAR LA CONCENTRACION DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN EL AIRE AMBIENTE Y EL PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACION DE LOS EQUIPOS DE MEDICION.

(PUBLICADA EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN EL DIECIOCHO DE OCTUBRE DE MIL NOVECIENTOS NOVENTA Y TRES)

SERGIO REYES LUJAN, Presidente del Instituto Nacional de Ecología, con fundamento en los artículos 32 fracción XXV de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracción VIII, 8o. fracciones II y VII, 9o. apartado A) fracción V, 36, 43, 111 fracción III, 112 fracción VI, 160 y 171 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 7o. fracciones II y VI, 42 y 43 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 43, 46, 47, 52, 62, 63 y 64 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización; Primero y Segundo del Acuerdo por el que se delega en el Subsecretario de Vivienda y Bienes Inmuebles y en el Presidente del Instituto Nacional de Ecología, la facultad de expedir las normas oficiales mexicanas en materia de vivienda y ecología, respectivamente, y

SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL
Instituto Nacional de Ecología
CONSIDERANDO

Que la evaluación de la calidad del aire en los asentamientos humanos para efectos de difusión o información al público o cuando los resultados tengan validez oficial, requiere que los equipos de las estaciones y los sistemas de monitoreo, apliquen métodos homogéneos y confiables de medición para cada contaminante.

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el C. Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental ordenó la publicación del proyecto de norma oficial mexicana NOM-PA-CCAM-002/93, que establece los 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, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 23 de junio de 1993 con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo.

Que la Comisión Nacional de Normalización determinó en sesión de fecha 1º de julio de 1993, la sustitución de la clave **NOM-PA-CCAM-002/93**, con que fue publicado el proyecto de la presente norma oficial mexicana, por la clave **NOM-035-ECOL-1993**, que en lo subsecuente la identificará.

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Que durante el plazo de noventa días naturales contados a partir de la fecha de la publicación de dicho proyecto de norma oficial mexicana, los análisis a que se refiere el artículo 45 del citado ordenamiento jurídico, estuvieron a disposición del público para su consulta.

CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACION (CANACINTRA)

ENVASES ZACATECAS, S.A. DE C.V.

Que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización, realizándose las modificaciones procedentes. La Secretaría de Desarrollo Social, por conducto del Instituto Nacional de Ecología, publicó las respuestas a los comentarios recibidos en la Gaceta Ecológica, Volumen V, número especial de octubre de 1993.

PROCTER & GAMBLE DE MEXICO, S.A. DE C.V.

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 23 de septiembre del año en curso, he tenido a bien expedir la siguiente

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-035-ECOL-1993, QUE ESTABLECE LOS METODOS DE MEDICION PARA DETERMINAR LA CONCENTRACION DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN EL AIRE AMBIENTE Y EL PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACION DE LOS EQUIPOS DE MEDICION.

P R E F A C I O

En la elaboración de esta norma oficial mexicana participaron:

- **SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL**
Instituto Nacional de Ecología
- **SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL**
Subsecretaría de Minas e Industria Básica
Comisión Nacional para el Ahorro de Energía
- **DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL**
Dirección General de Proyectos Ambientales
- **GOBIERNO DEL ESTADO DE MEXICO**
Secretaría de Ecología
- **PETROLEOS MEXICANOS**
Auditoría de Seguridad Industrial, Protección Ambiental y Ahorro de Energía
Gerencia de Protección Ambiental y Ahorro de Energía
Pemex-Gas y Petroquímica Básica
Gerencia de Seguridad Industrial y Protección Ambiental
Gerencia de Protección Ambiental
- **INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**
- **CONFEDERACION PATRONAL DE LA REPUBLICA MEXICANA (COPARMEX)**
- **CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACION (CANACINTRA)**
- **ENVASES ZACATECAS, S.A. DE C.V.**
- **TAPAS Y TAPONES DE ZACATECAS, S.A. DE C.V..**
- **PINTURAS DE LARAPLAS, S.A.**
- **PROCTER & GAMBLE DE MEXICO, S.A. DE C.V.**
- **SERVICIOS PROFESIONALES EN CONTROL DE CONTAMINANTES, S.A.**

1. OBJETO

Esta norma oficial mexicana establece el método de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales (PST) en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición.

4.6 Método de referencia

El procedimiento de análisis y medición descrito en una norma oficial mexicana, que debe aplicarse para determinar la concentración de un contaminante en el aire ambiente y que sirve también, en su equivalente, cuando éste se haya establecido por la Secretaría.

2. CAMPO DE APLICACION

Esta norma oficial mexicana es de observancia obligatoria en la operación de los equipos, estaciones o sistemas de monitoreo de la calidad del aire con fines de difusión o información al público o cuando los resultados tengan validez oficial.

El conjunto de estaciones de monitoreo.

3. REFERENCIAS

NMX-AA-23 Terminología

5. SIMBOLOS

5.1 Notación

4. DEFINICIONES

Símbolo Concepto

4.1 Aire ambiente

C_0 Paso final del filtro expuesto en g

Atmósfera en espacio abierto.

C_1 Paso final del filtro limpio en g

A_0 Lectura del manómetro del orificio.

4.2 Condiciones de referencia

P_0 Presión patrón 101 kPa ó 760 mm Hg.

La temperatura y presión barométrica a que se deben corregir los resultados de los muestreos y análisis de un contaminante en el aire. Estas condiciones son: temperatura 298 K (25°C) y presión barométrica 101 kPa (760 mm de Hg).

PST Concentración de la masa de partículas suspendidas

4.3 Equipo de calibración

C_{ref} Concentración patrón en microgramos

El dispositivo o conjunto de dispositivos que permiten establecer el patrón de referencia contra el que se compara la operación del equipo de medición.

ΔP Caída de presión a la entrada del medidor de volumen en kPa o mm Hg.

4.4 Equipo de medición

Q_0 Caudal de flujo volumétrico patrón en m^3_{ref}/min .

El conjunto de dispositivos instrumentales necesarios para medir la concentración de un contaminante.

