

1
620.8
ZAMR
C.2



Escuela Superior Politécnica del Litoral
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE
LA PRODUCCION

”Medición y Evaluación de la
Contaminación del Aire, Debido a
Partículas Menores a 10 um En la
Ciudad de Guayaquil.”

TESIS DE GRADO

Previa la Obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentada por:
CARLOS JAVIER ZAMBRANO ESPINOZA

Guayaquil - Ecuador

1998



AGRADECIMIENTO

Al Ing. Mario Patiño Aroca
por su acertada dirección e
invalorable colaboración para
la realización de este trabajo



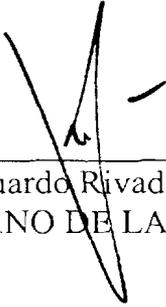
D-18658

DEDICATORIA

A DIOS

A MI FAMILIA

TRIBUNAL DE GRADUACION



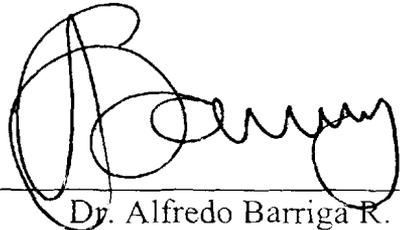
Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA F.I.M.



Ing. Mario Patiño Aroca
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Rodolfo Paz Z.
VOCAL DEL TRIBUNAL



Dr. Alfredo Barriga R.
VOCAL DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de ésta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



CARLOS ZAMBRANO E.

RESUMEN

MEDICION Y EVALUACION DE LA CONTAMINACION DEL AIRE DEBIDO A PARTICULAS MENORES A 10 μm EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

En los últimos años la contaminación ambiental se ha convertido en uno de los problemas mas serios que afronta la población mundial, lo cual ha generado que la investigación de cuáles son las causas, las consecuencias y sobre todo la forma de evitarla. se desarrolle eficazmente. Las industrias han comenzado a invertir dinero en la búsqueda de tecnologías tanto de fabricación como de producción que no perjudiquen el medio ambiente y especialmente el aire, el cual despierta un gran interés debido a sus permanentes cambios, que a menudo son muy difíciles de predecir, a diferencia de los contaminantes líquidos y sólidos que se los puede almacenar o encausar para su posterior tratamiento y control. Hechos tales como la intoxicación de seres humanos, problemas en el crecimiento de las plantas, el incremento en el número de accidentes debido a la disminución significativa de la visibilidad en carreteras etc., hacen que el aire sea un medio que debemos preservar atesoradamente; es por ésta razon que se han creado organismos internacionales que se preocupen por establecer estándares de calidad del aire , estándares de emisiones al ambiente, etc.

El Ecuador no se puede mantener al margen de los esfuerzos de la comunidad internacional por evitar los efectos algunas veces catastróficos de la contaminación;

para lograr este objetivo disponemos de estándares de calidad del aire y organismos nacionales que se encargan de legislar y velar porque las normas se cumplan a cabalidad.

La situación de las ciudades de nuestro país sin llegar a ser alarmantes como en Santiago de Chile o en la capital mexicana, debe ser objeto de constante supervisión. Este estudio de contaminación del aire debido a partículas respirables ha sido realizado como parte integrante del proyecto que Espey Houston-Copade está desarrollando para la Municipalidad de Guayaquil, y que incluye contaminación por otros agentes.

Para el efecto hemos desarrollado un plan de monitoreo del aire que nos permite conocer el nivel de contaminación atmosférica debido a partículas PM10 en la ciudad de Guayaquil. El programa incluye una serie de 3 mediciones por semana en distintas ubicaciones previamente seleccionadas de la urbe. Las muestras serán tomadas en días laborables (2) y días no laborables (1) durante 10 semanas. Para el desarrollo del proyecto se ha utilizado un medidor de alto caudal con una entrada PM10, que colecta partículas del aire con diámetro menor o igual a 10 μm ; además, contaremos con la información meteorológica de Guayaquil para establecer la relación entre estos datos y los niveles encontrados. Finalmente se realiza un análisis comparativo de los valores de concentración obtenidos con los permitidos por los organismos nacionales e internacionales de salud y medio ambiente.

INDICE GENERAL

	Pág
RESUMEN	
INDICE GENERAL	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	
SIMBOLOGIA	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I :	
LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE	15
1.1 Definición y tipos de contaminación	15
1.2 Fuentes e inventarios de emisiones de partículas	17
1.3 Impacto de la contaminación del aire debido a partículas	22
1.3.1 Efectos de las partículas en el aire sobre la salud humana	23
1.3.2 Efectos de las partículas sobre la flora y fauna	28
1.4 Patrones legales y estándares de calidad del aire.....	29
CAPÍTULO II :	
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PARTICULADO	33
2.1 Mecánica de partículas	34
2.1 Metodos de descripcion de partículas.....	36

CAPÍTULO III :

MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE MATERIAL

PARTICULADO	40
3.1 Rango de funcionamiento de instrumentos para monitoreo y obtención de distribución de tamaño de partículas	41
3.2 Dispositivos para muestreos manuales: descripción y principio de funcionamiento	44
3.3 Dispositivos automáticos para muestreos: descripción y principio de funcionamiento	53
3.4 Instrumentos para obtención de distribución de tamaño de una muestra de partículas	61

CAPÍTULO IV

CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DEL MEDIO

AMBIENTE	62
4.1 Circulación atmosférica y su impacto en la contaminación del aire	62
4.2 Condiciones atmosféricas de la ciudad de Guayaquil	65
4.2.1 Información de las estaciones meteorológicas locales	67

CAPÍTULO V

DISEÑO DEL PLAN DE MONITOREO	70
5.1 Criterios para selección de lugares para las mediciones	71

5.1.1	Limitaciones del programa de monitoreo	73
5.1.2	Sitios seleccionados	74
5.2	Descripción del equipo y procedimiento de medición	75
5.3	Resultados de las mediciones	79

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MEDICIONES

EXPERIMENTALES	80	
6.1	Análisis de concentraciones de partículas en suspensión	80
6.2	Comparación con estándares de calidad	83
6.3	Influencia de condiciones atmosféricas en niveles de concentración	83

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
--	-----------

APENDICES.....	92
-----------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA

INDICE DE ABREVIATURAS

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
BM	Banco Mundial
BMRC	British Medical Research Council
C	Zona Céntrica de la Ciudad
CIIU	Clasificación Internacional Industrial Uniforme
CNC	Condensation Nucleus Counter
E	Este
EAA	Electric Aerosol Analyzer
EAD	Electric Aerosol Detector
EPA	Environmental of Protection Agency
Γ	Tasa de cambio de temperatura
gr.	Gramo
gr./cm^3	gramo por centímetro cúbico
$^{\circ}\text{C}$	grado centígrado
mg.	Milígramo
mm Hg.	Milímetro de mercurio
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards
N	Norte
NE	Noreste
NO	Noroeste
O	Oeste
PM10	Partículas Menores a 10
Prom.	Promedio
PTS	Partículas Totales en Suspensión
PSI	Pollutants Standars Index
S	Sur
SE	Sureste
SO	Suroeste
μg	Microgramo
$\mu\text{g/m}^3$	Microgramo por metro cúbico
μm	Micrómetro

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Penetración de partículas menores a 10 μm en el sistema Respiratorio	26
3.1 Distribución de Tamaño (Trimodal) de partículas atmosféricas	42
3.2 Rango de Funcionamiento de los instrumentos de medición	43
3.3 Impactador diseñado para fraccionamiento de muestras de partículas	47
3.4 a.) Entrada seleccionadora de tamaño de partículas respirables, b.) Muestreador Dicotómico	49
3.5 Impactador de cascada	51
3.6 a.) Impactador de Microorificio, b.) Ciclón en cascada	53
3.7 Contador de partículas por condensación	56
3.8 Microbalanza Piezoeléctrica para medir PM10	57
3.9 Medidor Beta	59
5. Muestreador de alto caudal	76
6.1 Concentración promedio por zonas de la ciudad	81
6.2 Dirección del viento, Gquil, 04-02-97, Período: 00H00-23H59	85
6.3 Dirección del viento, Gquil, 06-04-97, Período: 00H00-23H59	86

INDICE DE TABLAS

	Pág.
I Efectos de la contaminación del aire debido a partículas, sobre Seres Humanos	27
II Valores máximos permitidos de concentración de partículas menores a 10 μm en suspensión en aire (segun estándar internacional)	30
III Valores máximos permitidos de concentración de partículas totales en suspensión en aire (segun norma nacional)	31
IV Valores de PSI y descripción de la calidad del aire	32
V Partículas en suspensión, definición de términos	38
VI Detectores Automáticos (Integrales) para medición de concentración de partículas en suspensión	60
VII Criterios de estabilidad atmosférica	64
VIII Promedios mensuales de los datos meteorológicos en Cerro Blanco	68
IX Calendario de Mediciones	75
XI Instrumentación utilizada para el monitoreo de PM10	76
XI Resultados de concentración de PM10 por estación	79

INTRODUCCION

El beneficio que para nuestra ciudad representa el conocimiento de los resultados obtenidos al culminar éste proyecto, esperamos sea muy grande e interpretado con responsabilidad por sus autoridades y con madurez por la ciudadanía en general. El tema “ Medición y evaluación de la contaminación del aire debido a partículas menores a $10\ \mu\text{m}$, en la ciudad de Guayaquil ” busca determinar los valores de concentración de las partículas mencionadas, mediante la implementación de un programa de monitoreo en la ciudad.

La metodología empleada en el programa consiste en efectuar mediciones en 10 sitios previamente seleccionados en base a datos obtenidos del inventario de emisiones atmosféricas realizado desde 1995 hasta comienzos de 1996, el cual es una estimación del potencial contaminante de Guayaquil y que además identifica claramente las zonas industriales que contribuyen de manera significativa a degradar la calidad del aire en la ciudad. Los lugares escogidos muestran ser puntos de tránsito vehicular representativo y/o gran actividad industrial.

Las mediciones fueron realizadas con un dispositivo manual de muestreo denominado medidor de alto caudal (PM10) con una entrada para partículas de diámetro aerodinámico menor a $10\ \mu\text{m}$.

En ocasiones anteriores se han realizado estimaciones de la contaminación atmosférica en Guayaquil, sea ésta debida a cualquier agente: dióxido de azufre,

monóxido de carbono, partículas suspendidas totales (TSP) y a ambas fuentes: estacionarias y móviles; pero, es la primera vez que se realizará mediciones directas de partículas menores a $10\ \mu\text{m}$, que han revelado ser nocivas para la salud humana, ya que al ser introducidas en el aparato respiratorio alcanzan los alveolos pulmonares.

El contenido de este trabajo además de presentar los resultados de concentración de partículas menores a $10\ \mu\text{m}$, entrega información que sirve como material de consulta general sobre contaminantes particulados atmosféricos y específicamente sobre PM10.

Al culminar este trabajo, se espera sirva como punto de partida para la ejecución de un inventario extenso acerca de la contaminación atmosférica de la ciudad, analizando todos sus agentes contaminantes (gases y partículas TSP), el cual permitiría la formulación de leyes para regulación de emisiones al aire por parte de ambas fuentes.

CAPITULO I

LA CONTAMINACION DEL AIRE

El aire es un medio necesario para el normal desarrollo de la vida en todos sus aspectos y que al ser alterado por la presencia de sustancias contaminantes genera perjuicios tanto de salud como socio-económicos. En Guayaquil como en las grandes ciudades se siente el efecto de la polución del aire a través de todos sus agentes, es por ello que además de los esfuerzos en ocasiones escasos que realizan las autoridades para combatir el problema es necesario que la ciudadanía se concientice de la gravedad del problema y de sus efectos futuros.

Este capítulo entrega definiciones básicas empleadas en la realización del estudio, reseña las normas de calidad del aire y los niveles de PM10 permisibles. Finalmente se describen algunos de los efectos provocados por la existencia de altas concentración de contaminantes atmosféricos.

1.1. DEFINICION Y TIPOS DE CONTAMINACION.

La contaminación es un indicativo de la presencia en el medio ambiente de uno o varios agentes contaminantes o talvez una combinación de ellos, los cuales interfieren en el normal desenvolvimiento de la vida, perjudicando el bienestar humano y degradando el medio circundante (agua, suelo, aire, bienes, vegetación, etc.)



Todo aquello que de una u otra manera afecte negativamente los recursos existentes en la tierra, sean naturales o contruídos por la mano del hombre constituye un contaminante; no obstante se logra encontrar 3 grandes grupos: contaminantes sólidos, líquidos y atmosféricos.

Es objetivo de nuestro estudio el tratar la contaminación del aire y específicamente aquella debida a partículas menores a 10 μm o también denominadas respirables. Los mecanismos mediante los cuales estas partículas son enviadas y mantenidas en la atmósfera son diversos y serán abordados en la siguiente sección de éste capítulo.

Existen varias deficiones acerca de la contaminación del aire, variadas en forma pero con un mismo fondo. A continuación enunciaremos dos definiciones de contaminación atmosférica, una de la cuales está vigente para nuestro país y que fuera publicada en registro oficial Ecuatoriano # 726 (apéndice F).

Según el texto de contaminación del aire de Wark-Warner (1):

Se puede definir la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera exterior de uno o mas contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad, que interfiera en el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades

Del reglamento de normas de calidad del aire:

Entiéndase por contaminación del aire la presencia o acción de los contaminantes, en condiciones tales de duración, concentración o intensidad, que afecten desfavorablemente la vida y la salud humana, animal o vegetal, los bienes materiales del hombre o de la comunidad o interfieran en su bienestar.

El agente contaminante monitoreado en este programa es la fracción respirable de la partículas en suspensión que pueden ser sólidas o líquidas en la atmósfera, tales como hollín, polvo, cenizas, partículas metálicas, cemento o polen. La característica principal de las PM10 es su capacidad para penetrar hasta los alveolos pulmonares.

1.2 FUENTES E INVENTARIO DE EMISIONES

En la realización de estudios atmosféricos que incluyen mediciones y programas posteriores de control es de vital importancia partir de una base que contenga información concreta o por lo menos aproximada de la situación del área de estudio. Este punto de partida es normalmente un inventario de emisiones en el que se identifican las fuentes y los contaminantes cualitativa y en ocasiones cuantitativamente.

Es procedente entonces determinar lo que es una fuente de emisión, que es aquel medio o lugar desde donde se descarga uno o varios contaminantes hacia el medio ambiente. Para nuestro caso la descarga contaminante es lanzada a la atmósfera, donde luego intervienen otros factores que aumentan o disminuyen el efecto de aquella perjudicial acción.

Las fuentes de emisión pueden clasificarse de acuerdo a su naturaleza en:

Fuentes Estacionarias (Ej.: Industrias)

Fuentes Móviles (Ej.: Vehículos)

Las principales fuentes de emisión de PM10 incluyen la combustión industrial o doméstica del carbón, combustóleo y diesel; los procesos industriales y específicamente los procesos mecánicos; los incendios, la erosión eólica, etc.

La información general de las fuentes es recopilada y procesada en un inventario de emisiones, el cual es un estudio estadístico cuyo objetivo es recopilar sistemáticamente la información necesaria para identificar y estimar la magnitud de las emisiones generadas por fuentes móviles o estacionarias en un área determinada. En ellos se incluye una serie de datos tales como los tipos de descarga, composición de los contaminantes (naturaleza), tasa de descarga individual, etc.

Se puede resumir o establecer los objetivos principales de la realización de un inventario de emisiones:

- Obtener mediante cálculo la cantidad aproximada de contaminantes emitidos a la atmósfera
- Seleccionar zonas prioritarias para hacer monitoreos ambientales
- Establecer un orden de prioridades a los programas de control de contaminación
- Utilizar los resultados de los monitoreos como base para la formulación de leyes y reglamentos de control

- Determinar el balance más apropiado entre el desarrollo económico e industrial y el control de la contaminación

Para la programación del plan de monitoreo, estructura de éste trabajo se revisó información publicada en un inventario de contaminación industrial de Guayaquil realizado usando el método de estimación rápida.

TIPOLOGIA DE INVENTARIOS DE EMISIONES

Existen tres tipos de inventarios de emisiones:

1. Inventario de estimación grosera o burda
2. Inventario de inspección rápida
3. Inventario extenso o completo

INVENTARIO DE ESTIMACION GROSERA O BURDA

Es aquel en que para su realización se considera habitualmente una gran área geográfica que puede ser una ciudad, un estado ó un país . El método empleado consiste en el procesamiento de datos obtenidos de referencias publicadas por instituciones responsables del control estadístico de la industria y del transporte en el área donde se efectua el inventario.

En éste tipo de inventario la magnitud de los contaminantes descargados es estimada en base a parámetros relacionados a la actividad desarrollada, por lo que

se requiere recopilar información sobre datos anuales de consumo de combustibles, uso de materias primas, producción anual, tipo de proceso, etc.

Tanto para el inventario de estimación grosera como para el de estimación rápida es necesario el uso de factores de emisión los cuales como se verá más adelante tienen varios grados de exactitud y son calificados con índices.

INVENTARIO POR ESTIMACION RAPIDA

Este tipo de inventario requiere de datos mas confiables para su ejecución, por lo que es necesario algo más que información encontrada en publicaciones. Cuando se trata de fuentes estacionarias de gran tamaño es necesario establecer contacto para cerciorarse de la veracidad de la información; en el caso de aquellas pequeñas se utiliza la información gubernamental disponible.

El tipo de contacto que se requiere para realizar este inventario no es necesariamente una visita personal a la fuente, sino que puede hacerse mediante llamadas telefónicas ya que no se realizan mediciones de ninguna clase.

El inventario de estimación rápida es razonablemente exacto, necesita de menos cantidad de esfuerzo para su realización que el inventario extenso, por lo que su uso es frecuente.