Temperatura patrón 298 K (25°C).

4.5 Estación de monitoreo

El conjunto de elementos técnicos diseñados para medir la concentración de contaminantes en el aire en forma simultánea, con el fin de evaluar la calidad del aire en una área determinada.

4.6 Método de referencia

El procedimiento de análisis y medición descrito en una norma oficial mexicana, que debe aplicarse para determinar la concentración de un contaminante en el aire ambiente y que sirve también, en su caso, para contrastar el método equivalente, cuando éste se haya establecido por la Secretaría.

4.7 Sistema de monitoreo

El conjunto de estaciones de monitoreo.

5. SIMBOLOS

5.1 Notación

Símbolo	Concepto
---------	----------

G_f	Peso final del filtro expuesto en g.
-------	--------------------------------------

G_i	Peso inicial del filtro limpio en g.
-------	--------------------------------------

ΔH	Lectura del manómetro del orificio.
------------	-------------------------------------

P_{ptn}	Presión patrón 101 kPa ó 760 mm Hg.
-----------	-------------------------------------

P_1	Presión barométrica durante la calibración en kPa o mm Hg.
-------	--

P_3	Presión barométrica promedio durante el período de muestreo en kPa o mm Hg.
-------	---

PST	Concentración de la masa de partículas suspendidas totales en (μg).
-----	--

$(PST)_a$	Concentración actual en condiciones de campo en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
-----------	--

ΔP	Caída de presión a la entrada del medidor de volumen en kPa o mm Hg.
------------	--

Q_{ptn}	Velocidad de flujo volumétrico patrón en $\text{m}^3_{ptn}/\text{min}$.
-----------	--

t	Tiempo transcurrido en min.
---	-----------------------------

T_{ptn}	Temperatura patrón 298 K (25°C).
-----------	----------------------------------

T_1	Temperatura ambiente durante la calibración en K.
T_3	Temperatura ambiente promedio durante el período de muestreo en K.
V	Volumen de aire muestreado, convertido a condiciones patrón o de referencia en m^3_{ptn} .
V_m	Volumen real medido por el medidor de volumen patrón en m^3 .
V_{ptn}	Volumen patrón en m^3_{ptn} .
V_1	Lectura inicial del medidor.
V_2	Lectura final del medidor.
10^6	Conversión de g a μg .

5.2 Unidades

Símbolo	Unidad
$^{\circ}C$	Grados Celsius
cm	Centímetro
h	Hora
K	Grados Kelvin
Pa	Pascales
m	Metro
m^3	Metro cúbico
mg	Miligramo
min	Minuto
mm de Hg	Milímetros de mercurio
s	Segundo
μg	Microgramo
μm	Micrómetro

6. METODO DE REFERENCIA

6.1 El método de referencia para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente, es el de muestreo de alto volumen.

6.2 Principio y descripción del método de referencia

6.2.1 El método de referencia, permite medir la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente, por medio de un muestreador adecuadamente localizado, que succiona a través de un filtro una cantidad determinada de aire ambiente hacia el interior de una caseta o coraza de protección, durante un período de muestreo de 24 hrs. La velocidad de flujo del aire ambiente y la geometría del muestreador son tales que favorecen la recolección de partículas hasta de 50 micrómetros (μm) de diámetro aerodinámico, dependiendo de la velocidad del viento y su dirección. Los filtros usados deben tener una eficiencia de recolección mínima del 99 % para partículas de 0.3 μm .

6.2.2 En este método, el filtro se pesa en el laboratorio bajo condiciones de humedad y temperatura controladas, antes y después de su uso, para determinar su ganancia neta de peso (masa). El volumen total de aire muestreado, corregido a las condiciones de referencia, se determina a partir del flujo de aire ambiente medido y del tiempo de muestreo. La concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente se calcula dividiendo la masa de las partículas recolectadas entre el volumen de aire muestreado y se expresa en microgramos por metro cúbico patrón ($\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{ptn}}$), corregidos a las condiciones de referencia.

6.2.3 En muestras tomadas a temperaturas y presiones barométricas que difieren significativamente de las condiciones de referencia, las concentraciones corregidas pueden variar de las concentraciones reales ($\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{real}}$), sobre todo a elevadas altitudes. Las concentraciones reales de partículas pueden ser calculadas a partir de las concentraciones corregidas, utilizando las temperaturas y presiones que se hayan presentado durante el período de muestreo.

Si la velocidad de flujo se altera sustancialmente o de manera no uniforme durante el periodo de muestreo, puede ocurrir un error muy importante al utilizar el promedio de las velocidades de flujo inicial y final. Se puede lograr una mayor confiabilidad en la medición del volumen del aire de la siguiente manera:

7. PROCEDIMIENTO DE MEDICION

7.1 Para determinar la concentración de partículas suspendidas totales conforme al método de referencia, se observarán las siguientes condiciones:

Utilizando un mecanismo de registro de flujo continuo, calibrado durante el periodo de muestreo e integrando matemáticamente la velocidad de flujo durante dicho periodo.

7.1.1 Rango de medición

El rango de las concentraciones para aplicar este método es de 2 a 750 $\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{ptn}}$. El volumen de aire total muestreado durante el periodo de muestreo. Se podrá utilizar un registrador continuo de flujo, en caso de no disponer de un controlador de flujo constante.

7.1.2 El límite superior está determinado por el punto en el cual el muestreador no puede mantener la velocidad de flujo especificado, debido al incremento en la caída de presión del filtro cargado. Este punto es alterado, entre otros factores, por la distribución del tamaño de partículas, el contenido de humedad de las partículas colectadas y la variabilidad de un filtro a otro. El límite inferior es determinado por la sensibilidad de la balanza y por fuentes inherentes de error del muestreo.

Partículas artificiales. Se pueden llegar a formar partículas a partir de los gases ácidos de la

7.1.3 A velocidades de viento que oscilan entre 1.3 y 4.5 m/s se ha encontrado que el muestreador de alto volumen colecta partículas de 25 a 50 μm , dependiendo de la dirección del viento. periodo de

7.2 Precisión

7.2.5 Exactitud. Los filtros de fibra de vidrio son relativamente estables ante los cambios de la De acuerdo a los resultados de diversas pruebas, el coeficiente de variación para una precisión de un único analista (repetibilidad) es de 3%. El valor correspondiente para una precisión interlaboratorios (reproducibilidad) es de 3.7%.

7.3 Fuentes inherentes de error e interferencia

7.3.1 Variación en el flujo de aire. El peso del material colectado en el filtro, representa la sumatoria del producto del gasto volumétrico instantáneo por la concentración instantánea durante el período de muestreo. Por lo tanto, dividiendo el peso entre la velocidad de flujo promedio por el tiempo de muestreo se obtiene la concentración real de partículas, solamente cuando la velocidad de flujo es constante. El error resultante de una velocidad a flujo variable depende de la magnitud de los cambios instantáneos en el mismo y en la concentración de las partículas.

7.3.2 Medición del volumen de aire. Si la velocidad de flujo se altera sustancialmente o de manera no uniforme durante el período de muestreo, puede ocurrir un error muy importante al utilizar el promedio de las velocidades de flujo inicial y final. Se puede lograr una mayor confiabilidad en la medición del volumen del aire de la siguiente manera:

7.3.2.1 Baja resolución de los puntos de inicio.

7.3.2.1 Equipando el muestreador con un mecanismo de control de flujo que mantenga un flujo de aire constante durante el período de muestreo.

7.3.2.2 Utilizando un mecanismo de registro de flujo continuo, calibrado durante el período de muestreo e integrando matemáticamente la velocidad de flujo durante dicho período.

7.3.2.3 Utilizando cualquier otro procedimiento que registre fielmente el volumen de aire total muestreado durante el período de muestreo. Se podrá utilizar un registrador continuo de flujo, en caso de no disponer de un controlador de flujo constante.

7.3.3 Pérdida de partículas volátiles. Las partículas volátiles recogidas en el filtro pueden perderse durante el muestreo subsecuente o durante el envío posterior, durante el almacenamiento del filtro antes de pesarse o después del muestreo. Aunque tales pérdidas son en gran medida inevitables, para reducir el error, el filtro se debe pesar tan pronto como sea posible después del muestreo.

7.3.4 Partículas artificiales. Se pueden llegar a formar partículas a partir de los gases ácidos de la muestra de aire y el material alcalino del filtro, lo cual incrementaría la concentración real de partículas suspendidas totales. De ocurrir ésto, generalmente se presenta al inicio del período de

muestreo y es una función del pH del filtro y la presencia de los gases ácidos. Este efecto cobra importancia cuando se presentan partículas de peso relativamente pequeño.

7.3.5 Humedad. Los filtros de fibra de vidrio son relativamente estables ante los cambios de la humedad relativa, pero las partículas colectadas pueden ser higroscópicas. El procedimiento de acondicionamiento de humedad puede minimizar, pero no eliminar completamente el error debido a ésta.

7.3.6 Manejo del filtro. El manejo cuidadoso del filtro entre el peso anterior y posterior al muestreo es necesario para evitar errores debido a la pérdida de fibras o partículas del filtro. Un cartucho o envase de protección del filtro puede reducir los errores por transportación.

7.3.7 Partículas no muestreadas. Es posible que el viento deposite partículas en el filtro durante el período en que no se muestrea. Para minimizar esta fuente de error, se debe usar un dispositivo mecánico automático que mantenga el filtro cubierto mientras no se muestrea o mediante una instalación y retiro programado de los filtros, para reducir los períodos no muestreados antes y después de la operación.

7.3.8 Errores por el tiempo de muestreo. Los muestreadores generalmente se controlan mediante relojes que activan el muestreador a la media noche. Los errores en el período nominal de muestreo de 1,440 minutos pueden deberse a interrupciones en la energía o a discrepancias en el tiempo de inicio y terminación del muestreo. Estas discrepancias pueden ser originadas por:

7.3.8.1 Baja resolución de los puntos de inicio.

7.3.8.2 Error por fallas en la energía eléctrica.

7.3.8.3 Manejo incorrecto del dispositivo de control de tiempo.

7.3.8.4 Mal funcionamiento del dispositivo de control de tiempo.

7.3.8.5 Dispositivos de control de tiempo. Tienen mucho mejor resolución los dispositivos de control de tiempo digitales que los mecánicos, pero requieren un sistema de baterías, como apoyo en caso de falla de energía eléctrica. Se recomienda el uso de un registrador continuo o un medidor de tiempo transcurrido, esto proporciona una indicación del funcionamiento del muestreador, así como de cualquier interrupción de la energía eléctrica durante el período de muestreo.

7.3.9 Recirculación del aire muestreado. Cuando existen condiciones de estabilidad atmosférica, es posible que parte del mismo aire sea remuestreado. Parece que este efecto no altera considerablemente la medición de partículas, aunque puede producir un incremento en la recolección de carbón y cobre. Este problema puede evitarse canalizando el aire muestreado viento abajo y lejos del muestreador.

8. EQUIPO DE MEDICION

Para la aplicación del método de referencia se requiere de un muestreador de alto volumen, (ver anexo 1), con el siguiente equipo:

8.1 Filtro

8.1.1 Tamaño.- $20.3 \pm 0.2 \times 25.4 \pm 0.2$ cm.

8.1.2 Área expuesta.- 406.5 cm^2

8.1.3 Material.- Fibra de vidrio u otro material inerte no higroscópico.

8.1.4 Eficiencia de colección.- 99% mínimo para partículas de $0.3 \mu\text{m}$ de diámetro¹.

8.1.5 Rango de la caída de presión.- 5.6 a 7.2 kPa (42 a 54 mm Hg), a un flujo de $1.5 \text{ m}^3_{\text{ptn}}/\text{min}$ a través del área expuesta.