INVENTARIO EXHAUSTIVO O COMPLETO

Un inventario completo es aquel que requiere para su desarrollo todo un programa que involucra entre otras cosas selección de lugares de muestreo, determinación de períodos de medición, utilización de métodos aceptados de monitoreo y el uso de técnicas sofisticadas de procesamiento y análisis de datos.

Este tipo de inventario fue desarrollado con el objeto de utilizar la información recopilada en un modelo matemático de dispersión atmosférica.

La gran cantidad de información requerida, así como los recursos humanos que demanda hacen que éste inventario dé lugar a presupuestos elevados y mayor cantidad de tiempo para su desarrollo.

Como ya se mencionó anteriormente para realizar el inventario de emisiones por estimación grosera e inspección rápida, es necesario contar con los denominados factores de emisión, cuya definición se la da a continuación:

FACTORES DE EMISION, DEFINICION.- Es un promedio estadístico de la cantidad en masa del contaminante emitido de cada fuente de contaminación por unidad de material manufacturado, procesado o quemado, o materia prima utilizada. Su determinación es realizada mediante el uso de técnicas en varias etapas, entre las que figuran: Un examen de la fuente, el cual implica muchas

mediciones; el balance de materiales en proceso; un avalúo del proceso íntegro, etc.

Existen factores de emisión, tanto para fuentes estacionarias como para fuentes móviles. En el grupo correspondiente a fuentes estacionarias, los factores de emisión están tabulados de acuerdo a cada actividad industrial.

1.3. IMPACTO DE LA CONTAMINACION DEL AIRE DEBIDO A PARTICULAS

Las relaciones entre la polución atmosférica y la quema de combustibles, hábitos humanos, procesos industriales, condiciones climáticas, etc., son complejas; esto hace que la realización de un estudio científico de el efecto producido por cada evento de estos en la vida diaria, sea difícil de llevar a cabo. La razón principal de ello, es que el efecto ocasionado (normalmente significativo) se presenta de manera lenta y puede ser alterado por otros factores.

La contaminación atmosférica tiene muchos orígenes, los que a su vez producen efectos muy diversos sobre el hombre y todo lo existente a su alrededor, llámense estos bienes materiales, flora y fauna, etc. Este trabajo contiene únicamente los efectos producidos por las partículas en general y una breve descripción de los resultados obtenidos en los últimos 3 años acerca de los daños ocasionados por las partículas PM10. En esta sección se tratará los efectos producidos sobre la salud y sobre la flora y fauna.

1.3.1 EFECTOS DE LAS PARTICULAS EN EL AIRE SOBRE LA SALUD HUMANA

Las partículas representan un peligro muy grave para la salud y su efecto es agravado con la presencia de otros contaminantes. La naturaleza y magnitud del riesgo en una situación dada depende de una compleja combinación de factores, lo que incluye: Distribución de tamaño de partículas (información de cómo la partícula en suspensión ingresa en el cuerpo por inhalación y cómo penetra y luego se deposita en el aparato respiratorio), concentración de partículas (indica cuánto se deposita), morfología y composición química (la cual gobierna la subsecuente respuesta biológica a la presencia de partículas en contacto con tejido pulmonar).

Es sumamente difícil establecer una relación directa entre los efectos ocasionados a la salud humana y el tiempo de exposición a varias concentraciones de partículas.

Debido a que resulta muy difícil reproducir las condiciones ambientales en el laboratorio, los estudios dirigidos a establecer relaciones entre los parámetros de influencia y los efectos de la contaminación, necesitan de un largo tiempo.

La información necesaria es referente a datos de ingresos a hospitales y clínicas, ausentismo laboral y escolar, hábitos y mortalidad, etc. Además, los datos limitados correspondientes a los niveles de concentración existentes durante el tiempo de exposición del paciente.

De estudios realizados con anterioridad en los Estados Unidos se pudo establecer que existe una relación entre el aumento de la contaminación atmosférica y el aumento de ingresos a hospitales de pacientes con enfermedades respiratorias, afecciones cardíacas, bronquitis, asma, pulmonía, enfisema y otras similares.

Existe evidencia que gran parte de las partículas suspendidas en el aire son de naturaleza carcinogénica (1), especialmente cuando se le asocia con el tabaquismo. Muchas veces no es posible diferenciar o establecer el porcentaje de incidencia de cada actividad en los efectos ocasionados, aún utilizando métodos estadísticos.

Las partículas pueden tener un efecto tóxico de una de las tres maneras siguientes:

1. La partícula puede ser intrínsecamente tóxica debido a sus características inherentes químicas y/o físicas
2. La partícula puede interferir con uno o más de los mecanismos que despejan el aparato respiratorio

3. La partícula puede actuar como un conductor a una sustancia tóxica absorbida

Las enfermedades causadas por la inhalación de polvos en minas, fábricas y otros trabajos han sido bien identificadas. La palabra PNEUMOCONIOSIS, incluye la Silicosis muy conocida en nuestro medio y que se trata de una progresiva inflamación de las membranas pulmonares, las cuales una vez comenzada la reacción a una sustancia denominada Silica no puede ser contrarrestada.

La Asbestosis y otras formas de reticulinosis están también incluídas, y son aquellas que ponen fuera de acción (incapaz de cumplir su función) la parte del pulmón al cual afectan.

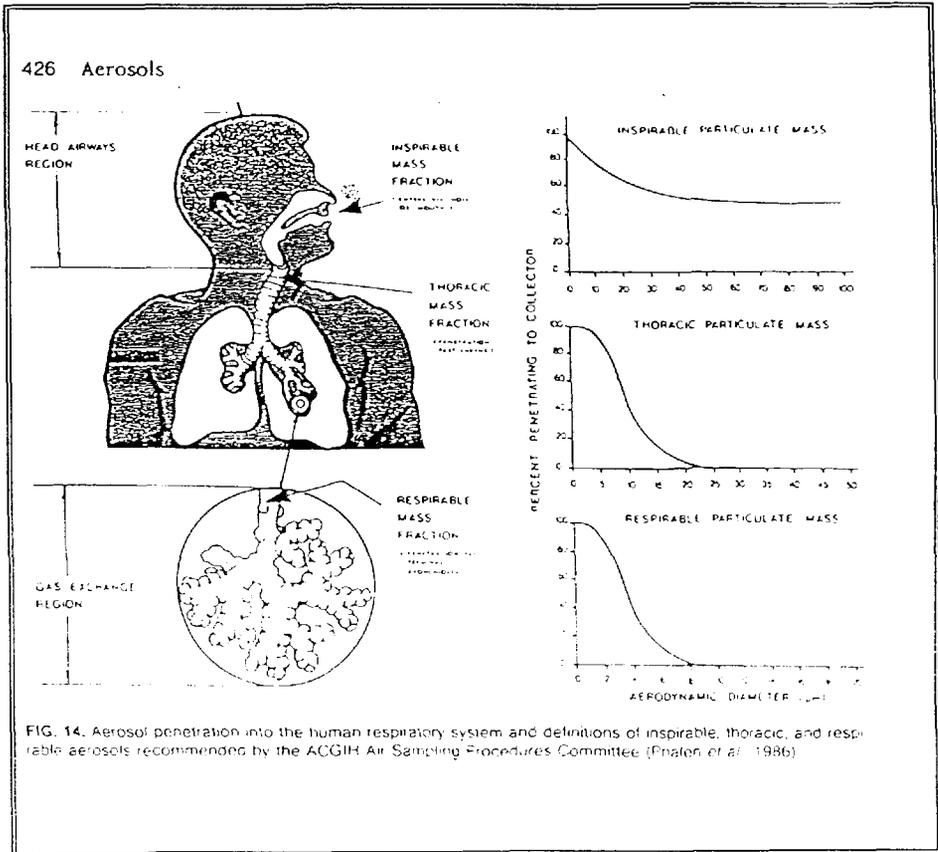
No obstante, es importante mencionar que aunque la Pneumoconiosis (en cualquiera de sus formas) es una enfermedad mortal, no se ha encontrado evidencia que sea contraída al respirar el aire de las calles de la ciudad.

En la actualidad se desarrollan importantes estudios acerca de las formas en las que se depositan las partículas en las diversas regiones del cuerpo humano:

- 1) Extratoráxica (boca, nariz y garganta)
- 2) Toráxica (pulmones: regiones traqueobronquial y alveolar).



FIG.# 1: PENETRACION DE PARTICULAS RESPIRABLES EN EL SISTEMA RESPIRATORIO



FUENTE: (2)

Con la finalidad de determinar la incidencia de las partículas en suspensión y sus parámetros descriptivos (Concentración, distribución de tamaño, etc.) en los daños a la salud humana, se estudia por separado cada parte del aparato respiratorio. Es posible encontrar estudios que tratan específicamente la fracción de partículas que se deposita en cada sección (2) y la eficiencia con la que se lleva a cabo. Para ello ha sido necesario desarrollar condiciones semejantes (simulación) y una aproximación física

del flujo ingresando al cuerpo humano, determinando la cantidad de partículas que se van depositando en cada componente del sistema respiratorio. En la tabla I se muestra un resumen ilustrativo de la concentración de partículas en suspensión y los efectos producidos sobre los seres humanos.

TABLA I: EFECTOS DE CONTAMINACION DEL AIRE DEBIDO A PARTICULAS SOBRE SERES HUMANOS

CONCENTRACION	TIEMPO DE MEDICION	EFECTOS
60-180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media geométrica anual, con SO_2 y humedad	Aceleración en la corrosión de las láminas de acero y zinc
75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media anual	Norma de calidad del aire ambiente
150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Visibilidad reducida a 5 millas
100-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Luz solar directa reducida en un tercio
80-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Con niveles de sulfatación de 30 mg /cm ² /mes	Puede ocurrir un aumento en la tasa de mortalidad de personas mayores de 50 años
100-130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Es posible que niños experimenten un aumento en la incidencia de las enfermedades respiratorias
200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de 24 hr y $\text{SO}_2 > 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$	La morbilidad de los obreros industriales puede ser causa de un aumento en el ausentismo
260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo una vez cada 24 h	Norma de calidad del aire ambiente
300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo de 24 horas y $\text{SO}_2 > 630 \mu\text{g}/\text{m}^3$	En los pacientes con bronquitis crónica puede que se presente empeoramiento agudo de los síntomas
750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de 24 horas y $\text{SO}_2 > 715 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Puede ocurrir un número excesivo de muertes y un considerable aumento en las enfermedades.

Fuente: Contaminación del Aire, por Wark-Warner

1.3.2 EFECTOS DE LAS PARTICULAS EN EL AIRE SOBRE LA FLORA Y FAUNA

El impacto que las partículas en suspensión provocan sobre la vegetación no es muy conocido, sin embargo se ha comprobado que se al depositarse sobre las hojas de las plantas, aquellas más pequeñas taponan las estomas interfiriendo el normal desarrollo de la fotosíntesis.

La naturaleza de las partículas (química) es determinante al evaluar los daños producidos sobre la vegetación, aquellas que contienen fluoruros son perjudiciales y las de óxido de magnesio influyen negativamente en el crecimiento de la planta.

El efecto se ve incrementado cuando aquellos animales (ganado bovino y vacuno especialmente) se alimentan con hierbas que contienen elementos nocivos para la salud como son los fluoruros (produciendo la fluorosis) o el arsénico que provoca envenamiento.

Un problema de igual magnitud se produce en los materiales expuestos a la contaminación por partículas. Este fenómeno se produce debido a que en el aire existen partículas químicamente inertes (aunque pueden absorber sustancias químicamente activas) y partículas activas.

Los edificios que gastan anualmente sumas importantes de dinero en pintura o aquellas superficies metálicas corroídas por la acción de las

partículas son los sectores más afectados, sin olvidar desde luego el sector textil.

1.4. PATRONES LEGALES Y ESTANDARES DE CALIDAD DEL AIRE

Con el único propósito de mejorar la calidad del aire atmosférico y por ende permitir el normal desarrollo de la vida humana y su medio circundante, las naciones de nuestro planeta realizan esfuerzos diversos, estableciendo leyes que regulen y vigilen la cantidad de contaminantes del aire.

Estas leyes involucran los denominados estándares cuyo propósito es el de establecer cantidades límites o permisibles de los contaminantes ya sea aquellos que ya han sido descargados a la atmósfera (estándares de calidad) o aquellos que están por descargarse (estándares de emisión).

En nuestro país está en vigencia el **“Reglamento que establece las normas de calidad del aire y sus métodos de medición”** (ver apéndice F). Este reglamento fué conformado en base a la necesidad de prevenir y regular la contaminación del aire, vigilando las descargas y evaluando las concentraciones mediante métodos eficaces.

Este documento contiene definiciones, normas de calidad y métodos de medición de los contaminantes atmosféricos: Partículas sedimentables y totales en suspensión, óxidos de Nitrógeno, Plomo, monóxido de carbono, oxidantes

fotoquímicos y dióxido de azufre. Sin embargo, no establece ninguna norma o procedimiento específico de medición para partículas respirables en suspensión.

En la actualidad está vigente un documento que contiene la norma técnica que establece el procedimiento para determinar la concentración de partículas totales en suspensión (P.T.S) en el aire por el método gravimétrico para el muestreo de alto volumen. Este norma fue publicada por el Ministerio de desarrollo urbano y vivienda a través de la subsecretaría de saneamiento ambiental (apéndice G).

Actualmente para verificar el grado de contaminación del aire por PM10 se siguen los procedimientos de medición oficialmente reconocidos por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (de Estados Unidos) y por el Banco Mundial. El método empleado en el desarrollo de éste trabajo es el método federal de los Estados Unidos.

A continuación se describen los estándares de calidad del aire según la EPA y el Banco Mundial:

TABLA II: VALORES MAXIMOS PERMITIDOS DE CONCENTRACION DE PARTICULAS MENORES A 10 μm EN SUSPENSION EN AIRE (SEGUN ESTANDAR INTERNACIONAL)

ENTIDAD	EPA	BM
PROMEDIO ANUAL EN 24 HORAS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50	75
MAXIMO PERMITIDO EN 24 HORAS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	110

En Estados Unidos de Norteamérica es posible encontrar una lista de los contaminantes atmosféricos y las normas establecidas para controlar la calidad del aire (ver apéndice H). En general en casi todos los países desarrollados constantemente se está trabajando en nuevas tecnologías para medición y control de partículas PM10, e incluso la investigación respecto al impacto que éstas producen sobre el ser humano de los contaminantes atmosféricos tiene un amplio alcance, lo que ha llevado a estudiar una nueva subdivisión de las partículas en suspensión la PM 3.5 o partículas con diámetro aerodinámico menor a 3.5 μm .

En nuestro país, la norma vigente relacionada a contaminación atmosférica por partículas no se refiere específicamente a partículas menores a 10 μm , sino a partículas totales en suspensión, de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA III: VALORES MAXIMOS PERMITIDOS DE CONCENTRACION DE PARTICULAS TOTALES EN SUSPENSION EN AIRE (SEGUN NORMA NACIONAL)

ENTIDAD	MINISTERIO DE SALUD PUBLICA
PROMEDIO ANUAL EN 24 HORAS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	80
MAXIMO PERMITIDO EN 24 HORAS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	250

En países con episodios preocupantes de contaminación como en México se han creado índices de calidad de aire, cuyo objetivo es informar a la población continuamente de la situación atmosférica local, lo que redundará en concientización de la ciudadanía. Este es un objetivo intrínseco logrado con la realización de monitoreos del aire.

De igual manera en Estados Unidos de Norteamérica la EPA ha creado el índice PSI (Pollutants Standar Index), con el fin de indicar diariamente la calidad del aire. Este índice es el resultado combinado de 6 subíndices asignados a cada uno de los siguientes contaminantes: TSP, CO, O₃, NO₂, SO₂ y el último mide el efecto conjunto del SO₂ y TSP.

Los valores medibles de PSI han sido distribuidos en rangos numéricos, los que a su vez determinan e informan de manera sencilla a la población de la calidad del aire.

TABLA IV: VALORES DE PSI Y DESCRIPCION DE CALIDAD DEL AIRE

VALORES DE PSI	CALIDAD DEL AIRE
0 - 50	BUENO
51 - 100	MODERADO
101 - 199	PELIGROSO
200 - 299	MUY PELIGROSO
≥ 300	SEVERO

CAPITULO II

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PARTICULADO

INTRODUCCION

En esta capítulo se tratarán brevemente las leyes que rigen los movimientos de las partículas en suspensión en la atmósfera, así como también los criterios empleados en los dispositivos de colección de partículas.

De un estudio realizado en Estados Unidos en el año de 1973, se pudo determinar que del total de los contaminantes del aire, el 9% correspondían a material particulado. Este grupo a su vez estaba conformado por aportes de fuentes individuales según el siguiente detalle: 3 % corresponde a los motores de vehículos, 53 % a la industria, 13 % a la generación eléctrica, 22 % corresponden a las calderas industriales, 9 % a la quema de desechos sólidos.

La materia particulada producida por otras fuentes estacionarias incluye la sal de los océanos, cenizas volcánicas, productos de la erosión por el viento, polvo de las carreteras, desechos de incendios forestales, el polen y las semillas de las plantas, etc.

La magnitud de los problemas ocasionados por las partículas son una función del rango del tamaño de las partículas presentes en la atmósfera local, la concentración, etc. La tabla V muestra una serie de definiciones (útiles) referente a material particulado en suspensión.

2.1. MECANICA DE PARTICULAS.

El movimiento de las partículas en suspensión si bien es cierto en gran medida depende de las condiciones meteorológicas locales, la importancia de las características físicas y químicas de aquellas, en todas las consideraciones que se hagan al respecto es sustancial. De ahí que todo tipo de mediciones, estimaciones, etc., deben combinar estos 2 factores.