8.1.6 Potencial de hidrógeno.- Con un rango de 6 a 10

8.1.7 Pérdida máxima de material del filtro.- 2.4 mg

8.1.8 Perforaciones.- No debe presentar ninguna

8.1.9 Resistencia a la tensión.- 500 g para una tira de 2 cm de ancho ²

8.2 Muestreador

8.2.1 El muestreador deberá disponer de medios para:

8.2.1.1 Fijar y sellar el filtro dentro de la coraza del muestreador.

8.2.1.2 Permitir el adecuado cambio del filtro.

8.2.1.3 Evitar fugas que puedan producir errores en la medición del aire filtrado.

8.2.1.4 Permitir el ajuste manual del flujo para compensar las variaciones en la caída de presión del filtro por fallas en la línea de voltaje y la altitud del sitio. Dicho ajuste puede efectuarse mediante un controlador de flujo manual o automático. Cualquier dispositivo de ajuste manual deberá estar diseñado de tal manera que evite cambios accidentales de las características operacionales.

8.2.2 El mínimo de la velocidad de flujo en un filtro colmatado es de $1.1 \text{ m}^3/\text{min}$.

8.2.3 El máximo de la velocidad de flujo en un filtro limpio es de $1.7 \text{ m}^3/\text{min}$.

8.2.4 El motor de succión debe ser capaz de funcionar por 24 horas continuas.

8.5 Termómetro.

Ver ASTM D-2986
para indicar la temperatura aproximada del aire en el orificio de medición de la velocidad
cuando se requiera hacer correcciones por temperatura. Con un rango de -40 a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ y
una resolución de $2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ver ASTM D 828 - 60

8.3 La coraza del muestreador

8.3.1 La coraza del muestreador deberá contar con los siguientes requisitos:

8.3.1.1 Mantener el filtro en una posición horizontal por lo menos un metro por arriba de la superficie de apoyo del muestreador, de modo que la muestra de aire sea drenada a través del filtro y hacia abajo.

8.3.1.2 Debe ser rectangular con una cubierta como la que se muestra en el anexo 1.

8.3.1.3 Cubrir y proteger adecuadamente el filtro y al muestreador de la lluvia y otros elementos del clima.

8.3.1.4 Desalojar el aire filtrado por lo menos a una distancia de 40 cm de la entrada al ducto.

8.3.1.5 Estar diseñado de modo que minimice la recolección de polvo de la superficie del apoyo, adaptando una protección entre el ducto de salida del aire y la superficie de apoyo.

8.3.2 La cubierta del muestreador debe exceder la careta según se muestra en el anexo 1 y estar montada de modo que se forme un conducto para la entrada del aire entre la cubierta y las paredes de la careta.

Este ducto de entrada debe ser uniforme en todos sus lados y con suficiente área para permitir una captura efectiva de partículas, a una velocidad del aire entre 20 y 35 centímetros por segundo o sea la velocidad de flujo recomendada.

La velocidad de captura corresponde a la velocidad de flujo de la muestra de aire dividida entre el área del ducto de entrada, medida en un plano horizontal en el borde inferior de la cubierta. Se debe seleccionar un área del ducto y una velocidad de flujo operacional que permita una velocidad del aire de captura de 25 ± 2 cm/s.

8.4 Dispositivo para la medición de flujo

8.4.1 El muestreador debe disponer de un medidor de flujo capaz de indicar su velocidad de flujo total. Dos tipos comunes de indicadores de flujo incluidos en el procedimiento de calibración son: 1) el flujómetro másico electrónico. 2) un orificio u orificios, colocados en el trayecto de la corriente del aire junto con un medidor de presión (anexo 2).

8.4.2 El medidor de flujo puede ser calibrado y leído en las unidades de velocidad de flujo con una aproximación de $0.02 \text{ m}^3_{\text{ptn}}/\text{min}$, dentro de un rango de 1.0 a $1.8 \text{ m}^3_{\text{ptn}}/\text{min}$.

8.5 Termómetro.

Instrumento para indicar la temperatura aproximada del aire en el orificio de medición de la velocidad de flujo, cuando se requiera hacer correcciones por temperatura. Con un rango de - 40 a 50 °C y una resolución de 2 °C.

8.6 Barómetro

Instrumento para indicar la presión barométrica en el orificio de medición de la velocidad de flujo, cuando se requiera hacer correcciones por presión. Con un rango de 66 a 106 kPa (500 a 800 mm de Hg), con una resolución de ± 0.6 kPa (5 mm de Hg).

8.7 Dispositivo de control de tiempo

Este debe ser capaz de iniciar y detener el muestreo, con el fin de obtener un tiempo de operación de 24 ± 1 h ($1,440 \pm 60$ min) y una confiabilidad de ± 15 min.

8.8 Patrón de transferencia de velocidad de flujo calibrado con un patrón primario.

8.8.1 Dispositivo que debe tener un rango de velocidad de flujo aproximado de 1.0 a 1.8 m³/min.

8.8.2 Una resolución de 0.02 m³/min.

8.8.3 Reproducibilidad de ± 2 % sobre los rangos normales de temperatura y presión ambiente, para el rango de la velocidad de flujo establecido.

8.8.4 La máxima caída de presión a 1.7 m³_{ptn}/min será de 5 kPa (50 cm de agua).

8.8.5 El patrón de transferencia de la velocidad de flujo, debe conectarse sin fugas al ducto de entrada del muestreador y medir la velocidad de flujo de la muestra total de aire ambiente.

8.8.6 El patrón de transferencia de la velocidad de flujo, debe incluir los mecanismos para variar la velocidad de flujo del muestreador dentro de los rangos de 1.0 a 1.8 m³/min, mediante la introducción de diferentes niveles de resistencia del flujo, entre el muestreador y el ducto del patrón de transferencia.

8.8.7 El tipo convencional de un patrón de transferencia de velocidad de flujo, consiste de lo siguiente: una unidad de orificio con adaptador que se acople a la entrada del muestreador; un manómetro u otro dispositivo que mida la caída de presión en el orificio; un dispositivo que permita variar los flujos a través de la unidad de muestreo; un termómetro para medir la temperatura ambiente; y un barómetro para medir la presión ambiente (ver anexo 2).

8.9 Acondicionamiento ambiental del filtro

8.9.1 La temperatura controlada debe ser entre 15 y 30°C con un máximo de ± 3 °C de variación durante el período de equilibrio.

8.9.2 La humedad debe controlarse en un nivel menor del 50% de humedad relativa constante dentro de ± 5 %.

8.9.3 Balanza analítica. La sensibilidad de la balanza analítica debe ser de 0.01 mg. La cámara de pesado debe estar diseñada para que pueda ser introducido un filtro sin doblar.

8.9.4 Unidad luminosa de inspección. La fuente de luz debe ser similar a la de un visor de películas de rayos X para la inspección de los filtros.

8.9.5 Se debe disponer de un foliador para numerar los filtros antes de que se coloquen en la cámara de acondicionamiento ambiental, en caso de no estar numeradas por el fabricante.

9. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO DEL METODO DE REFERENCIA

El procedimiento de muestreo del método de referencia, se lleva a cabo de la siguiente manera:

9.1 Numerar cada filtro en dos orillas opuestas de la cara que no va a ser expuesta, si no está numerado previamente por el fabricante.

9.2 Inspeccionar a contra luz cada filtro para detectar posibles orificios u otras imperfecciones. Deben descartarse los filtros con imperfecciones evidentes.

9.3 Mantener en condiciones ambientales controladas al filtro por lo menos durante 24 horas.

9.4 Después del paso anterior, pesar cada filtro llevando la fracción al miligramo más cercano y registrar el peso neto del filtro (G_i) junto con el número del filtro.

9.5 No doblar o maltratar el filtro antes de coleccionar la muestra.

9.6 Levantar la cubierta e instalar el filtro preparado y numerado en el muestreador siguiendo las especificaciones del fabricante. Cuando las condiciones climáticas sean adversas, deben tomarse precauciones adicionales al cambiar los filtros para evitar dañar los limpios y la pérdida de muestra del filtro cargado. Los envases de filtros pueden minimizar estos problemas.

9.7 Cerrar la tapa y poner a funcionar el muestreador por lo menos durante 5 min, a fin de lograr la temperatura de operación.

9.8 Registrar la lectura del indicador de flujo y en caso necesario, la presión barométrica (P_3) y la temperatura ambiente (T_3). Detener el muestreador y determinar la velocidad de flujo del muestreador; si está fuera del rango aceptable (1.1 a 1.7 m^3/min) utilizar otro filtro o ajustar la velocidad de flujo del muestreador. Ajustes sustanciales pueden afectar la calibración.

9.9 Registrar la información que identifique el muestreador (número de filtro, sitio, fecha del muestreo y hora de inicio).

9.10 Poner el dispositivo de control de tiempo para activar y detener el muestreador, de modo que funcione 24 horas, tomando como base la media noche.

9.11 Poner a funcionar el muestreador por lo menos durante 5 min, para establecer nuevamente la temperatura de operación, tan pronto como sea posible después del período de muestreo y sin retirar la muestra.

9.12 Registrar la lectura del indicador de flujo y en caso necesario, la presión barométrica (P_3) y la temperatura ambiental (T_3).

9.13 Detener el muestreador y quitar cuidadosamente el filtro. Tocar únicamente los bordes del filtro. Doblar el filtro a lo largo, de modo que solamente se toquen entre sí las superficies con partículas colectadas y colocarlo dentro de un sobre de papel manila.

9.14 Anotar la hora de término y el tiempo transcurrido en la hoja de registro del filtro. El período de muestreo debe ser de $1,440 \pm 60$ min para que la muestra sea válida.

9.15 Anotar en la hoja de registro del filtro todos los factores de interés, como las condiciones meteorológicas, actividades de construcción, tormentas de arena, entre otras, que pudieran afectar la medición. En caso de que la muestra sea defectuosa desecharla.

9.16 Permita que el filtro alcance el equilibrio a condiciones ambientales por lo menos 24 horas.

9.17 Inmediatamente después del acondicionamiento, pese el filtro llevando la fracción al miligramo más cercano y registrar el peso neto del filtro (G_f) junto con el número del filtro.

10. CALIBRACION DEL EQUIPO DE MEDICION

10.1 Los procedimientos para la calibración del muestreador de alto volumen son:

10.1.1 Calibración en laboratorio.

La calibración del equipo muestreador en el laboratorio, se realiza con base en un patrón de transferencia de velocidad de flujo a la entrada del medidor del volumen patrón y utiliza una bomba de aire de alto volumen, en la cual se detecta cualquier cambio en las lecturas del medidor del volumen patrón, para llevar a cabo la corrección por filtración o por fuga de aire.

10.1.2 Calibración en campo.

Los muestreadores equipados con un dispositivo de control de flujo, deben eliminar temporalmente el controlador para permitir los cambios de flujo durante la calibración del indicador de flujo. Los muestreadores con indicador de flujo tipo orificio, no deben alterar la velocidad de flujo por ajuste del voltaje o energía que se suministra al muestreador.

10.1.3 Calibración de muestreadores con flujo controlado.

Un muestreador de flujo controlado no debe ser calibrado si sus antecedentes demuestran que la velocidad de flujo es estable y confiable. En este caso el indicador de flujo se mantiene descalibrado, pero debe utilizarse para indicar cualquier cambio relativo entre el flujo inicial y final, el muestreador debe recalibrarse más a menudo para reducir pérdidas potenciales de muestras debido a fallas del controlador.

10.2 Calibración de los indicadores de flujo o dispositivos de control de los muestreadores de alto volumen. Es necesario para establecer la tendencia de medición en el campo de un patrón primario mediante un patrón de transferencia. El anexo 4a ilustra el certificado del patrón de transferencia, el 4b ilustra su uso en la calibración de un indicador de flujo del muestreador.