Las leyes que rigen la mecánica de partículas cumplen 2 funciones muy importantes:

- 1.- Permiten predecir parámetros tales como concentraciones, tiempo de suspensión en el aire, distancias de viaje, etc.
- 2.- Diseñar equipos para control de contaminación.

Los valores cuantificables de fuerza de arrastre, velocidad de resuspensión, velocidad de asentamiento, etc. son necesarios al momento de diseñar equipos para estudios atmosféricos.

La diversidad de mecanismos empleados para colectar las partículas varían desde sedimentación por impacto y gravedad hasta el uso de electricidad y otras técnicas.

En vista que no todas las partículas poseen un diámetro definido en virtud de su forma irregular, se utilizan otros diámetros: aerodinámico y equivalente basado

en alguna propiedad de la partícula. El tipo de movimiento descrito por las partículas depende principalmente del diámetro.

En general, las partículas arrastradas por el aire varían su tamaño desde 0.001 hasta 500 μm , donde la mayor parte de ellas se ubican dentro del rango de 0.1 a 10 μm . Las partículas con un diámetro menor a 0.1 μm se caracterizan por moverse aleatoriamente, similar al movimiento realizado por las moléculas de un gas, en los cuales la dirección seguida es generalmente tomada como producto de colisiones entre ellas. Para el rango de 0.1 hasta 20 μm las partículas siguen la trayectoria descrita por el gas que las transporta. Las partículas con un diámetro mayor a 20 μm , se diferencian por poseer velocidades de asentamiento altas, lo que redundaría en períodos de transporte relativamente cortos.

Para realizar cálculos aproximados (estimaciones razonablemente exactas) de niveles de concentración, se utiliza información normalmente lograda en laboratorios, simulando condiciones semejantes. De ahí que datos como los mostrados a continuación resultan ser muy útiles:

0.1 μm	4×10^{-5} cm/s
1 μm	4×10^{-3} cm/s
10 μm	0.3 cm/s
100 μm	30 cm/s

Es posible medir concentraciones en situaciones o condiciones específicas, y determinar concentraciones típicas para aquellas.

Un método básico para remover partículas suspendidas en un gas, lo constituye el asentamiento por gravedad, procedimiento ampliamente utilizado en el sector industrial. Este método se sustenta en un parámetro: la velocidad de asentamiento o velocidad terminal, que es aquella alcanzada por una partícula en una dirección paralela a la fuerza ejercida por el campo gravitacional terrestre, en un período normalmente corto de tiempo.

En capítulo III se realiza un análisis detallado de los principales equipos usados para la medición de concentración y obtención de distribución de tamaño de los contaminantes particulados, enfatizando en el mecanismo de colección y rango de funcionamiento.

2.2. METODOS DE DESCRIPCION DE PARTICULAS.

Es de suma importancia mencionar la necesidad de obtener además de la concentración en masa (o en volumen) de las partículas, la distribución de tamaño de la muestra; puesto que se ha podido establecer de anteriores estudios y de la constante investigación la notable incidencia en la salud humana que tienen las partículas respirables, las cuales si bien es cierto representan un pequeño porcentaje de la concentración en masa, conforman en número una mayoría absoluta, con el agravante que poseen una característica perjudicial para los seres humanos: son capaces de penetrar en los pulmones.

Para poder caracterizar un cierto grupo o muestra de partículas es necesario apelar a la estadística y por inferencia a los métodos de descripción, que no son otra cosa que herramientas matemáticas que permiten observar las condiciones propias de cada muestra. Estas acciones generalmente tienen un propósito que es diseñar, seleccionar o emplear aparatos de control que permitan disminuir la contaminación atmosférica.

A continuación se realiza una descripción breve de las herramientas estadísticas empleadas:

Distribuciones de tamaño, distribuciones de frecuencias

Medidas de tendencia central de tamaño

Medidas de dispersión del tamaño

Distribuciones de masa y de Superficie

Con frecuencia es provechoso caracterizar toda una colección de partículas por medio de un solo diámetro. Los diámetros típicos utilizados con este fin son los modales, medianos, o medios. El diámetro modal se define como aquel diámetro en donde ocurre el mayor número de partículas. Otros diámetros útiles son el diámetro de mediano del número d_{NM} que es aquel para el cual el 50% de las partículas son mayores o menores, por conteo; el diámetro mediano de la masa d_{MM} , que es aquel para el cual la masa de todas las partículas mayores a que él constituye el 50% de la masa total. Finalmente tenemos el conocido

diámetro promedio. Estos gráficos son logrados en papel Log-Probabilístico y se constituyen en una herramienta muy útil en el estudio de partículas.

TABLA V: PARTICULAS EN SUSPENSION, DEFINICION DE TERMINOS

Partículas	Cualquier material, excepto agua no combinada, que existe en estado sólido o líquido en la atmósfera o en una corriente de gas en condiciones normales
Aerosol	Una dispersión de partículas microscópicas, sólidas o líquidas en medios gaseosos.
Polvo	Partículas sólidas de un tamaño menor que el coloidal, capaces de estar en suspensión temporal en el aire.
Ceniza fina	Partículas de ceniza finamente divididas arrastradas por el gas de combustión. Las partículas pueden contener combustible no quemado
Niebla	Aerosol visible
Vapores	Partículas formadas por condensación, sublimación, o reacción química predominante mayores de 1 μm (humo, tabaco).
Neblina	Dispersión de pequeñas gotas de líquido de suficiente tamaño como para caer desde el aire
Partícula	Masa discreta de materia sólida o líquida
Humo	Partículas pequeñas arrastradas por los gases, que resultan de la combustión
Hollín	Una aglomeración de partículas de carbón

Fuente: (1)

Puesto que los elementos necesarios para concretar el objetivo de reducir la cantidad de partículas en el aire, incluye la presencia de dispositivos de colección de partículas, es necesario ligar de manera permanente las características de

estas. Cada equipo de colección es diseñado para un trabajo específico, para lo cual posee un gráfico de eficiencia.

Frecuentemente se puede encontrar gráficos logrados con datos recogidos en monitoreos de partículas (independiente del tipo), en los cuales las concentraciones se presentan como distribuciones de masa, de superficie y de número, lo que constituye una forma muy útil y rápida de análisis.

CAPITULO III

METODOS E INSTRUMENTOS DE MEDICION DE MATERIAL PARTICULADO EN SUSPENSION.

INTRODUCCION

La continuidad en la investigación acerca de la instrumentación destinada a realizar muestreos y mediciones de partículas en suspensión constituye un aporte valioso en el estudio de los contaminantes particulados del aire. La importancia de estas herramientas no se concentra únicamente en el conocimiento de la calidad del aire atmosférico o en estudios de higiene industrial, sino que también intervienen en otras actividades tales como el monitoreo de contaminantes en cuartos limpios (electrónicos) o en la medición de contaminantes en los denominados gases de alta pureza utilizados en la manufactura de semiconductores.

En la década de los 70, casi la totalidad de los esfuerzos en instrumentación fueron dirigidos al estudio del aire atmosférico, sin embargo en los 80's nuevas aplicaciones industriales han sido desarrolladas. El uso de los microcomputadores y de programas que reducen el tiempo de procesamiento de la información que llega al equipo, han hecho posible que mediciones más precisas sean efectuadas.

Un grupo de partículas pueden ser caracterizadas por su concentración, distribución de tamaño y por su composición química. Otros parámetros físicos tales como el

coeficiente total de dispersión de luz (total light scattering coefficient) de una nube de aerosoles, también pueden ser evaluados. El interés básicamente se concentra en relacionar la concentración y el tamaño de las partículas en un rango determinado, por ejemplo desde 0.01 a 10 μm de diámetro y desde 1 hasta 10^6 partículas / cm^3 .

Las siguientes secciones de éste capítulo contienen información acerca de los instrumentos utilizados en el monitoreo de partículas en suspensión, el cual incluye todos las características importantes: rango de funcionamiento, funcionalidad, precisión, condiciones de uso, criterios de selección, etc., siempre haciendo énfasis en los equipos que puedan coleccionar partículas menores a 10 μm .

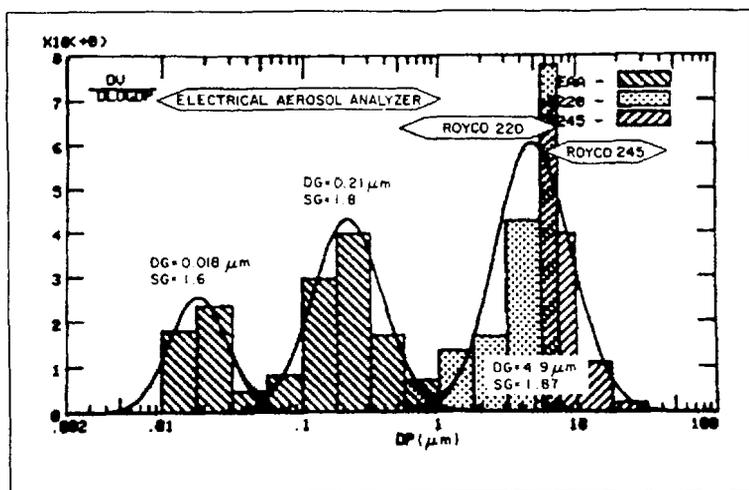
3.1 RANGO DE FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTOS PARA MONITOREO Y DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULAS EN SUSPENSION.

Las partículas en suspensión en el aire pueden cubrir un rango desde 0.002 hasta 100 μm , siendo el rango desde 0.01 hasta 10 μm el más importante. Una estructura detallada de la distribución de tamaño de las partículas en el aire se presenta en la figura 3.1, la cual muestra la naturaleza trimodal de la distribución atmosférica (4).

El modo que comprende a las partículas cuyo diámetro aerodinámico es igual o mayor a 2 μm corresponde a aquellas que son generadas mecánicamente en

actividades diversas, como por ejemplo el transitar de los vehículos automotores que resuspenden el polvo que hay en las vías o en la rotación de un ventilador utilizado en limpieza. Las partículas en éste modo generalmente contienen varios elementos (**crystal elements**) tales como silicon, hierro, aluminio, calcio, etc., sal, y partículas de plantas.

FIGURA 3.1
DISTRIBUCION DE TAMAÑO (TRIMODAL) PARTICULAS
ATMOSFERICAS



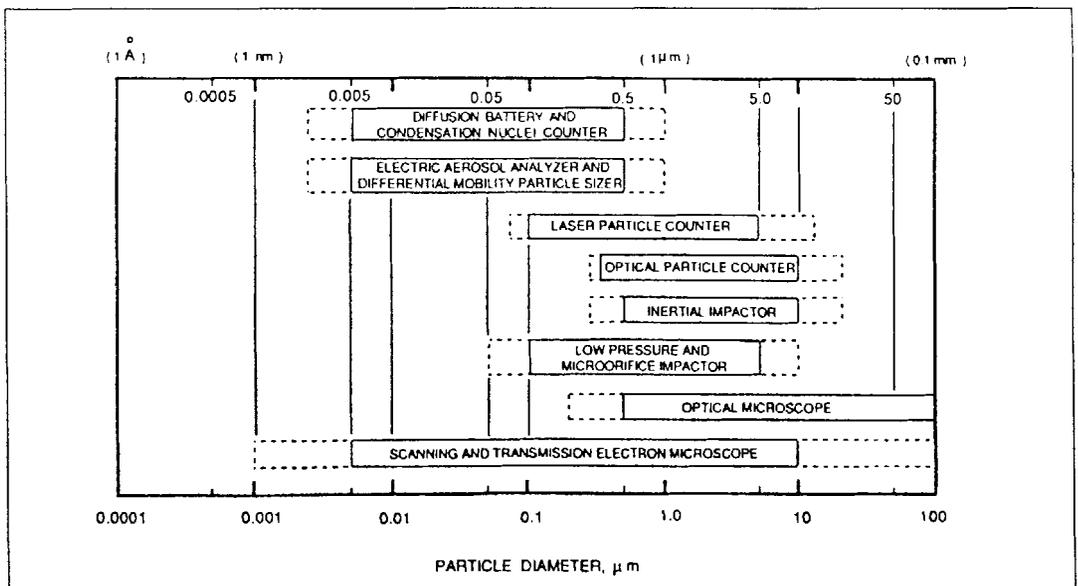
FUENTE: (4)

En contraste, los dos modos que comprenden los diámetros mas pequeños son los denominados modos de acumulación y son resultado del proceso de conversión gas-partícula. Usualmente, éstas partículas contienen sulfatos, nitratos, carbón orgánico y elemental, amonio, plomo y otros componentes. La cantidad

correspondiente a cada uno de los modos depende de las condiciones atmosféricas y de la polución debida a la industria local y al tráfico vehicular. Como ya mencionamos, las partículas en suspensión varían en un rango de 0.002 a 100 μm y puesto que la mayoría de los instrumentos cubren no más de dos cifras u órdenes de magnitud, por ejemplo de 0.1 a 10 μm o de 0.01 a 1 μm , etc., se han diseñado nuevos aparatos que cubren hasta cinco cifras. En la figura 3.2 se muestra el rango de trabajo de cada instrumento, que será el intervalo en que demuestre las bondades en precisión y eficiencia con las que ha sido construido.

FIGURA 3.2

RANGO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION



FUENTE: (4)

En las siguientes secciones de éste capítulo procederemos a describir aspectos importantes de los instrumentos utilizados tanto en métodos de muestreo manual como en mediciones automáticas (integrales) de concentración y distribución de partículas en suspensión en el aire.

3.2 DISPOSITIVOS PARA MUESTREOS MANUALES: DESCRIPCION Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Los dispositivos para muestreo manual son usualmente valiosos cuando las partículas atmosféricas son colectadas para subsecuentes análisis gravimétricos y/o químicos. La sensibilidad de las técnicas empleadas en éstos análisis depende de la razón de flujo utilizada, pues, una tasa relativamente baja de ésta (unos pocos litros por minutos por ejemplo) necesitará de una técnica altamente sensible como por ejemplo la de fluorescencia de rayos-X inducido en protón.

La colección de partículas puede ser hecha con un filtro simple de un material apropiado, para dar una muestra integrada y la concentración promedio de las partículas durante el tiempo del muestreo. También se puede usar un impactador por etapas que entrega la muestra fraccionada para realizar un estudio químico o para encontrar la concentración como función del tamaño de partícula. Los análisis pueden ser realizados con una balanza digital, técnicas húmedas de análisis químico seguido por extracción de la muestra, o mediante el uso de

varias técnicas de ensayos no-destructivos tales como energía dispersa rayos-X, fluorescencia de rayos-X, etc.

En las secciones siguientes cuando tratemos por separado cada uno de los dispositivos, se observará claramente las ventajas que ofrece el uso de cada instrumento, el cual es generalmente seleccionado en base a la características descriptivas de las partículas, pero en ocasiones se usan otros criterios.

Para la medición de partículas en suspensión en lugares de trabajo, el concepto de partículas respirables (menores a $10\ \mu\text{m}$) ha sido definido y considerado en dos estándares dictados por dos instituciones: Consejo de Investigación Médica Británica (BMRC) y la Conferencia Americana de higienistas industriales (ACGIH), las cuales poseen dos diámetros de corte diferentes: 5 y $3.5\ \mu\text{m}$, respectivamente.

A continuación describiremos en forma breve los instrumentos utilizados en muestreos manuales.

MUESTREADORES DE ALTO CAUDAL .

Es uno de los muestreadores con filtros más utilizados y está clasificado por la EPA como el dispositivo para colectar las partículas suspendidas totales (TSP). El muestreador opera haciendo pasar aire atmosférico a través de un filtro de $8'' \times 10''$ a una razón de flujo que varía desde 1.1 a $1.7\ \text{m}^3 / \text{min}$. El filtro es colocado

en el interior de una carcasa que lo protege de la interperie. Aunque la idea inicial es que el equipo recoja partículas hasta $100\ \mu\text{m}$, estudios hechos por Stevens y Dzubay (4) han probado que la entrada posee un diámetro de corte (efectivo) de sólo 25 a $50\ \mu\text{m}$ dependiendo de la velocidad y dirección del viento.

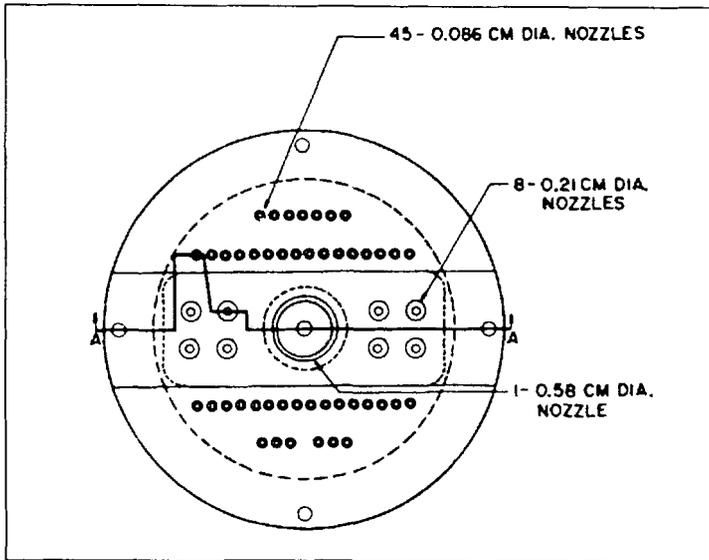
A comienzo de la década de los ochenta, se realizan cambios en las mediciones para hacerlas más precisas y poder determinar la cantidad de partículas en suspensión que se depositan en el sistema respiratorio de los seres humanos. Miller (5) propone una partícula inhalable o también llamada IP estándar, con un diámetro de corte de $15\ \mu\text{m}$. Sin embargo, en el segundo lustro de aquella década la U.S.E.P.A. propone una PM estándar (material particulado con diámetro de corte de $10\ \mu\text{m}$) como una medida de aquellas partículas capaces de alcanzar la región torácica de los pulmones humanos.