10.3 Certificación del patrón de transferencia para la velocidad de flujo.

10.3.1 Componentes y características del equipo necesario.

10.3.1.1 Los principales componentes del equipo de calibración a que se refiere el punto anterior, se muestran en el anexo 3, y deben reunir las siguientes características:

10.3.1.1.1 Medidor de volumen patrón de desplazamiento positivo

El dispositivo que permite por comparación establecer el volumen desplazado por un fluido, hasta ocupar el mismo espacio y que sirve de base para calibrar los patrones de transferencia.

10.3.1.1.2 Cronómetro

El instrumento para medir el tiempo en términos de minutos, segundos, décimas y centésimas de segundo.

10.3.1.1.3 Barómetro

El instrumento para medir la presión barométrica ± 1 mm Hg.

10.3.1.1.4 Termómetro

El instrumento para medir la temperatura $\pm 1^\circ\text{C}$.

10.3.1.1.5 Manómetro

El instrumento para medir la caída de presión.

10.4 Conectar:

- 10.4.1** El patrón de transferencia de velocidad de flujo a la entrada del medidor del volumen patrón.
- 10.4.2** El manómetro para medir la presión a la entrada del medidor del volumen patrón.
- 10.4.3** El orificio del manómetro a la tapa en el patrón de transferencia.
- 10.4.4** Una bomba de aire de alto volumen en el puerto de salida del medidor del volumen patrón, como se muestra en el anexo 4a.
- 10.5** Verificar que no haya fugas, apretando con pinzas temporalmente ambas líneas del manómetro (para evitar pérdidas de fluido) y bloqueando el orificio con una tapa de hule de diámetro grande, con una cinta ancha de celofán o por otro medio disponible. Poner a funcionar la bomba de aire de alto volumen y observar cualquier cambio en las lecturas del medidor del volumen patrón. Las lecturas deben permanecer constantes, si la lectura se altera, detectar cualquier fuga mediante el silbido del aire y/o volver a apretar todas las conexiones, asegurándose de que todas las uniones estén adecuadamente instaladas.
- 10.6** Después de corregir satisfactoriamente cualquier fuga:
- 10.7** Se regula la velocidad de flujo apropiado, por medio de una resistencia de flujo variable en el patrón de transferencia o cambiando el voltaje a la bomba de aire. No se recomienda el uso de placas de resistencia, según se muestra en el anexo 2, porque la revisión de flujo debe repetirse cada vez que se instala una nueva placa de resistencia. Se requiere por lo menos de cinco velocidades de flujo diferentes, pero constantes, distribuidos de manera uniforme, de los cuales por lo menos tres deben caer dentro del rango especificado para la velocidad de flujo (1.1 a 1.7 m³/min).
- 10.8** Medir y registrar los datos de calibración en una forma similar a la que se ilustra en el anexo 5, según los siguientes pasos:
- 10.8.1** Medir la presión barométrica y registrarla como P_1 en (8) del anexo 5.
- 10.8.2** Medir la temperatura ambiente junto al medidor del volumen patrón y registrarla como T_1 en (9) del anexo 5.
- 10.8.3** Hacer funcionar el motor de la bomba, ajustar el flujo y dejar que el sistema funcione por lo menos durante un minuto hasta alcanzar una velocidad constante.
- 10.8.4** Vigilar la lectura del medidor de volumen patrón y simultáneamente activar el cronómetro. Registrar la lectura inicial del medidor (V_1) en la columna 1 del anexo 5.
- 10.8.5** Mantener la velocidad de flujo constante hasta que hayan pasado por lo menos 3 metros cúbicos (m³) de aire, a través del medidor del volumen patrón. Registrar la lectura de la presión en la entrada del manómetro del medidor del volumen patrón como $_P$ (columna 5 del anexo 5) y la

lectura del manómetro del orificio como ΔH (columna 7 del anexo 5). Tener cuidado de indicar correctamente las unidades de medición.

10.8.6 Observar la lectura del medidor del volumen patrón deteniendo simultáneamente el cronómetro, después de que hayan pasado por lo menos 3 m^3 de aire a través del sistema. Registrar la lectura final del medidor (V_2) en la columna 2 del anexo 5 y el tiempo transcurrido (t) en la columna 3 del anexo 5.

10.8.7 Calcular el volumen medido por el medidor del volumen patrón a las condiciones de temperatura y presión del medidor como $V_m = V_2 - V_1$. Hacer el registro correspondiente en la columna 4 del anexo 5.

10.8.8 Corregir el volumen a un volumen patrón o de referencia de la siguiente manera:

$$V_{\text{ptn}} = V_M \left(\frac{P_1 - \Delta P}{P_{\text{ptn}}} \right) \frac{T_{\text{ptn}}}{T_1} \quad (1)$$

11. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION DEL INDICADOR DE FLUJO DEL MUESTREADOR

Calcular la velocidad de flujo patrón ($\text{m}^3_{\text{ptn}}/\text{min}$) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{ptn}} = \frac{V_{\text{ptn}}}{t} \quad (2)$$

11.2 Conectar:

Registrar Q_{ptn} al $0.01 \text{ m}^3_{\text{ptn}}/\text{min}$ más próximo, en la columna 6 del anexo 5.

10.9 Repetir los cinco pasos anteriores por lo menos con cuatro velocidades de flujo diferentes, espaciados uniformemente dentro de un rango aproximado de 1.0 a $1.8 \text{ m}^3_{\text{ptn}}/\text{min}$.

11.3 Poner a funcionar el muestreador por lo menos durante 5 min para establecer equilibrio térmico antes de la calibración.

10.10 Después de determinar la velocidad de flujo volumétrico patrón (Q_{ptn}), cada volumen de flujo se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_1}{P_{\text{ptn}}} \right) \left(\frac{T_{\text{ptn}}}{T_1} \right)} \quad (3)$$

(columna 7a del anexo 5)

Graficar este valor contra su velocidad de flujo patrón asociado (Q_{ptn}), según se muestra en el anexo 4a. Estos puntos de la gráfica dan como resultado una curva de calibración del patrón de

transferencia, que se determina al trazar la línea que más se ajusta a los puntos graficados o al calcular la pendiente (m) y la intersección, (b) para lo cual se debe utilizar el método de regresión lineal por mínimos cuadrados conforme a la siguiente ecuación:

$$\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_1}{P_{ptn}} \right) \left(\frac{T_{ptn}}{T_1} \right)} = m (Q_{ptn}) + b \quad (4)$$

La curva debe ser legible hasta $0.02 \text{ m}^3_{\text{ptn}}/\text{min}$, ver anexos 4 y 5.