Es importante reiterar que el tipo de entrada que posee el muestreador de alto caudal es quien hace capaz de coleccionar partículas con un determinado diámetro de corte.

Las partículas mayores a $10\ \mu\text{m}$ (en el caso de un PM10) son separadas mediante impacto inercial en el interior del equipo y la forma de hacerlo puede ser tan diversa como por ejemplo un separador de ciclón (de Wedding y Weigand (4)) y un impactador de gargantas múltiples similar al descrito por McFarland (4) en el diseño de su denominada entrada selectiva de tamaño (fig. 3.3).

FIGURA 3.3

IMPACTADOR DISEÑADO PARA FRACCIONAMIENTO DE MUESTRAS DE PARTICULAS



FUENTE: (4)

MUESTREADOR DICOTOMICO

En la realización de estudios atmosféricos, en ocasiones es deseable dividir las partículas en dos fracciones, una correspondiente a las partículas “gruesas” cuyo modo está arriba de $2.5 \mu\text{m}$ y otra a las partículas finas por debajo de los $2.5 \mu\text{m}$. Las propiedades de los dos grupos tanto físicas como químicas son diferentes, por ejemplo la fracción de partículas finas muestran tendencia a ser ácidas y las gruesas tienden a ser básicas, por lo tanto la interacción partícula-partícula en el filtro de un equipo de éste tipo es reducida.

Un muestreador dicotómico es usado para separar las partículas colectadas en dos fracciones; cuando está adaptado a él una entrada PM10, el muestreador recogerá una fracción de 0-2.5 μm y de 2.5 -10 μm .

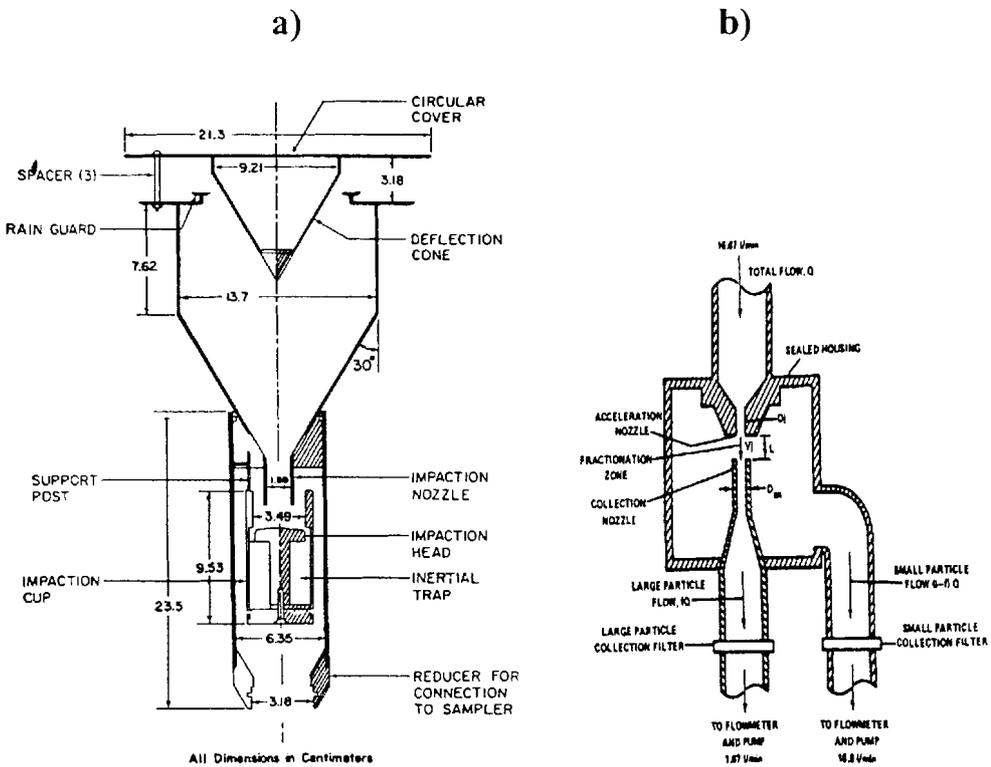
En la figura 3.4 se muestra en: **a)** el diagrama esquemático de una entrada para monitoreo de partículas respirables (PM10) descrita por Liu-Pui (4) y **b)** un muestreador dicotómico similar al diseñado por Loo (4) y que puede ser equipado con la entrada descrita en el ítem **a**. La separación de las partículas es llevada a cabo por un impactador virtual en el cual una garganta es usada para acelerar la corriente de aire que transporta las partículas y que impacta luego con un tubo receptor vacío que es usado para recoger las partículas “gruesas”.

Aproximadamente el 10% del flujo transportará las partículas gruesas, mientras el 90% del flujo lo hará con las finas, luego de lo cual ambas fracciones son filtradas por separado.

La trayectoria descrita por partículas de diferentes tamaños puede ser predecida mediante la utilización de las ecuaciones de Navier-Stokes (Marple y Chien (4)), tomando en consideración los diversos parámetros que afectan el diseño de el equipo, tales como: la razón de los flujos, el número de Reynolds en la garganta, la distancia del filtro a la garganta.

FIGURA 3.4

a) ENTRADA SELECCIONADORA DE PARTICULAS RESPIRABLES. b) MUESTREADOR DICOTOMICO (REF. 4)



Las fracciones de las partículas finas y gruesas son recogidas usualmente en filtros de membrana de teflón, la cual además de ser inerte posee una alta eficiencia de colección. El filtro de membrana colecta la partículas en la superficie a diferencia del filtro fibroso que lo hace en su espacio interior. El uso del filtro de membranas de teflón hace que se puedan aplicar sofisticadas técnicas de análisis químicos a las muestra colectadas.

IMPACTADOR DE CASCADA

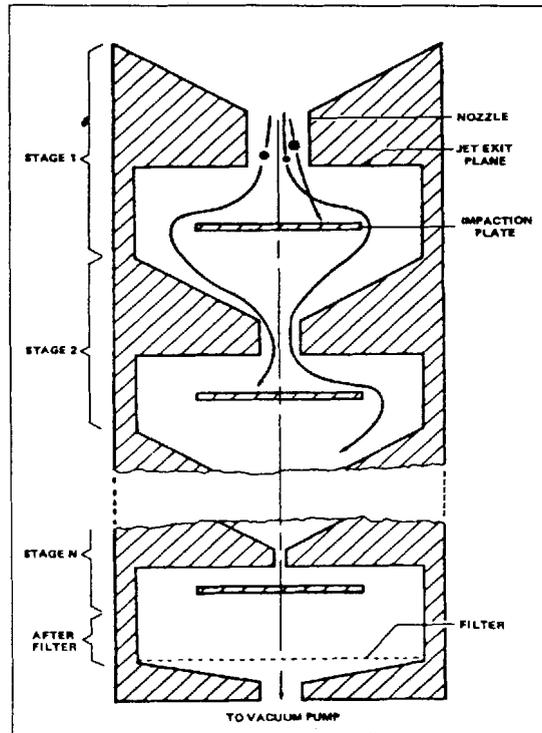
El impactador de cascada es usado ampliamente para fraccionar las muestras de partículas y poder obtener la descripción de ellas como función de su tamaño. Un impactador de una etapa consiste de una garganta dirigiendo una corriente de aire a alta velocidad contra una superficie sólida, la cual causará que las partículas cuyo diámetro sea mayor que el diámetro de corte de la etapa, impacten y se depositen, mientras las pequeñas siguen viajando en la corriente de aire alrededor de la barrera.

El diámetro de corte de cada etapa puede ser modificado si variamos el diámetro de la garganta o la velocidad del chorro de aire. Por medio de éste muestreador, un grupo de partículas que cubren un amplio rango de tamaño pueden ser estudiado en varios rangos más pequeños, donde es posible determinar su concentración como función del tamaño y su elemental composición química mediante absorción química o fluorescencia de rayos-X.

La figura 3.5 muestra el principio de operación de un impactador de cascada. Este equipo típicamente consta de seis u ocho etapas de impacto, en cada una de las cuales la superficie destinada a éste fin regularmente está cubierta por una capa adhesiva que evita el rebote de las partículas. El diámetro de corte es limitado por el tamaño de la garganta y por la caída de presión permisible a través del impactador; finalmente mencionaremos que el diámetro de corte más pequeño que puede coleccionar es de $0.3 \mu\text{m}$.

FIGURA 3.5

IMPACTADOR DE CASCADA



Fuente: (4)

Estudios realizados al finalizar los ochenta han dado lugar a la creación de un impactador para partículas más pequeñas, se trata de el impactador uniforme de micro-orificio, el cual ofrece un diámetro de corte por debajo de los $0.05 \mu\text{m}$, sin la necesidad de excesivas velocidades en la corriente de aire o muy bajas presiones en las etapas.

Cuando se trata de altas concentraciones en masa de contaminantes particulados en el aire se utiliza muestreador ciclónico, que separa las partículas mediante fuerza centrífuga y en el que no hay rebote de partículas como ocurre en otros impactadores.

Es posible encontrar ciclones en cascada para obtener la concentración como función del diámetro, pero su diseño es realizado con la teoría de prueba y error a diferencia del impactador virtual o separador dicotómico.

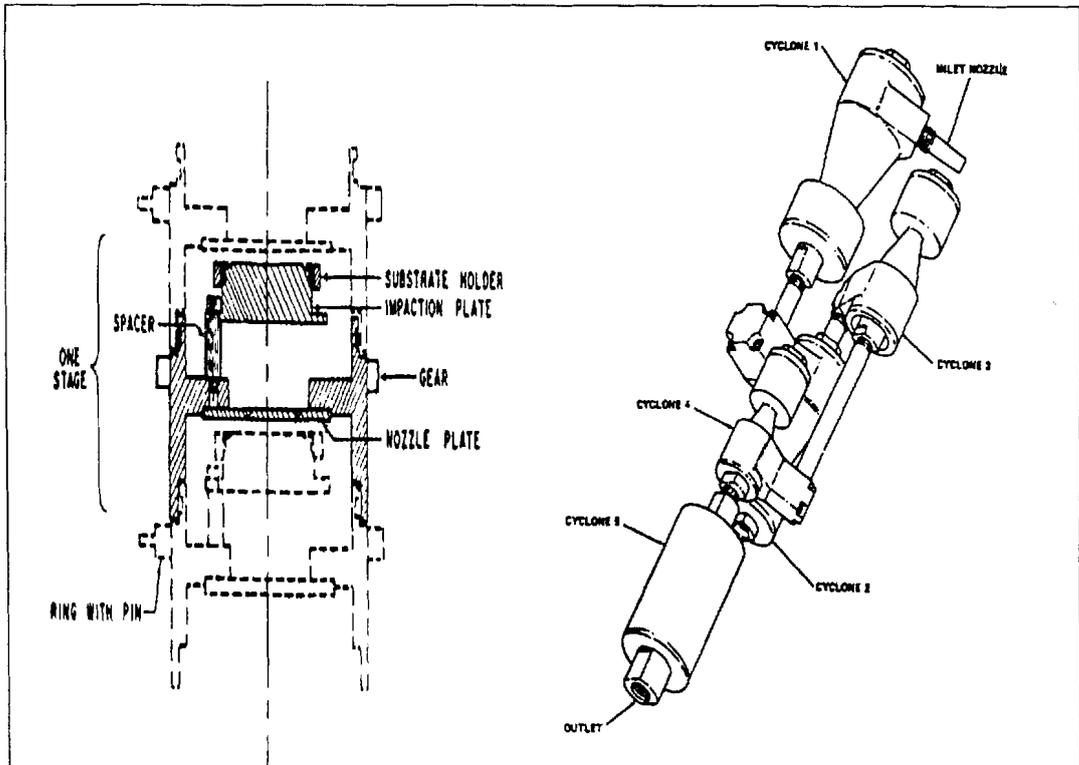
El impactador convencional tiene una limitación en su diámetro de corte ($0.3\mu\text{m}$), sin embargo éste puede ser reducido operando el equipo a bajas presiones o empleando chorros de gas a velocidades, lo cual permitiría obtener un diámetro de corte de $0.05\mu\text{m}$.

No obstante, esta práctica conlleva ciertas dificultades con partículas volátiles que pueden evaporarse a bajas presiones o partículas pesadas a altas velocidades.

En la figura 3.6 se muestra un impactador uniforme de micro-orificio y un ciclón en cascada.

FIGURA 3.6

a) IMPACTADOR DE MICRO-ORIFICIO, b) CICLON EN CASCADA



Fuente: (4)

3.3 DISPOSITIVOS AUTOMATICOS PARA MUESTREOS: DESCRIPCION Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

El desarrollo de los instrumentos automáticos capaces de realizar las mediciones en tiempo real, es por mucho el resultado de la disponibilidad de elementos

electrónicos modernos, tales como: fuentes de iluminación láser, detectores fotómetros de alta sensibilidad, amplificadores operacionales, microprocesadores y fuentes de poder pequeñísimas.

Instrumentos automáticos para mediciones de partículas están disponibles en un rango de 0.002 a 50 μm , con una gran rapidez de respuesta y que pueden detectar cambios rápidos en la concentración y en el tamaño de las partículas.

Equipos automáticos tradicionales de conteo de partículas utilizan una fuente de luz incandescente para evaluar concentraciones de partículas de hasta 0.3 μm de diámetro, mientras que los que usan fuentes láser de estado sólido pueden medir partículas más pequeñas que 0.05 μm .

Las herramientas estadísticas juegan un papel importante aquí debido a la gran cantidad de mediciones que se pueden realizar en un corto tiempo. De cualquier manera debemos señalar que éstos instrumentos requieren de minuciosa calibración y de técnicas de análisis postmuestreo más sofisticadas, por lo que casi siempre se los usa con fines de investigación.

Detectores integrales son aquellos que pueden ser usados para medir algunos parámetros de un grupo de partículas, como por ejemplo: concentración en masa o en número, coeficientes de extinción o de difusión de luz, etc.

A continuación presentamos una breve descripción de los instrumentos automáticos con los que se obtienen mediciones integrales de concentración y distribución de tamaño de partículas.

CONTADOR DE PARTICULAS POR CONDENSACION.

Este instrumento conocido como CNC (Condensation nucleus counter) es ampliamente utilizado para medir partículas que se encuentren en el rango de 0.002 a 1 μm .

El instrumento opera saturando la corriente de aire (que transporta las partículas) con vapor y produciendo una supersaturación por cualquiera de las dos siguientes maneras: Expansión adiabática o enfriamiento por contacto directo para provocar condensación del vapor sobre las partículas.

Las partículas crecen a un tamaño que puede ser detectado ópticamente por expansión de la luz (light scattering). El rango de medición de concentración del equipo es de 0.01 a 10^6 partículas/ cm^3 .

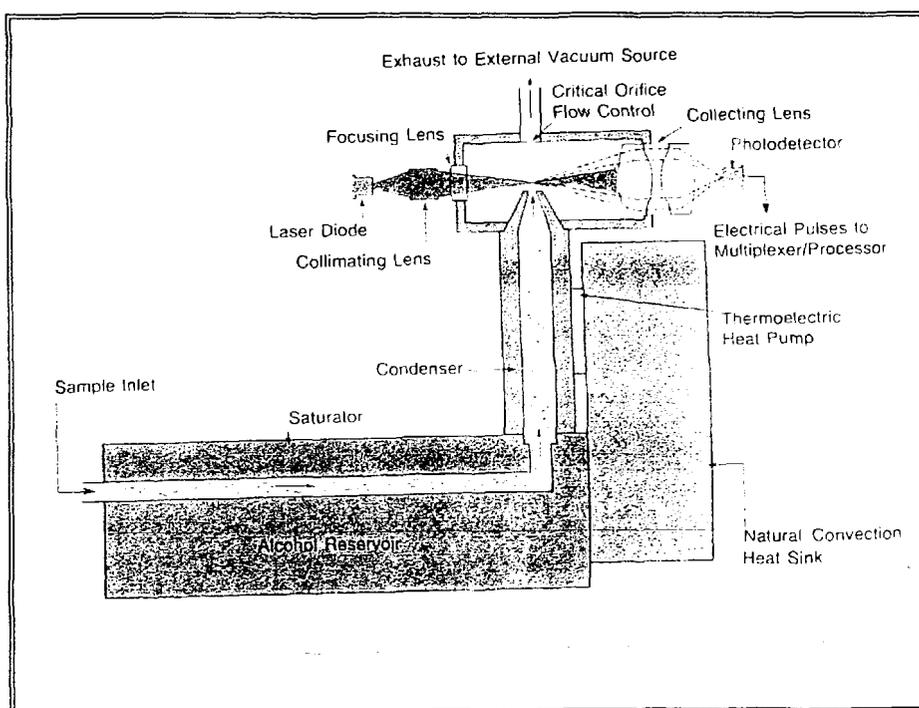
Existen CNC disponibles comercialmente (figura 3.7) cuyo funcionamiento es descrito por Liu-Pui (4). A partir del hecho que únicamente se use al CNC para medir concentraciones, una innovación puede ser hecha al combinarlo con un filtro seleccionador de tamaño.



Las partículas pasan a través de pantallas de metal de diferentes tamaños, aquellas con un tamaño menor a otro previamente seleccionado pueden ser removidas, usando una serie de pantallas y el CNC la distribución de las partículas puede ser lograda.