10.11 Recalibrar anualmente el patrón de transferencia o según se requiera conforme a los procedimientos de control de calidad aplicables.

11. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION DEL INDICADOR DE FLUJO DEL MUESTREADOR DE ALTO VOLUMEN EN CAMPO

11.1 Un formato similar al que se muestra en la Tabla 5 deberá ser utilizado para registrar información referente a la calibración.

11.2 Conectar:

11.2.1 El patrón de transferencia a la entrada del muestreador.

11.2.2 El manómetro del patrón de transferencia a la tapa de presión del orificio, según se muestra en el anexo 4b, y asegurarse de que no haya fugas entre la unidad de orificio y el muestreador.

11.3 Poner a funcionar el muestreador por lo menos durante 5 min para establecer equilibrio térmico antes de la calibración.

11.4 Medir y registrar la temperatura ambiental (T_2) y la presión barométrica (P_2) durante la calibración.

11.5 Ajustar la resistencia variable o en su caso insertar la placa de resistencia correspondiente, ver anexo 2, para lograr la velocidad de flujo deseada.

11.6 Dejar al muestreador funcionar por lo menos durante 2 min para restablecer las condiciones de temperatura de funcionamiento. Ver y registrar la caída de presión a través del orificio (ΔH) y la indicación (I) de la velocidad de flujo del muestreador en las columnas correspondientes del anexo 6.

11.7 Calcular:

$$\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_2}{P_{\text{ptn}}} \right) \left(\frac{T_{\text{ptn}}}{T_2} \right)}$$

(5)

El flujo controlado de un muestreador no debe ser calibrado, sólo si su tasa de flujo demuestra que es y determinar la velocidad de flujo a condiciones patrón (Q_{ptn}) ya sea gráficamente a partir de una curva de calibración o calculando Q_{ptn} a partir de la pendiente y la intersección de la curva de calibración sobrepuesta al patrón de transferencia:

$$Q_{\text{ptn}} = \frac{1}{m} \sqrt{\Delta H \left(\frac{P_2}{P_{\text{ptn}}} \right) \left(\frac{T_{\text{ptn}}}{T_2} \right)} - b$$

(6)

Registrar el valor de Q_{ptn} en el anexo 6.

11.8 Repetir los tres pasos anteriores para varias velocidades de flujo diferentes, distribuidas dentro de un rango de 1.1 a 1.7 $\text{m}^3_{\text{ptn}}/\text{min}$.

11.9 Trazar la curva de calibración graficando los volúmenes calculados con la ecuación más apropiada de las mostradas en el cuadro 1 del anexo 7, tomando los valores de la columna 1 del anexo 5 contra Q_{ptn} . La elección de las fórmulas del cuadro 1 está en función del tipo de dispositivo de medición de la velocidad de flujo y también de que la curva de calibración incluya los promedios geométricos de presión barométrica (P_a) y temperaturas ambientales promedio (T_a). En donde P_a y T_a pueden ser calculadas para un sitio durante un período estacional, de modo que los cambios en temperatura y presión barométrica locales no varíen más de ± 8 kPa (60 mm Hg) en la P_a , ó $\pm 15^\circ\text{C}$, en relación a T_a respectivamente, entonces la utilización de P_a y T_a evita la necesidad de calcular posteriormente estas dos variables. El promedio geográfico de la presión barométrica (P_a) puede estimarse a partir de una tabla de presión-altitud o haciendo una corrección estimativa de la elevación de -3.46 kPa (-26 mm Hg) por cada 305 metros (m) sobre el nivel del mar (101 kPa ó 760 mm Hg). El promedio de la temperatura estacional (T_a) puede estimarse a partir de los registros de una estación meteorológica.

11.10 Trazar la curva de calibración del muestreador, o calcular la pendiente (m), la intersección (b) y el coeficiente de correlación (r) de la curva de calibración por medio del método de regresión lineal por mínimos cuadrados, (ecuaciones del cuadro 1) = $mQ_{\text{ptn}} + b$ (anexos 4 y 6). Las curvas de calibración deben ser legibles hasta 0.02 $\text{m}^3_{\text{ptn}}/\text{min}$.

11.11 Restablecer el mecanismo de control y fijarlo a un flujo cercano al mínimo para permitir un mejor control, en un muestreador equipado con un controlador de flujo. La velocidad de flujo de la muestra debe ser verificada en esta etapa con un filtro nuevo. Añadir dos o más filtros para examinar si el controlador mantiene un flujo constante; esto es de particular importancia a elevadas altitudes en donde puede reducirse el rango de eficiencia del controlador de flujo.

Utilizar la ecuación apropiada del cuadro 2 que corresponda a la utilizada en el cuadro 1 (anexo 7) para determinar la curva de calibración.

12. PROCEDIMIENTO ALTERNO DE CALIBRACION DE MUESTREADOR CON FLUJO CONTROLADO

El flujo controlado de un muestreador no debe ser calibrado, sólo si su tasa de flujo demuestra que es estable y confiable. En este caso el controlador de flujo puede estar sin calibración, pero puede ser usado para indicar cualquier cambio entre el flujo final e inicial, y el muestreador puede ser recalibrado más seguido para minimizar la pérdida potencial de muestra por el mal funcionamiento del controlador.

12.1 Poner el controlador a una velocidad de flujo cercano al límite inferior del rango de flujo, para permitir su máximo control.