FIGURA 3.7

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE CNC



FUENTE : (4)

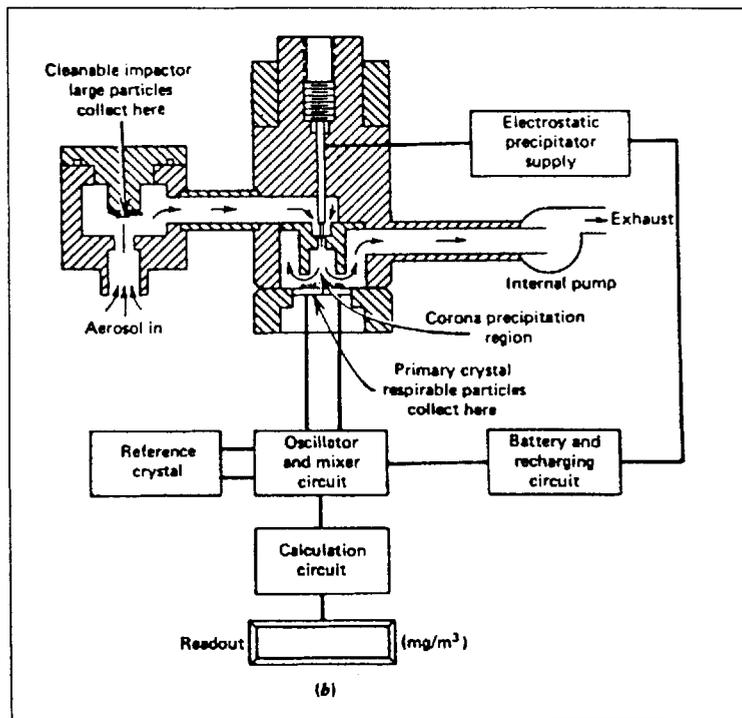
MICROBALANZA DE CRISTAL DE CUARZO.

Algunos sensores para mediciones de concentración en masa han sido desarrollados en años recientes. Al depositarse las partículas en un cristal de

cuarzo (sensor), la frecuencia vibratoria natural de el cristal se ve afectada y es utilizada como una medida de la masa de las partículas depositadas. El asentamiento de las partículas puede ser logrado por precipitación electrostática o por impacto inercial. La sensibilidad de la balanza de cristal de cuarzo es aproximadamente 5×10^{-9} g. La figura 3.8 presenta el esquema de una microbalanza piezoeléctrica operada a batería para detección de partículas respirables (PM10).

FIGURA 3.8

MICROBALANZA PIEZOELECTRICA PARA MEDIR PM10



Fuente: (11)

El instrumento incorpora un impactador a la entrada para remover las partículas no-respirables, permitiendo a las que acceden depositarse mediante precipitación electrostática en el cristal de cuarzo para su medición. El rango de funcionamiento de la balanza es de 0.05 a 5.5 mg.

Investigaciones realizadas en la segunda mitad de la década de los ochenta acerca de la técnica de sensar la masa de las partículas incluyen el uso de una masa vibrando en baja frecuencia acompañado por un filtro colector, lo cual extiende el rango de medición del instrumento a g/m^3 .

Esta técnica es aplicada también para medición de partículas en corrientes de gas sometido a altas temperaturas y presiones.

MEDIDOR BETA.

Instrumentos basados en la atenuación de la radiación beta a través de una masa de partículas colectadas en una superficie, han sido desarrollados para medición de concentración de partículas respirables aplicaciones de molienda y en estudios del aire atmosféricos. Estas partículas pueden ser depositadas por filtración o impacto.

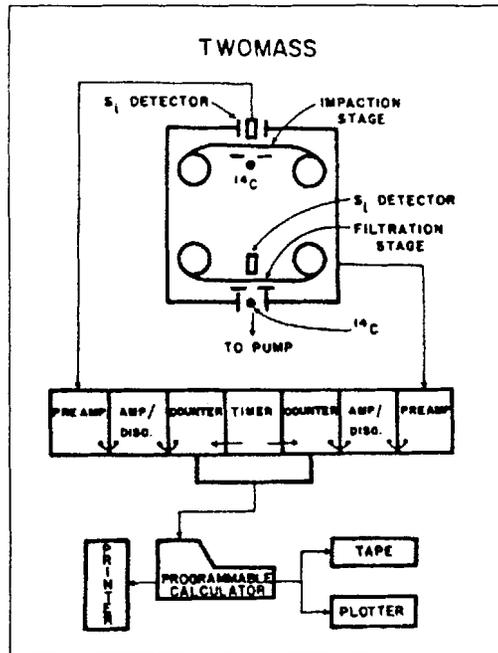
En la figura 3.9 se muestra un monitor de dos etapas de concentración (en masa) en aire atmosférico, basado en el principio de atenuación de radiación beta (4), y

el cual separa las partículas en dos fracciones por impacto y filtración usando una cinta rotatoria.

Existen técnicas misceláneas para estudios atmosféricos; el coeficiente total de dispersión de la luz que está relacionado con la visibilidad atmosférica (y calculado a menudo por un fotómetro o un nefelómetro integrado) es importante para aquellas muestras de aerosoles que difieren únicamente en concentración pero que poseen la misma distribución de tamaño, ya que dicho coeficiente puede ser convertido a concentración en masa.

FIGURA 3.9

MEDIDOR BETA



Fuente: (5)

Otros instrumentos tales como nefelómetros, transmisómetros, fotómetros y el detector eléctrico (EAD) son parte de estas técnicas de muestreos integrales (4). La tabla VI muestra un resumen de los principales detectores usados en equipos integrales de medición de partículas y sus características:

TABLA VI: DETECTORES AUTOMATICOS (INTEGRALES) PARA MEDICION DE CONCENTRACION DE PARTICULAS EN SUSPENSION

DETECTOR	Razón de Flujo [l/min]	Rango de tamaño [μm]	Limite inferior de concentracion
CONCENTRACION EN NUMERO			
Contador de partículas por condensación (Partícula simple)	0.3-1.4	0.005-0.5	0.01 cm^{-3}
Contador de partículas por condensación (Fotométrico)	3-10	0.005-0.5	10 cm^{-3}
Contador de partículas por condensación (Láser)	0.1-28	0.1-20	0.001 cm^{-3}
CONCENTRACION EN MASA			
Microbalanza de cristal de Cuarzo	1-5	0.01-20 electrost 0.3-20 impacto	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sensor de atenuación Beta	1-12		10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Fotómetro, Nefelómetro	1-100	0.1-2	
Detector eléctrico de aerosoles	0.5-20	0.01-2	

3.4 INSTRUMENTOS PARA OBTENCION DE DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE UNA MUESTRA DE PARTICULAS

A continuación describiremos brevemente algunos de los instrumentos automáticos utilizados para obtener la distribución de tamaño de un grupo de partículas:

- **Contador óptico de partículas.-**

Es un instrumento ampliamente utilizado tanto en ambientes internos como externos. Partículas individuales son llevadas por una corriente de aire a través de un volumen iluminado en el instrumento que hace que la luz sea reflejada y esparcida en un fotodetector, el cual a su vez genera un pulso cada vez que una partícula atraviese dicho volumen. Existen varios diseños de contadores, los cuales se diferencian notablemente en su rendimiento y características. La figura 3.9 muestra el principio de operación de un contador óptico de partículas.

- **Analizador eléctrico de aerosoles**

El analizador eléctrico de aerosoles (EAA) utiliza la técnica de la movilidad eléctrica para la obtención de la distribución de tamaño de un grupo de partículas. La alta movilidad eléctrica de las partículas submicrométricas en un campo eléctrico hace que sea posible separar y clasificar partículas cargadas eléctricamente. Otros instrumentos para distribución de partículas son los siguientes: Bateria de difusión, Analizador diferencial de movilidad + CNC, Impactador de cascada, etc.

CAPITULO IV

CARACTERISTICAS METEOROLOGICAS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

4.1 CIRCULACION ATMOSFERICA Y SU IMPACTO EN LA CONTAMINACION DEL AIRE

La meteorología es el estudio y la predicción de cambios climáticos que resultan de la circulación global atmosférica. El control de la contaminación atmosférica requiere el conocimiento de los principios de meteorología y de los patrones de circulación globales y locales. Las condiciones meteorológicas locales pueden restringir los procesos de mezcla y dispersión de contaminantes gaseosos, ocasionando altas concentraciones que afectan el bienestar humano. Este fenómeno ocurre cuando se producen inversiones atmosféricas que confinan los contaminantes gaseosos a volúmenes de aire restringidos.

Es conocido que la dispersión de los contaminantes en la atmósfera se efectúa por medio de dos mecanismos generales: la velocidad promedio y la turbulencia atmosférica; de ahí que los patrones globales de circulación atmosférica son elementos importantes cuando se trata de estimar el impacto de los contaminantes del aire en un área determinada.

La velocidad y dirección del viento a nivel global depende básicamente de cuatro fuerzas:

- 1 Fuerza generada por los gradientes de presión.
- 2 Fuerza deflectora de Coriolis
- 3 Fuerza de fricción
- 4 Fuerza centrífuga

La dirección del viento esta definida como la dirección desde donde el viento está soplando. La velocidad del viento aumenta con la altitud de acuerdo a la siguiente relación: $(u_2 / u_1) = (z_2 / z_1)^p$, donde p es un exponente que depende de las condiciones de estabilidad atmosférica.

Dentro de los denominados efectos locales de circulación conocemos a aquellos producidos por la diferente rapidez de calentamiento y enfriamiento superficial y son los siguientes: *la brisa marina y los vientos montaña-valle*. Estos dos efectos producen vientos locales cuya dirección cambia 180 grados entre el día y la noche.

Una manera efectiva de presentar gráficamente el patrón promedio de una localidad es mediante una rosa de vientos donde se puede ver la distribución temporal de dirección y magnitud del viento.

Una variable ampliamente utilizada y de vital importancia en los niveles de contaminación que puede tener una zona geográfica es la estabilidad atmosférica y mezcla vertical. La estabilidad atmosférica es definida en base a la resistencia

que ofrece la atmósfera a la mezcla vertical de contaminantes gaseosos. Cuando la resistencia es alta se dice que la atmósfera es estable y viceversa.

Para poder clasificar la estabilidad atmosférica se han establecido criterios que están basados en el valor actual de la tasa de cambio de la temperatura (Γ) ó también denominado gradiente de temperatura (ver tabla VII)

TABLA VII : CRITERIOS DE ESTABILIDAD ATMOSFERICA

Tasa de cambio de temperatura	Condicion de estabilidad
$\Gamma > \Gamma_d$	Inestable
$\Gamma = \Gamma_d$	Neutral
$\Gamma < \Gamma_d$	Estable

Donde Γ_d es conocido como tasa de cambio adiabática seca, cuyo valor es de 0.98 °C/100 m. o 5.4° F /1000 ft. Esto significa que una parcela de aire seco se enfriará 0.98 °C al elevarse 100 metros debido a una expansión adiabática.

Cuando la tasa de cambio de temperatura es negativa (la temperatura aumenta con la altitud) se produce una inversión de temperatura, la cual genera las peores condiciones de mezcla en el aire, atrapando los contaminantes gaseosos en un volumen restringido de aire.

Se conocen tres tipos de inversiones:

Inversiones Frontales

Inversiones por asentamiento

Inversiones radioativas

Para poder establecer la condición de la atmósfera es necesario realizar mediciones de temperatura a diferentes alturas. En un trabajo anterior de contaminación en la ciudad de Guayaquil (6) se determinó que en varios años de mediciones no se registran grandes diferencias en las lecturas obtenidas de temperatura a la misma altitud.

El tipo de superficie estudiada y los elementos que sobre ella se asientan merecen especial consideración al momento de predecir la concentraciones de contaminantes. Partiendo del hecho que el gradiente de velocidad del viento depende de la cantidad de objetos sobre la superficie y la separación entre ellos, es lógico suponer que para una misma tasa de emisión de contaminantes sobre áreas de distinta ocupación (Ej.:urbana y rural), las condiciones de mezcla y dispersión sean diferentes.

El gradiente de velocidad aumenta desde cero en la superficie hasta una altura (100 % del gradiente) en la cual los efectos de la viscosidad no son apreciables.

4.2 CONDICIONES ATMOSFERICAS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

De la sección anterior se desprende la evidente relación que hay entre las condiciones meteorológicas de un lugar y sus implicaciones en el riesgo de

episodios de alta contaminación atmosférica. La selección de zonas industriales, los límites permisibles de emisiones establecidos por leyes y el diseño de chimeneas altas deben considerar las condiciones de estabilidad atmosférica, la frecuencia y tipo de inversiones de temperatura y otros parámetros meteorológicos para garantizar una dispersión adecuada de los contaminantes atmosféricos.

La ciudad Guayaquil es una ciudad que se caracteriza por tener condiciones meteorológicas casi uniformes, las cuales registran pequeñas variaciones en espacios cortos de tiempo en la estación lluviosa. La aseveración de la uniformidad de la atmósfera porteña es ratificada en los datos recabados de las estaciones locales: aeropuerto, Base Naval, La Cemento Nacional. En cada una de las estaciones mencionadas es posible información de temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, etc.

La ubicación geográfica de Guayaquil, cercana a la línea Ecuatorial hace que sea una ciudad de clima cálido con dos estaciones bien definidas, como son invierno y verano.

Refiriéndose a promedios usuales excluyendo acontecimientos inesperados o condiciones excepcionales, la estación veraniega registra una temperatura promedio de 24 °C y humedad relativa entre el 70 y el 80%; mientras que en invierno se registran 26 °C y una humedad entre el 90 y el 100%.

En lo concerniente al viento y su injerencia en la dispersión de contaminantes del aire, en Guayaquil la dirección predominante es Sur-Oeste con variaciones cortas pasado el mediodía a Sur-Este y con una velocidad promedio de 1.5 m/s.

Como se mencionó en la sección precedente la estabilidad atmosférica es un parámetro de vital importancia y que para su cuantificación requiere considerar la tasa de temperatura. En Guayaquil se ha determinado que no existen inversiones de temperatura.

4.2.1 ESTACIONES METEOROLOGICAS LOCALES

Los datos meteorológicos utilizados han sido gentilmente proporcionados por la Estación Cerro Blanco perteneciente a la compañía La Cemento Nacional, la cual está instalada a 4 metros de altura sobre una cubierta de oficinas en la planta de producción ubicada en el Km. 18 de la Vía a la costa. La información es recabada mediante la utilización de un software, el cual presenta la información en una hoja de cálculo para su análisis.

De la base de datos de la estación de la Cemento nacional se puede observar la cantidad de radiación solar (total) medida cada hora, a partir de la cual y utilizando la tabla que muestra las claves de las categorías de la estabilidad (1); se puede deducir que para la estación climática de invierno la estabilidad atmosférica en el día es moderadamente inestable y por las noches es ligeramente estable.

TABLA VIII: PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS EN CERRO BLANCO, PRIMER SEMESTRE 1997

	Windvane Degrees	Humidity %RH	Air Temp deg C	Energy W/m2	Soil Temp deg C	Windspeed m/s	Rainfall mm/h
MES:	ENERO-97						
PROMEDIO	174	72	25.9	153	27.8	1.16	
MAXIMO	322	95	34.4	1079	47.7	3.12	12
MINIMO	56	38	21.0	-10	22.2	0.11	0
TOTAL							72
MES:	FEBRERO-97 DEL 1º AL 11 Y DEL 24 AL 28 DE FEBRERO						
PROMEDIO	178	76	26.5	179	28.6	1.13	
MAXIMO	271	94	32.7	1191	46.6	2.90	24
MINIMO	56	50	21.8	-10	22.4	0.00	0
TOTAL							184
MES:	MARZO-97						
PROMEDIO	191	79	26.9	177	28.4	1.09	
MAXIMO	314	93	34.1	1152	46.5	3.13	21
MINIMO	62	53	22.5	-10	21.7	0.07	0
TOTAL							323
MES:	ABRIL-97						
PROMEDIO	186	77	27.1	201	29.4	1.09	
MAXIMO	315	95	34.2	1079	47.6	2.89	31
MINIMO	32	41	22.5	-10	22.3	0.16	0
TOTAL							202
MES:	MAYO-97						
PROMEDIO	195	78	27.5	175	29.9	1.09	
MAXIMO	288	95	33.8	1025	44.9	3.41	37
MINIMO	60	55	23.4	-10	22.6	0.14	0
TOTAL							131
MES:	JUNIO-97						
PROMEDIO	201	78	27.0	162	29.0	1.18	
MAXIMO	287	95	33.9	995	43.3	2.36	4
MINIMO	60	53	22.4	-8	22.8	0.16	0
TOTAL							21
MES:	JULIO-97						
PROMEDIO	205	77	27.2	163	28.6	1.15	
MAXIMO	296	95	33.5	970	43.2	2.41	7
MINIMO	60	54	22.9	-10	22.6	0.14	0
TOTAL							34

La estación permite registrar lecturas cada 10 minutos de los siguientes parámetros: Velocidad del viento, dirección del viento, temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, energía solar y temperatura del suelo.

La tabla VIII presenta un resumen que contiene los valores máximos, mínimos y promedios logrados por cada mes, durante el primer semestre del presente año. Los valores ahí mostrados ratifican lo antes mencionado, en particular sobre la radiación solar que presenta un máximo de 1.191 vatios por metro cuadrado (W/m^2) (cualitativamente radiación solar total mayor que $1.000 W/m^2$ es radiación fuerte)

CAPITULO V

DISEÑO DEL PLAN DE MONITOREO

La consecución de los objetivos trazados en éste proyecto, se sustenta en gran medida en el diseño apropiado del plan de monitoreo, el cual permitirá la obtención de resultados reales en las mediciones, así como también indicará la cantidad de recursos necesarios y suficientes para el buen desarrollo del trabajo.

La cantidad de estaciones de monitoreo al igual que la ubicación de ellas, están dadas entre otros factores por la diversidad de las actividades desarrolladas en el área de estudio, por el tamaño de ésta, sin olvidar desde luego las condiciones atmosféricas patrones o normales.

Una vez identificados los objetivos y seleccionadas las estaciones, es necesario la conformación del equipo humano (manejo de instrumentos, obtención y análisis de información y resultados), detallar los instrumentos apropiados para el monitoreo, tanto los equipos principales como el material auxiliar.

La actividad desarrollada al inicio es la recopilación de toda la información disponible referente a partículas que contribuya a esquematizar el plan y determinar objetivos. La información puede tener diversos orígenes, tales como estudios previos que eviten repetición de esfuerzos y sugieran puntos claves, planos del área de estudio identificando zonas de asentamientos industriales, comerciales, residenciales y combinaciones de ellas.

5.1 CRITERIOS PARA SELECCION DE LUGARES PARA LAS MEDICIONES

Una vez que se ha conformado el equipo de trabajo y se cuenta con los instrumentos necesarios para el monitoreo, se tomó como punto de partida la siguiente información:

- La ubicación de zonas de alta emisión de contaminantes particulados (inventario de emisiones industriales y zonas de alto tráfico vehicular)
- La identificación de aquellos procesos que generan emisiones significativas de partículas al aire (inventario)
- La distribución de las áreas: Industrial, residencial, comercial de Guayaquil y sus características.
- Las condiciones meteorológicas de la ciudad de Guayaquil
- El nivel del terreno (Topografía)
- La disponibilidad de espacio físico para la ubicación de los equipos y la colaboración de personas e instituciones.

Puesto que los contaminantes atmosféricos pueden viajar grandes distancias, las partículas menores a $10\ \mu\text{m}$ que constituyen la fracción de menor diámetro dentro de las partículas en suspensión en el aire, pueden encontrarse lejos de su punto de generación dependiendo de las condiciones meteorológicas y de la forma del terreno. En base a lo expuesto y a que Guayaquil es una ciudad con diferentes sectores industriales, es procedente entonces abarcar todos los sectores

de la ciudad y suburbios, pero de manera especial a aquellos donde la presencia de altas concentraciones ocasionaría efectos perjudiciales para el desenvolvimiento de la vida humana.

De acuerdo con recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, nuestra ciudad con aproximadamente 3 millones de habitantes requiere de al menos 8 estaciones de monitoreo de partículas. La distribución debe asignar al sector industrial un mayor porcentaje del total de las mediciones. En cada estación se realizarán 3 mediciones, correspondientes a dos días laborables (generalmente Martes y Jueves) y uno no laborable (Domingo).

Del inventario de las emisiones producidas en el año 1993 (7) se destaca el hecho que la industria que aporta con la mayor cantidad de partículas al aire es la de producción de cemento y concreto clasificada internacionalmente en las Naciones Unidas como CIU36 (apéndice E). Sumados al cemento, la extracción de piedra, arcilla y producción de cal (CIU29), el aporte se vuelve más importante.

A partir de éste antecedente y tomando en cuenta que el sector donde se asientan las mencionadas industrias es el mismo, y con el agravante que la zona tiene a poca distancia asentamientos planificados con crecimiento demográfico importante (ciudadelas, colegios, clubes, etc.) justo corriente abajo en la dirección general del viento, se han ubicado 3 puntos de monitoreo (zona Noroeste): uno corriente arriba (upwind) y dos corriente abajo (downwind).

5.1.1 LIMITACIONES DEL PROGRAMA DE MONITOREO

Un programa serio de monitoreo y del que se pueda obtener una buena cantidad de información (que permita conseguir su máximo objetivo: proteger la vida, creando normas de control (Obligado cumplimiento) de emisión de contaminantes, debe ser permanente; es decir una vez que empieza debe continuar a través del tiempo. Esta es la única forma de ver como van cambiando los niveles de contaminación a través de los años y también de establecer relaciones entre la contaminación y las estaciones climáticas locales.

Un monitoreo también permite evaluar estrategias de control que hayan sido ejecutadas para disminuir la emisión de contaminantes, además que contribuye a evitar episodios graves de contaminación, similares a los que ocurren en ciudades como Santiago, México, Londres, etc.

Es claro, entonces que los costos involucrados en el desarrollo de un programa de monitoreo continuo son altos, debido a que necesitan de equipos sofisticados que requieren de una inversión inicial elevada, acompañada de personal técnico altamente calificado, tanto de campo como de laboratorio, etc. De ahí se desprende que la decisión final sobre la frecuencia de mediciones y el tiempo de duración del monitoreo esté determinada por los recursos económicos con que se cuentan para ejecutar el programa.

Un limitante de menor proporción está relacionado con las condiciones necesarias para efectuar las mediciones, dado que el lugar donde se coloque medidor PM10 debe poseer algunas particularidades, tales como: estar alejados de fuentes de emisión (chimeneas) y de superficies que absorban contaminantes (árboles, paredes, etc.), fácil acceso durante el día, suministro continuo y regular de energía eléctrica.

5.1.2 SITIOS SELECCIONADOS

Las estaciones seleccionadas han sido distribuidas según los criterios anteriormente expuestos y cubren un gran porcentaje de la ciudad. Los sitios de muestreo comprenden todos los sectores de la urbe de acuerdo a su clasificación tanto por ubicación geográfica: Norte, Sur, Este y oeste; como por actividad desarrollada: Industrial, comercial y residencial.

La tabla IX muestra la ubicación de las estaciones, las fechas de medición, la ubicación geográfica de cada una, tomando como referencia entre Norte y Sur una línea imaginaria sobre la calle 9 de Octubre, y entre Este y Oeste una sobre la Avenida Quito.

TABLA IX: CALENDARIO DE MEDICIONES

Estación	Lugar y Ubicación Geográfica	# Medición (PM10)		
		1	2	3
1	Puerto Hondo (NO) Km. 16½, vía a la costa	Febrero 4	Febrero 6	Febrero 9
2	Puerto Azul (NO)	Febrero 16	Febrero 18	Febrero 19
3	Espol, Campus (NO) Prosperina	Enero 5	Enero 7	Enero 9
4	Base Naval Sur (SO)	Marzo 2	Marzo 4	Marzo 6
5	Planta Diario "El Universo" (SE)	Abril 6	Abril 8	Abril 10
6	Centro de la ciudad (C) Gral. Córdova y Junín	Abril 13	Abril 15	Abril 17
7	Alborada (NE), Centro Comercial la Rotonda	Abril 20	Abril 22	Abril 24
8	Ciudadela "Los Sauces #6" (NE)	Abril 27	Abril 29	Mayo 1
9	Mapasingue (NO) Km. 5 ½	Mayo 4	Mayo 6	Mayo 8
10	Parque Industrial Pascuales (NO)	Mayo 14	Mayo 16	Mayo 18

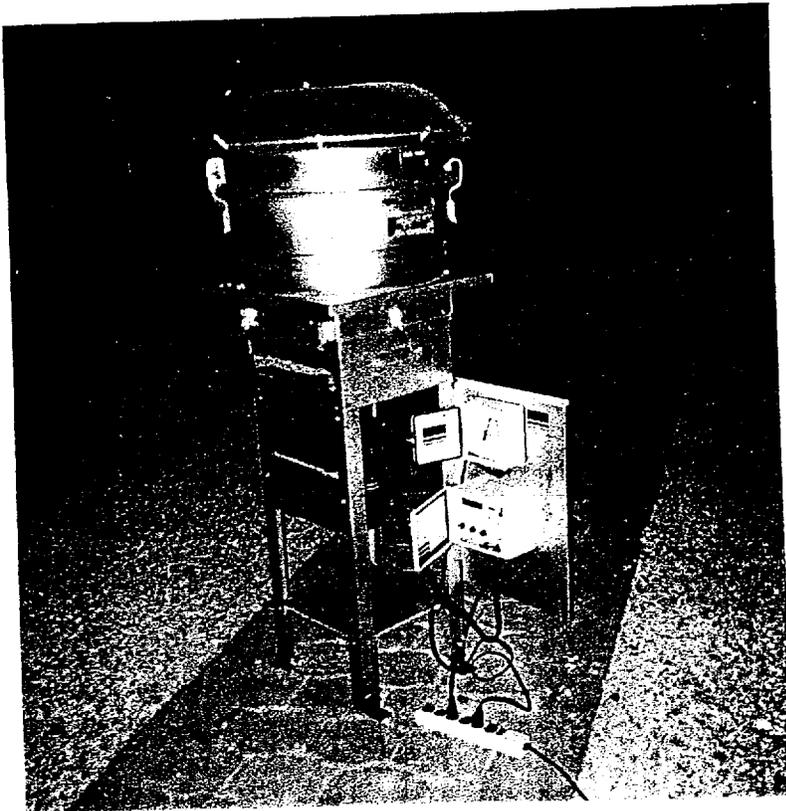
5.2 DESCRIPCION DEL EQUIPO Y PROCEDIMIENTO DE MEDICION

El equipo principal empleado en el desarrollo del proyecto es un medidor de alto caudal acoplado con una entrada seleccionadora de tamaño tipo PM10 (ver figura # 5). Puesto que es necesario conocer la temperatura promedio durante todo el período de muestreo, se ha utilizado un registrador continuo multipunto de temperatura complementado por 2 termocuplas. Un detalle de los equipos utilizados en las mediciones se muestran en la tabla X.

**TABLA X : INSTRUMENTACION UTILIZADA PARA MONITOREO DE
PM10**

CANTIDAD	DESCRIPCION	MARCA	MODELO
1	Equipo medidor de partículas de alto caudal	Sierra-Andersen	1200 VFC-HVPM10
1	Equipo medidor de temperatura multipunto	Omega	180A-12
1	Termocupla	Omega	Tipo E
1	Termocupla	Omega	Tipo T

FIG. # 5: MEDIDOR DE ALTO CAUDAL, ACOPLADO CON ENTRADA PM10



Para obtener un minucioso detalle acerca del funcionamiento de los equipos refiérase al manual de funcionamiento que acompaña a cada uno de ellos. Es

importante anotar que cada equipo requiere de un set de materiales adicionales para trabajar.

A continuación se presenta un resumen de las etapas o pasos a seguir para una realizar una medición de PM10.

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

El procedimiento de medición de concentración de PM10 que se ha utilizado y que se detalla más adelante (excepto en lo relacionado al medidor de temperaturas), es el método Federal de referencia vigente en los Estados Unidos de Norteamérica y reconocido por la EPA (8).

ANTES DEL MUESTREO:

En esta parte se cumplen las siguientes actividades:

- Pesar cada filtro con 48 horas de anticipación a su uso, realizar seguimiento del peso del mismo efectuando mediciones sucesivas hasta su utilización (para observar variación del peso con la humedad) y mantenerlo en condiciones estables (obsérvese apéndice J).
- Instalar el PM10, medidor de temperaturas, termocuplas y equipo auxiliar (supresores de pico, variador de voltaje, etc.) en el sitio de monitoreo
- Colocar el filtro y la carta de verificación de flujo en el medidor
- Verificar el voltaje de salida de la toma de la red pública; observar las variaciones y en caso de ser necesario utilizar un regulador de voltaje

- Programar el timer (temporizador) para el arranque.
- Llenar la hoja de muestreo con los datos correspondientes a éste período

Para ver el equipo listo para la medición ver el apéndice I.

MUESTREO:

El equipo trabaja tres días en cada estación (previamente seleccionado) de los cuales dos días son laborables y el otro es Domingo; cada período de medición es de 24 horas continuas a partir de las 00H00. Durante el muestreo el equipo medidor de temperatura registra lecturas cada 60 segundos, las cuales son usadas para determinar la temperatura promedio del período.

Adicionalmente se lleva registro de las actividades que tienen lugar en las cercanías de la estación ya que están estrechamente ligadas a la contaminación atmosférica y podrían tener incidencia en los resultados.

DESPUES DEL MUESTREO:

Cuando el período de muestreo ha concluído el filtro es retirado y trasladado hacia el lugar de “cuarentena”, donde se lo mantiene en las mismas condiciones ambientales que existían antes del muestreo. Se procede a realizar mediciones sucesivas (pesajes) en el laboratorio hasta observar que el peso se estabilice (normalmente entre 36 y 72 horas) . La carta del verificador de flujo del PM10 es revisada para observar si el período de muestreo ha sido normal. El equipo registrador nos permite obtener la temperatura ambiente promedio en el período.

5.3 RESULTADO DE LAS MEDICIONES

Una vez obtenidos los valores de los parámetros cuantificables en el monitoreo de PM10, se ha procedido a realizar su procesamiento respectivo, creando una hoja de cálculo basada en el método recomendado por el fabricante de la unidad de medición (Medidor de alto caudal).

En la tabla XI se muestran un resumen de los resultados por estación. Para conocer en detalle el cálculo e ingreso de variables, observar el apéndice A.

TABLA XI: CONCENTRACION DE PM10 POR ESTACION ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)

<i>DLA</i> ↓	→ <i>ESTACION #</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
<i>LABORABLE</i>		37.6	25.9	25.6	20.4	39.1	25.1	29.3	24.2	75.9	81.3
<i>LABORABLE</i>		37.7	23.4	29.7	21.3	40.6	29.0	44.9	24.9	47.2	69.8
<i>NO LABORABLE</i>		23.7	26.8	23.5	19.1	36.6	22.9	19.6	28.8	48.8	34.7

Los resultados han sido obtenidos con una exactitud razonable, pues las limitaciones propias de las características de los equipos y de los recursos humanos y económicos disponibles para la ejecución del proyecto, demarcan el alcance y la exactitud del monitoreo.

CAPITULO VI

ANALISIS DE RESULTADOS DE MEDICIONES EXPERIMENTALES

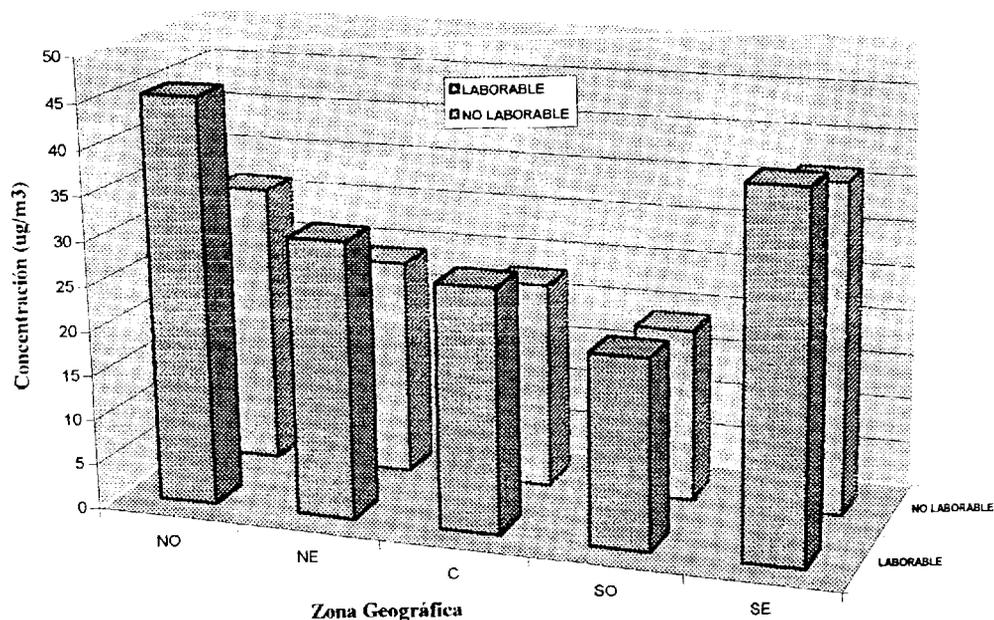
6.1 ANÁLISIS DE CONCENTRACION DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN

El presente trabajo muestra los resultados de concentración de PM10 en Guayaquil, en sectores industriales, comerciales y residenciales previamente seleccionados, además de emitir juicios de valor respecto a los niveles encontrados en relación a los límites permisibles. El análisis e interpretación de los mismos han sido efectuados considerando dos criterios:

- según el tipo de actividad desarrollada en mayor proporción en cada estación
- según la actividad del día en que se realiza la medición (laborable y no laborable)

Como se puede observar en el apéndice A (concentraciones por día por estación), de los 30 períodos de muestreo del programa en ningún caso se excedió el valor de concentración máximo permitido para un tiempo de exposición de 24 horas. Sin embargo, al observar los resultados logrados en las estaciones 7, 9 y 10, se registran incrementos notables de niveles de concentración de PM10. Estos sectores muestran características comunes: sectores de actividad industrial importante y de alto tránsito vehicular en por lo menos 13 horas del día. No

FIG.6.1: CONCENTRACION PROMEDIO POR ZONAS DE LA CIUDAD



obstante la ocurrencia de sucesos aleatorios e inusuales en la zona que puedan haber incidido en los resultados logrados no deben descartarse.

La diferencia en algunos casos notable en la concentración de PM10 obtenida en días laborables y no laborables obedecen a la disminución de las actividades desarrolladas por el hombre el día Domingo. Esta variación se observa claramente en el apéndice B y C.

Un elemento de aporte valioso, lo constituyen el registro de observaciones de condiciones de operación y comportamiento del clima, así pues entrega valiosas reflexiones acerca de la importancia de realizar monitoreos durante época de lluvia y durante la estación.

Un ejemplo de ello, son las concentraciones halladas en la estación # 7 (C.C.La Rotonda) donde para dos días laborables, las concentraciones difieren en un valor apreciable: Para el Martes 22 de Abril, con garúas en la madrugada y lluvia fuerte en la noche, la concentración de PM10 es de $29.3 \mu\text{g} / \text{m}^3$, mientras que el día Jueves 24 de Abril, día soleado completamente, noche de cielo despejada la concentración es de $44.9 \mu\text{g} / \text{m}^3$.

En las estaciones 2 (Puerto azul) y 8 (Sauces), las concentraciones en día Domingo superan a la de los días laborables. Sería igualmente recomendable repetir las mediciones para sustentar la certeza de los resultados.

En la figura # 6.1 podemos observar cómo varía la calidad del aire según la zona geográfica de la ciudad. El apéndice D presenta los valores de concentración promedio para los días de monitoreo. La concentración en días laborables supera a la del día Domingo, lo cual refleja que las actividades laborales humanas influyen en la calidad del aire. Para apreciar en qué medida esto ocurre es importante referirse al apéndice C, en el cual se toma como referencia los valores medidos en Domingo (eje de abscisas) y en la ordenada se coloca el porcentaje de exceso o disminución de concentración en días laborables por cada estación.

6.2 COMPARACION CON ESTANDARES DE CALIDAD

El apéndice D presenta las concentraciones ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) obtenidas en cada una de las estaciones durante los días de muestreo. En el gráfico podemos apreciar que sólo en las estaciones # 9 (Mapasingue, día Martes) y # 10 (Pascuales, día Martes) se exceden los límites establecidos por las normas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para el promedio anual en 24 horas, si es que suponemos que el promedio de los tres días de muestreo en la semana representa el promedio anual. Los estándares establecidos por la EPA y el Banco Mundial son :

	EPA	BM
Promedio anual en 24 horas =	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Máximo permitido en 24 horas =	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Es importante recalcar que en ningún caso se excede el valor de concentración máximo permitido para un tiempo de exposición de 24 horas.

6.3 INFLUENCIA DE CONDICIONES ATMOSFERICAS EN NIVELES DE CONCENTRACION

La innegable influencia de los parámetros meteorológicos sobre la contaminación atmosférica, provoca en los organismos de control de calidad del aire la realización y continuación de investigaciones que permitan establecer con certeza las condiciones mínimas necesarias de dispersión de contaminantes (locales y

globales) de modo que no afecte el desarrollo normal de las actividades cotidianas. Al analizar la información meteorológica en cuanto a condiciones de humedad, precipitación y velocidad de viento, es concluyente la necesidad de efectuar monitoreos continuos durante el año, para profundizar acerca de la influencia que las características presentadas en cada estación climática tiene sobre la cantidad de contaminantes del aire.

FIG. # 6.2: DIRECCION DEL VIENTO, MARTES 04-02-97, 00H00 - 23H59

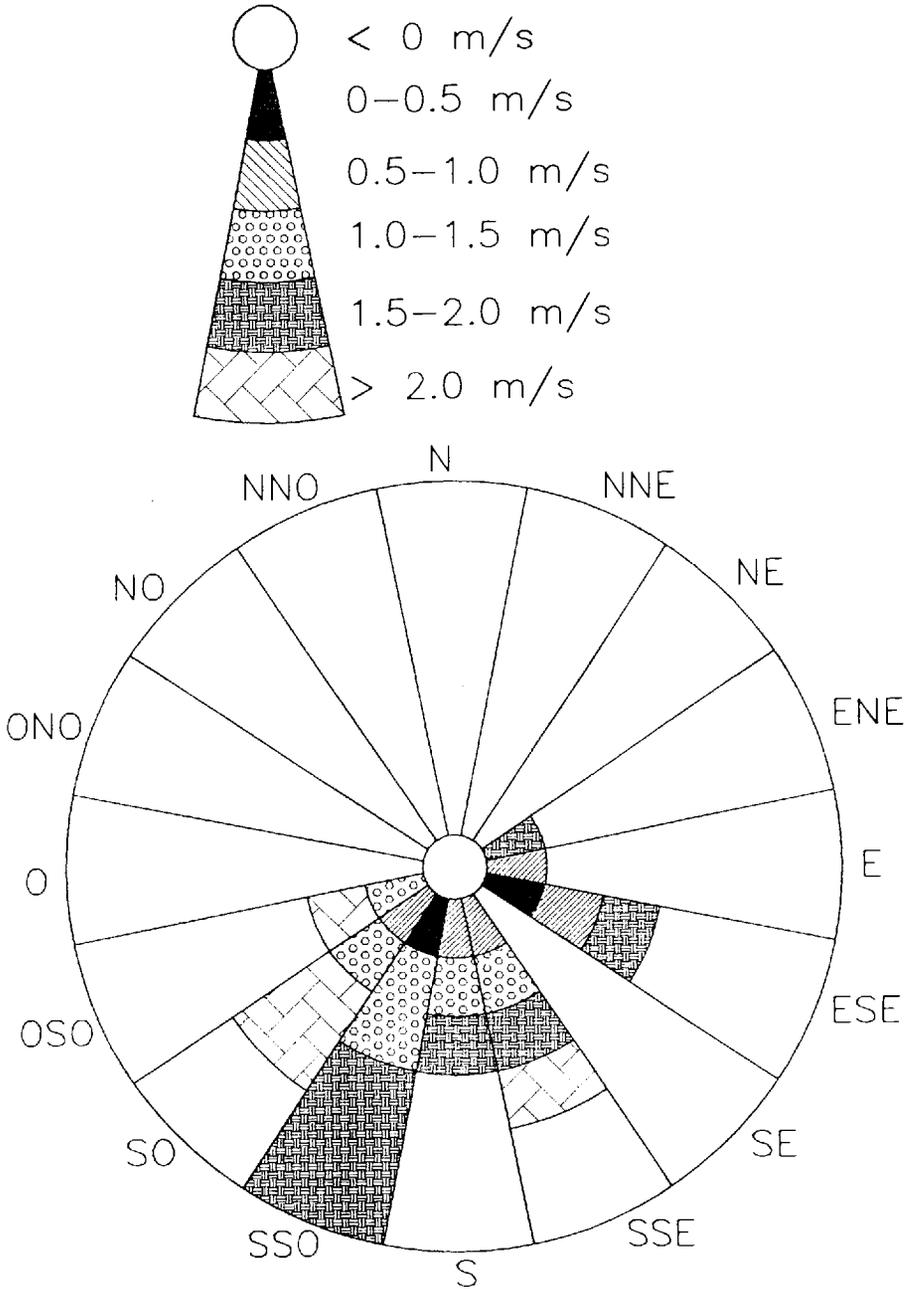
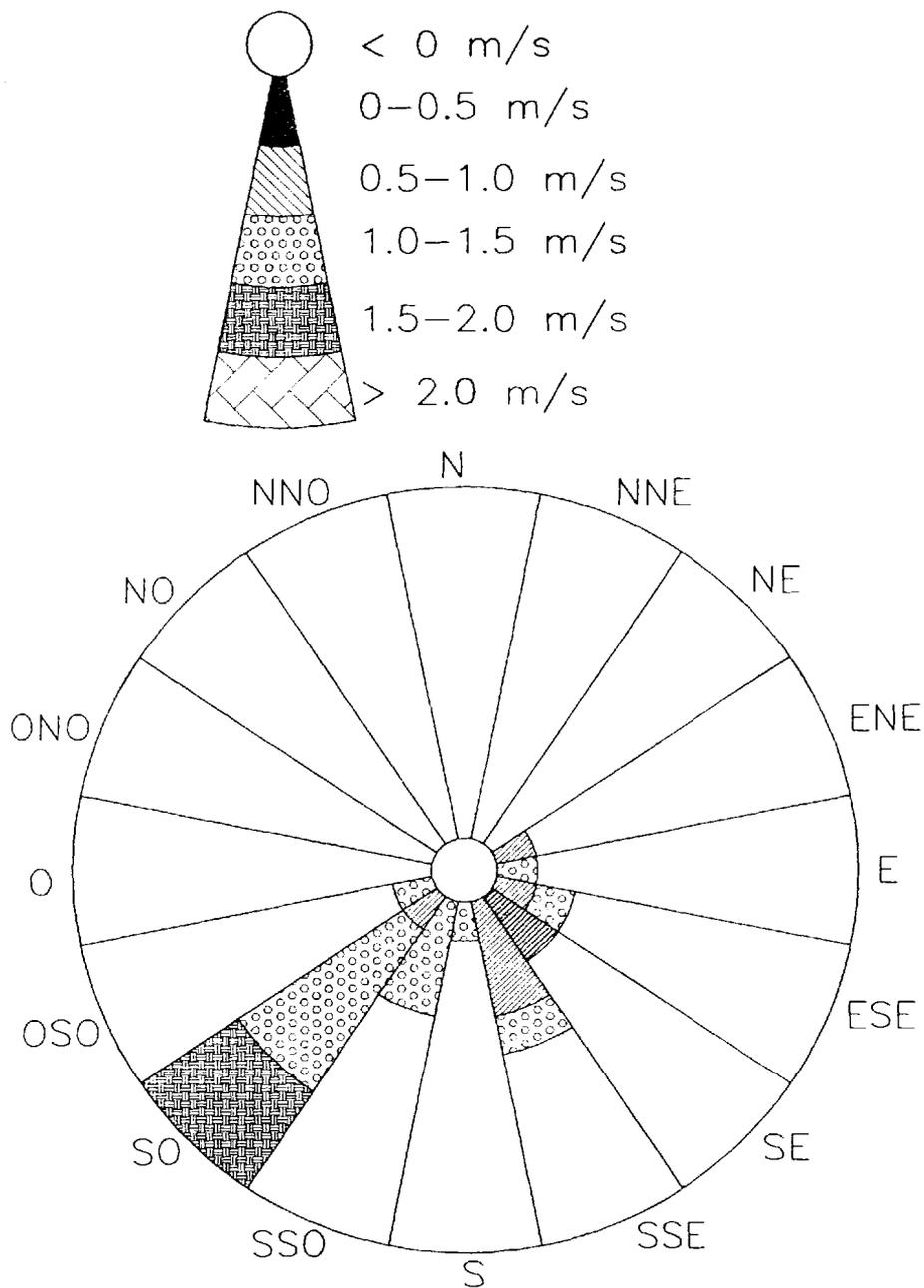


FIG. # 6.3: DIRECCION DEL VIENTO, MARTES 06-05-97, 00H00 - 23H59



Los datos meteorológicos recogidos de la estación Cerro Blanco, son bastantes confiables dado la tecnología utilizada para ese fin. Los resultados recogidos se los puede interpretar con un programa asociado, el cual presenta gráficos de las tendencias o direcciones predominantes del viento, radiación solar, precipitación, etc.

Siguiendo el mismo procedimiento utilizado para la construcción de las figuras representativas de la dirección del viento, se pudo establecer que efectivamente la dirección del viento durante las horas de la mañana y hasta el medio día es predominantemente Suroeste, y pasado la hora meridiana tiene pequeñas fluctuaciones suroeste-sureste

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Al culminar éste trabajo se ha podido establecer los niveles de concentración de partículas menores a $10\ \mu\text{m}$ en la ciudad de Guayaquil. Esta información contribuye en gran medida a que los organismos locales y nacionales vigilen y regulen mediante la creación e institución de normas de obligado cumplimiento relacionadas a la cantidad y calidad de las partículas (y en general a todos los contaminantes) descargadas a la atmósfera. La situación de Guayaquil sin ser alarmante debe ser objeto de constante preocupación de parte de las autoridades.
2. Los resultados logrados permiten conocer la concentración de PM₁₀ en Guayaquil, cuyos niveles reflejan el aporte conjunto de todas las fuentes de emisión de partículas.
3. La obtención de resultados que muestran diferencias importantes en niveles de concentración para un mismo punto de muestreo en días con actividad semejante y en los que no se observaron acontecimientos que permitan concluir que han tenido alguna incidencia en los valores logrados, confirman la necesidad de realizar mediciones durante períodos más amplios o en el mejor de los casos en forma continua.
4. Los niveles de concentración de PM₁₀ encontrados indican que la situación atmosférica de la urbe está aún bajo los niveles establecidos en los estándares internacionales, no obstante éste programa no nos permite conocer como se están

modificando a través del tiempo, pues la tasa de crecimiento o decrecimiento es imperceptible si no se efectúa un monitoreo continuo.

5. Considerando las limitaciones del programa de muestreo, resulta aceptable la premisa de monitorear durante 2 días laborables y uno no laborable como valores representativos de la semana completa para la estación climática estudiada. Dado que se registraron diferencias en concentraciones de PM10 para una misma estación en días lluviosos y en días secos, es necesario monitorear el aire en ambas estaciones climáticas de nuestro país.
6. Es necesario realizar un análisis Físico-Químico Post-Muestreo de las muestras colectadas en los filtros (de fibra de cuarzo o de fibra de vidrio). Este análisis puede aportar una cantidad muy importante de información relacionada con:
 - la composición de las partículas, como una forma de establecer su origen y hacer una aproximación de las distancias que viajan e identificando las posibles fuentes
 - el impacto sobre la salud humana y su medio circundante
7. Para poder establecer el efecto de los niveles de contaminación por partículas en los seres humanos, es necesario recurrir al análisis estadístico tanto de los valores de concentración a los que está expuesta la población como también a datos históricos y actuales, tales como: aumento de ingreso de pacientes a hospitales debido a enfermedades respiratorias, ausentismo escolar y laboral, etc.

8. El establecimiento de la relación entre el aspecto meteorológico del área de estudio y los niveles de contaminación de ésta, requiere de una gran cantidad de información (de ambos) para poder determinar si es necesario relocalizar las fuentes emisoras o tomar otras medidas destinadas a disminuir los efectos perjudiciales ocasionados, para ello es conveniente y necesario establecer el patrón o patrones de dispersión atmosférica, tomando en consideración fuentes identificadas de aporte de contaminantes particulados.
9. En aras de lograr nuestro objetivo final , durante la aplicación de estrategias de control se deberá considerar los requerimientos a corto y largo plazo, observando de manera especial las limitaciones tecnológicas y económicas de nuestro medio.
10. Las normas de emisión no se deberán establecer a menos de que sea factible aplicarlas en la actualidad. Esto nos lleva a la implementación de una norma mínima para los controles de emisión, meta que sea posible alcanzar para las industrias del área de estudio (Guayaquil). Esto implica que el establecimiento de normas elevadas que reflejan los controles de emisión obtenidos en las mejores instalaciones del país (o del mundo) requieren de una alta inversión económica, frecuentemente utópica para muchas de nuestras industrias.
11. Los resultados y comentarios emitidos en éste estudio, pretenden ser el punto de partida de un monitoreo continuo complementado por una campaña de concientización de la ciudadanía, especialmente de los principales de las empresas

cuya actividad afecta la calidad del aire en la ciudad de Guayaquil. De igual modo los organismos encargados de preservar el medio ambiente, no deben limitarse al control de la contaminación sino a su prevención, instando a los agentes emisores a seguir los parámetros estipulados en la jerarquía de la prevención de la contaminación según la EPA.:

- Reducción en la fuente
- Reciclaje
- Tratamiento
- Eliminación final

APENDICES

APENDICE A

CONCENTRACION DE CONTAMINANTES POR ESTACION (DETALLE)

ESTACION # 1: PUERTO HONDO

	MARTES, FEB. 4/97	JUEVES, FEB. 6/97	DOMINGO, FEB. 9/97
	PM 10	PM10	PM10
Inicio del muestreo	00H00	00H00	00H00
Final del muestreo	23H59	23H59	23H59
Duración [Horas]	24	24	24
Temperatura ambiente [°C]	24	23.9	24.71
Presión local [mm Hg]	760	760	760
Caída de presión inicial (Pfi) [cm H2O]	36	36	36
Caída de presión final (Pff) [cm H2O]	37	37	37
Caída de presión promedio [cm H2O]	36.5	36.5	36.5
Caída de presión promedio [mm Hg]	26.8	26.8	26.8
Temperatura Standard [°C]	25	25	25
Presión atmosférica Standar [mm Hg]	760	760	760
Razón de presiones : Po/Pa [Adim]	0.965	0.965	0.965
Caudal actual (Qa) [m3/min]	1.183	1.183	1.185
Caudal Standard (Qstd) [m3/min]	1.1870	1.1874	1.1862
Volumen de aire muestreado (m3)	1709.3	1709.8	1708.1
Peso del filtro antes [gr.]	3.6658	3.6578	3.6457
Peso del filtro después [gr.]	3.7300	3.7222	3.6862
Peso neto de muestra colectada [gr.]	0.0642	0.0644	0.0405
Concentración [microgr./ m3]	37.6	37.7	23.7

ESTACION # 2: PUERTO AZUL

	DOMINGO, FEB. 16/97	MARTES, FEB. 18/97	MIERC., FEB. 19/97
	PM 10	PM10	PM10
Inicio del muestreo	00H00	00H00	00H00
Final del muestreo	23H59	23H59	23H59
Duración [Horas]	24	24	24
Temperatura ambiente [°C]	25.42	23.46	23.67
Presión local [mm Hg]	760	760	760
Caída de presión inicial (Pfi) [cm H2O]	36	36	36
Caída de presión final (Pff) [cm H2O]	37	37	37
Caída de presión promedio [cm H2O]	36.5	36.5	36.5
Caída de presión promedio [mm Hg]	26.8	26.8	26.8
Temperatura Standard [°C]	25	25	25
Presión atmosférica Standar [mm Hg]	760	760	760
Razón de presiones : Po/Pa [Adim]	0.965	0.965	0.965
Caudal actual (Qa) [m3/min]	1.186	1.182	1.183
Caudal Standard (Qstd) [m3/min]	1.1843	1.1881	1.1883
Volumen de aire muestreado (m3)	1705.4	1710.9	1711.2
Peso del filtro antes [gr.]	3.6276	3.6185	3.6044
Peso del filtro después [gr.]	3.6733	3.6628	3.6444
Peso neto de muestra colectada [gr.]	0.0457	0.0443	0.0400
Concentración [microgr./ m3]	26.8	25.9	23.4

ESTACION # 3: POLITECNICA (CAMPUS PROSPERINA)

	DOMINGO, ENERO 5/97	LUNES, ENERO 6/97	JUEVES, ENERO 9/97
	PM 10	PM10	PM10
Inicio del muestreo	08H00	09H00	08H00
Final del muestreo	08H00	09H00	08H00
Duración [Horas]	24	24	24
Temperatura ambiente [°C]	23.25	21.25	23.54
Presión local [mm Hg]	760	760	760
Caída de presión inicial (Pfi) [cm H2O]	60	60	59
Caída de presión final (Pff) [cm H2O]	62	62	61
Caída de presión promedio [cm H2O]	61	61	60
Caída de presión promedio [mm Hg]	44.8	44.8	44.1
Temperatura Standard [°C]	25	25	25
Presión atmosférica Standar [mm Hg]	760	760	760
Razón de presiones : Po/Pa [Adim]	0.941	0.941	0.942
Caudal actual (Qa) [m3/min]	1.151	1.147	1.153
Caudal Standard (Qstd) [m3/min]	1.1578	1.1616	1.1587
Volumen de aire muestreado (m3)	1667.2	1672.7	1668.5
Peso del filtro antes [gr.]	4.5860	4.5512	4.6062
Peso del filtro después [gr.]	4.6251	4.5941	4.6557
Peso neto de muestra colectada [gr.]	0.0391	0.0429	0.0495
Concentración [microgr./ m3]	23.5	25.6	29.7



ESTACION # 4: SECTOR SUR, BASE NAVAL

	DOMINGO, MARZO 2/97	MARTES, MARZO 4/97	JUEVES, MARZO 6/97
	PM 10	PM10	PM10
Inicio del muestreo	00H00	00H00	00H00
Final del muestreo	23H59	23H59	23H59
Duración [Horas]	10	24	10
Temperatura ambiente [°C]	23.8	24.1	23.6
Presión local [mm Hg]	760	760	760
Caída de presión inicial (Pfi) [cm H2O]	35	35	35
Caída de presión final (Pff) [cm H2O]	35.5	36	35.5
Caída de presión promedio [cm H2O]	35.25	35.5	35.25
Caída de presión promedio [mm Hg]	25.9	26.1	25.9
Temperatura Standard [°C]	25	25	25
Presión atmosférica Standar [mm Hg]	760	760	760
Razón de presiones : Po/Pa [Adim]	0.966	0.966	0.966
Caudal actual (Qa) [m3/min]	1.185	1.185	1.184
Caudal Standard (Qstd) [m3/min]	1.1898	1.1886	1.1896
Volumen de aire muestreado (m3)	713.9	1711.6	713.75
Peso del filtro antes [gr.]	3.6164	3.6506	3.6345
Peso del filtro después [gr.]	3.6300	3.6856	3.6497
Peso neto de muestra colectada [gr.]	0.0136	0.0350	0.0152
Concentración [microgr./ m3]	19.1	20.4	21.3

ESTACION # 5: PLANTA DIARIO "EL UNIVERSO"

	DOMINGO, ABRIL 6/97	MARTES, ABRIL 8/97	JUEVES, ABRIL 10/97
	PM 10	PM10	PM10
Inicio del muestreo	00H00	00H00	00H00
Final del muestreo	23H59	23H59	23H59
Duración [Horas]	24	24	24
Temperatura ambiente [°C]	24.3	23.9	24.9
Presión local [mm Hg]	760	760	760
Caída de presión inicial (Pfi) [cm H2O]	35	35	35
Caída de presión final (Pff) [cm H2O]	37	36.5	36.5
Caída de presión promedio [cm H2O]	36	35.75	35.75
Caída de presión promedio [mm Hg]	26.5	26.3	26.3
Temperatura Standard [°C]	25	25	25
Presión atmosférica Standar [mm Hg]	760	760	760
Razón de presiones : Po/Pa [Adim]	0.965	0.965	0.965
Caudal actual (Qa) [m3/min]	1.184	1.183	1.185
Caudal Standard (Qstd) [m3/min]	1.1867	1.1875	1.1855
Volumen de aire muestreado (m3)	1708.8	1709.9	1707.1
Peso del filtro antes [gr.]	3.6145	3.5985	3.6211
Peso del filtro después [gr.]	3.6770	3.6653	3.6904
Peso neto de muestra colectada [gr.]	0.0625	0.0668	0.0693
Concentración [microgr./ m3]	36.6	39.1	40.6

ESTACION # 6: CENTRO DE LA CIUDAD (GRAL. CORDOVA Y JUNIN)

	DOMINGO, ABRIL 13/97	MARTES, ABRIL 15/97	JUEVES, ABRIL 17/97
	PM 10	PM10	PM10
Inicio del muestreo	00H00	00H00	00H00
Final del muestreo	23H59	23H59	23H59
Duración [Horas]	24	24	24
Temperatura ambiente [°C]	24.5	24.54	24.46
Presión local [mm Hg]	760	760	760
Caída de presión inicial (Pfi) [cm H2O]	35	36	36
Caída de presión final (Pff) [cm H2O]	37	37.5	38
Caída de presión promedio [cm H2O]	36	36.75	37
Caída de presión promedio [mm Hg]	26.5	27.0	27.2
Temperatura Standard [°C]	25	25	25
Presión atmosférica Standar [mm Hg]	760	760	760
Razón de presiones : Po/Pa [Adim]	0.965	0.964	0.964
Caudal actual (Qa) [m3/min]	1.184	1.183	1.182
Caudal Standard (Qstd) [m3/min]	1.1860	1.1848	1.1841
Volumen de aire muestreado (m3)	1707.8	1706.2	1705.2
Peso del filtro antes [gr.]	4.5860	4.5512	4.6062
Peso del filtro después [gr.]	4.6251	4.5941	4.6557
Peso neto de muestra colectada [gr.]	0.0391	0.0429	0.0495
Concentración [microgr./ m3]	22.9	25.1	29.0

ESTACION # 7: CENTRO COMERCIAL " LA ROTONDA"

	DOMINGO, ABRIL 20/97	MARTES, ABRIL 22/97	JUEVES, ABRIL 24/97
	PM 10	PM10	PM10
Inicio del muestreo	00H00	00H00	00H00
Final del muestreo	23H59	23H59	23H59
Duración [Horas]	24	24	24
Temperatura ambiente [°C]	27.21	26.71	27.25
Presión local [mm Hg]	760	760	760
Caída de presión inicial (Pfi) [cm H2O]	35	35	36
Caída de presión final (Pff) [cm H2O]	37	38	37.5
Caída de presión promedio [cm H2O]	36	36.5	36.75
Caída de presión promedio [mm Hg]	26.5	26.8	27.0
Temperatura Standard [°C]	25	25	25
Presión atmosférica Standar [mm Hg]	760	760	760
Razón de presiones : Po/Pa [Adim]	0.965	0.965	0.964
Caudal actual (Qa) [m3/min]	1.189	1.187	1.188
Caudal Standard (Qstd) [m3/min]	1.1802	1.1802	1.1791
Volumen de aire muestreado (m3)	1699.6	1699.5	1697.9
Peso del filtro antes [gr.]	3.5948	3.5721	3.5791
Peso del filtro después [gr.]	3.6282	3.6219	3.6554
Peso neto de muestra colectada [gr.]	0.0334	0.0498	0.0763
Concentración [microgr./ m3]	19.6	29.3	44.9

ESTACION # 8: CIUDADELA " LOS SAUCES"

	DOMINGO, ABRIL 27/97	MARTES, ABRIL 29/97	JUEVES, MAYO 1/97
	PM 10	PM10	PM10
Inicio del muestreo	00H00	00H00	00H00
Final del muestreo	23H59	23H59	23H59
Duración [Horas]	24	24	24
Temperatura ambiente [°C]	25.0	24.6	24.6
Presión local [mm Hg]	760	760	760
Caída de presión inicial (Pfi) [cm H2O]	35.5	36	36
Caída de presión final (Pff) [cm H2O]	36.5	37.5	37.5
Caída de presión promedio [cm H2O]	36	36.75	36.75
Caída de presión promedio [mm Hg]	26.5	27.0	27.0
Temperatura Standard [°C]	25	25	25
Presión atmosférica Standar [mm Hg]	760	760	760
Razón de presiones : Po/Pa [Adim]	0.9652	0.9645	0.9645
Caudal actual (Qa) [m3/min]	1.185	1.183	1.183
Caudal Standard (Qstd) [m3/min]	1.1850	1.1847	1.1845
Volumen de aire muestreado (m3)	1706.3	1705.9	1705.7
Peso del filtro antes [gr.]	3.5853	3.5705	3.5682
Peso del filtro después [gr.]	3.6345	3.6119	3.6106
Peso neto de muestra colectada [gr.]	0.0492	0.0414	0.0424
Concentración [microgr./ m3]	28.8	24.2	24.9

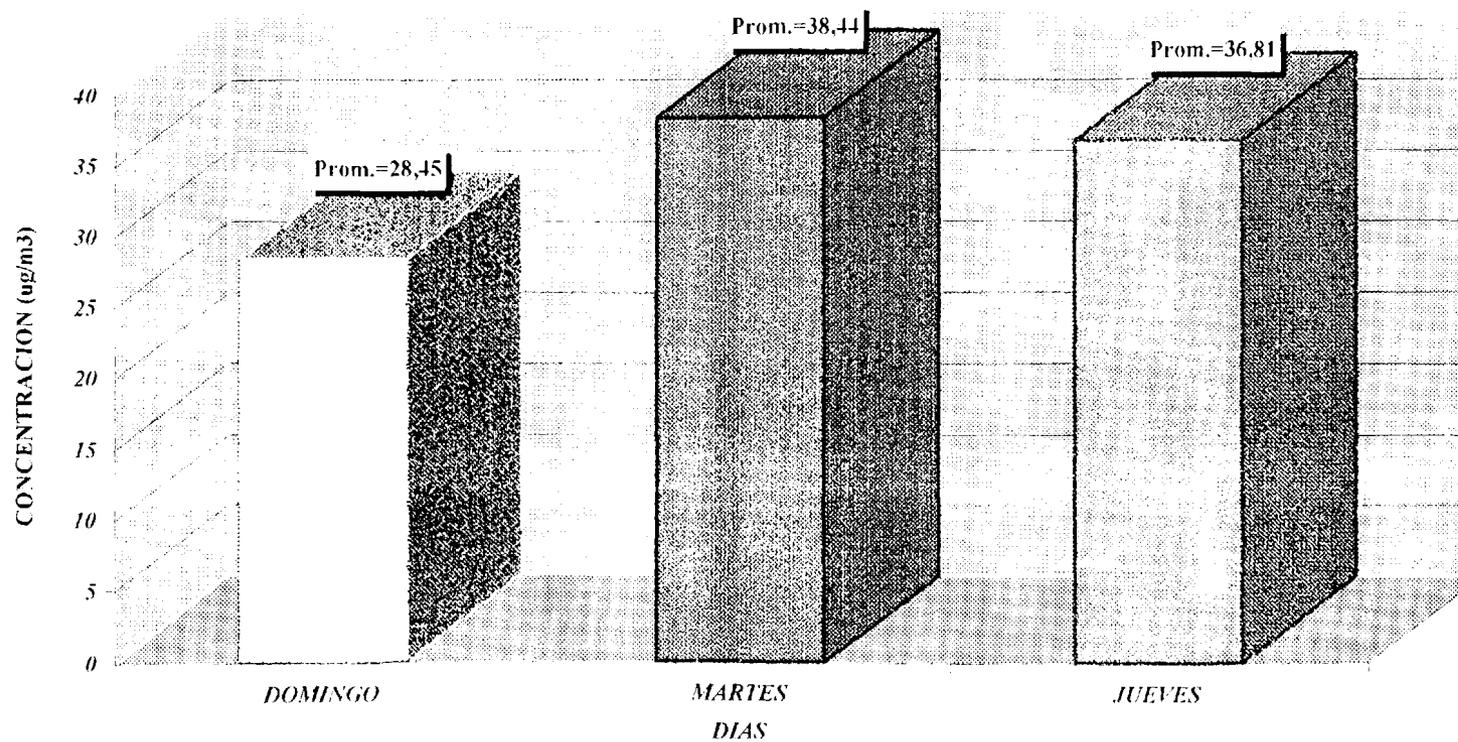
ESTACION # 9: CIUDADELA " MAPASINGUE"

	DOMINGO, MAYO 4/97	MARTES, MAYO 6/97	JUEVES, MAYO 8/97
	PM 10	PM10	PM10
Inicio del muestreo	00H00	00H00	00H00
Final del muestreo	23H59	23H59	23H59
Duración [Horas]	24	24	24
Temperatura ambiente [°C]	24.5	24.6	24.4
Presión local [mm Hg]	760	760	760
Caída de presión inicial (Pfi) [cm H2O]	36	36	35
Caída de presión final (Pff) [cm H2O]	38	38.5	37
Caída de presión promedio [cm H2O]	37	37.25	36
Caída de presión promedio [mm Hg]	27.2	27.4	26.5
Temperatura Standard [°C]	25	25	25
Presión atmosférica Standar [mm Hg]	760	760	760
Razón de presiones : Po/Pa [Adim]	0.964	0.964	0.965
Caudal actual (Qa) [m3/min]	1.183	1.183	1.184
Caudal Standard (Qstd) [m3/min]	1.1850	1.1847	1.1863
Volumen de aire muestreado (m3)	1706.4	1705.9	1708.3
Peso del filtro antes [gr.]	3.5722	3.5695	3.5623
Peso del filtro después [gr.]	3.6554	3.6989	3.6429
Peso neto de muestra colectada [gr.]	0.0832	0.1294	0.0806
Concentración [microgr./ m3]	48.8	75.9	47.2

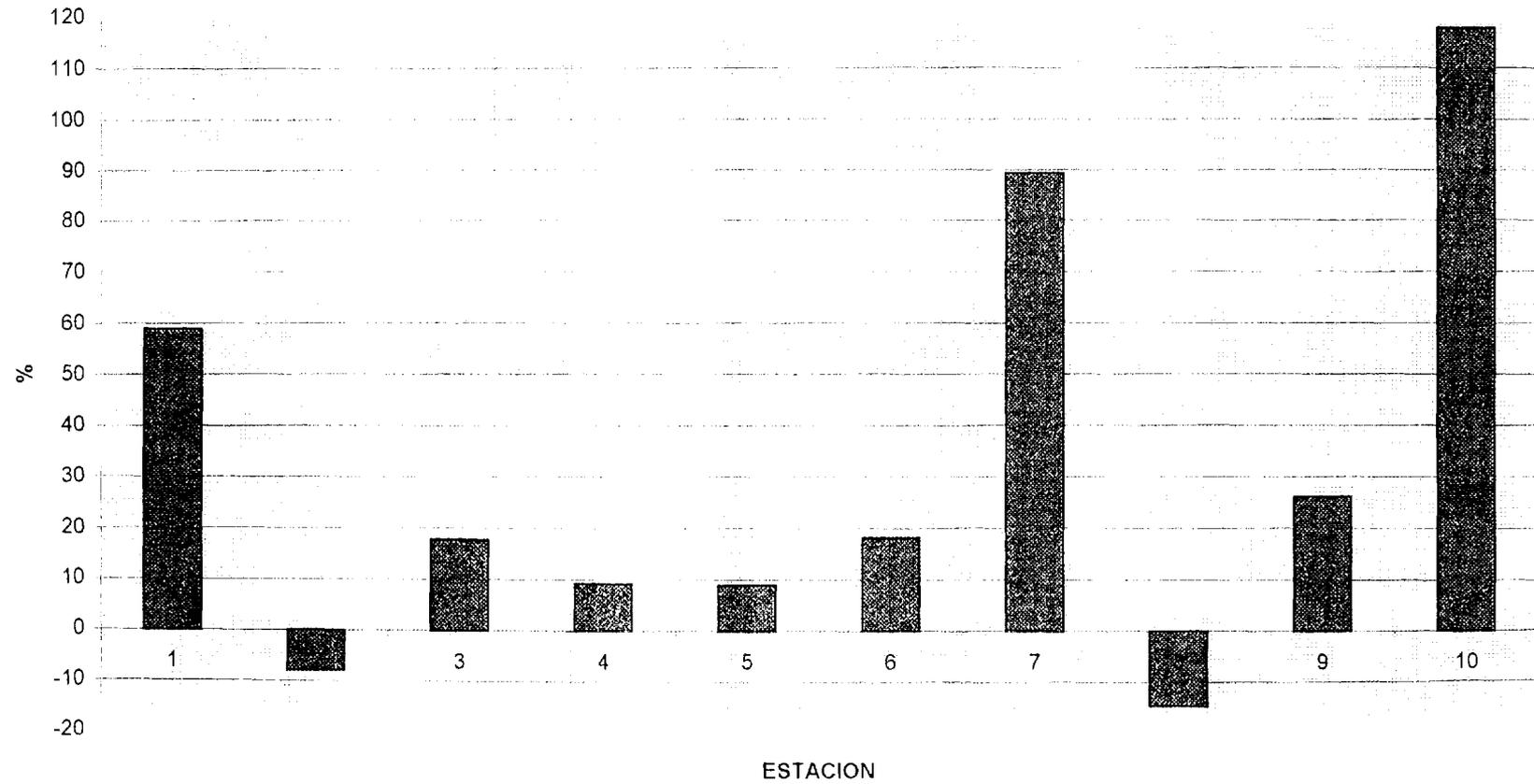
ESTACION # 10: PARQUE INDUSTRIAL PASCUALES

	MIÉRCOLES, MAYO 14/97	VIERNES, MAYO 16/97	DOMINGO, MAYO 18/97
	PM 10	PM10	PM10
Inicio del muestreo	00H00	00H00	00H00
Final del muestreo	23H59	23H59	23H59
Duración [Horas]	24	24	24
Temperatura ambiente [°C]	25.42	24.63	23.54
Presión local [mm Hg]	760	760	760
Caída de presión inicial (Pfi) [cm H ₂ O]	34.5	35.5	35
Caída de presión final (Pff) [cm H ₂ O]	38	42	38
Caída de presión promedio [cm H ₂ O]	36.25	38.75	36.5
Caída de presión promedio [mm Hg]	26.6	28.5	26.8
Temperatura Standard [°C]	25	25	25
Presión atmosférica