12.2 Colocar un filtro nuevo en el muestreador y llevar a cabo los pasos 11.2, 11.3, 11.4, 11.6 y 11.7.

12.3 Después de la calibración, añadir uno o dos filtros nuevos adicionales al muestreador, reconectar el patrón de transferencia y operar el muestreador para verificar que el controlador mantenga la misma velocidad de flujo calibrada; esto es de particular importancia a elevadas altitudes en donde se restringe el rango del control de la velocidad de flujo.

$$PST = \frac{(Q_1 - Q_2) \times 10^6}{V}$$

13. ANALISIS DE LA MUESTRA

13.1 El cálculo de la concentración de partículas suspendidas totales, se lleva a cabo de la siguiente manera:

13.1.1 Determinar el promedio de la velocidad de flujo del muestreador durante el período de muestreo, por cualquiera de las siguientes formas:

13.1.1.1 Para un muestreador sin registrador de flujo continuo, determinar la ecuación que corresponda al cuadro 2 del anexo 7 y registrar el resultado en el anexo 6. Utilizando la ecuación apropiada, determinar (Q_{ptn}) para la velocidad de flujo inicial, a partir de la curva de calibración del muestreador, ya sea gráficamente o bien a partir de la ecuación de la regresión sobrepuesta:

$$(Q_{ptn}) = 1/m([\text{ecuación que corresponde del cuadro 2}] - b)$$

14.1 La medición se hace en períodos de 24 horas con una frecuencia de una cada seis días o de una cada tres días, mediante el uso de procesos manuales.

De manera similar, determinar (Q_{ptn}) a partir de la lectura del flujo final y calcular el promedio de flujo (Q_{ptn}) como la mitad de la suma de las velocidades de flujo inicial y final.

13.1.1.2 Determinar la velocidad de flujo para el período de muestreo promedio (lectura 1), con un muestreador con registro continuo.

Utilizar la ecuación apropiada del cuadro 2 que corresponda a la utilizada en el cuadro 1 (anexo 7) para determinar la curva de calibración.

Utilizando la ecuación y la lectura del promedio de la velocidad de flujo, determinar (Q_{ptn}) a partir de la curva de calibración del muestreador o sobreponiendo la regresión lineal siguiente:

$$(Q_{ptn}) = 1/m[(\text{ecuación apropiada del cuadro 2}) - b]$$

Si la línea del trazo muestra variaciones considerables del flujo durante el período de muestreo, puede lograrse mayor precisión dividiendo el período de muestreo en rangos y calculando una lectura promedio antes de determinar el (Q_{ptn}).

13.1.2 Calcular el volumen total del aire muestreado con la siguiente ecuación:

$$V = Q_{ptn} \times t \quad (7)$$

13.1.3 Calcular y reportar la concentración de partículas con la siguiente ecuación:

$$PST = \frac{(G_f - G_i) \times 10^6}{V} \quad (8)$$

13.1.4 Si se desea la concentración actual de PST se puede calcular de la siguiente manera:

$$(PST)_a = PST \frac{P_3}{P_{ptn}} \frac{T_{ptn}}{T_3} \quad (9)$$

14. CALCULO DEL REPORTE

14.1 La medición se hace en períodos de 24 horas con una frecuencia de una cada seis días o de una cada tres días, mediante el uso de procesos manuales.

14.2 Para reportar los valores al público, se calculan las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del período de muestreo.

Hecho en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de octubre de mil novecientos noventa y uno.

15. VIGILANCIA

15.1 La Secretaría de Desarrollo Social por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, es la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana.

16. SANCIONES

16.1 El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, su Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

17. BIBLIOGRAFIA

17.1 Code of Federal Regulations 40, Part 50, appendix B, revised July 1990, U.S.A. (Código Federal de Reglamentaciones 40, Parte 50, apéndice B, revisado en julio 1990, Estados Unidos de América).

18. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

18.1 Esta norma oficial mexicana coincide totalmente con la norma contenida en el Code of Federal Regulations 40, Part 50, appendix B, revised July 1990, U.S.A. (Código Federal de Reglamentaciones 40, Parte 50, apéndice B, revisado en julio 1990, Estados Unidos de América).

19. VIGENCIA

19.1 La presente norma oficial mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

19.2 Se abroga el Acuerdo por el que se expidió la norma técnica ecológica NTE-CCAM-002/91, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 10. de octubre de 1991.

Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de octubre de mil novecientos noventa y tres. El Presidente del Instituto Nacional de Ecología, Sergio Reyes Lujan.-
Rúbrica.

Resumen Autobiográfico

Horacio Campeán Gomez

Candidato para el grado de Maestro en Ciencias
con Especialidad en Ingeniería Ambiental

Título de la tesis: Caracterización microestructural y fisicoquímica de las partículas suspendidas totales (PST) colectadas en un punto de la ciudad de Monterrey

Campo o rama profesional: Ingeniería Química

Lugar y fecha de nacimiento: Monterrey, Nuevo León, 27 de Enero de 1977.

Nombre de los padres: Venancio Campeán Leija y Alicia Gomez Luna

Formación Académica:

1996-2000 Facultad de Ciencia Químicas, UANL,
Ingeniería Química
Titulado

Experiencia Profesional:

Jefe de reportes de ambiente laboral y aire ambiente
Gamatek, S.A. de C.V.
Enero de 2000 a la Fecha

Resumen Autobiográfico

Horacio Compeán Gomez

Candidato para el grado de Maestro en Ciencias
con Especialidad en Ingeniería Ambiental

Título de la tesis: Caracterización microestructural y fisicoquímica de las partículas suspendidas totales (PST) colectadas en un punto de la ciudad de Monterrey

Campo o rama profesional: Ingeniería Química

Lugar y fecha de nacimiento: Monterrey, Nuevo León, 27 de Enero de 1977.

Nombre de los padres: Venancio Compeán Leija y Alicia Gomez Luna

Formación Académica:

1996-2000 Facultad de Ciencia Químicas, UANL,
Ingeniería Química
Titulado

Experiencia Profesional:

Jefe de reportes de ambiente laboral y aire ambiente
Gamatek, S.A. de C.V.
Enero de 2000 a la Fecha

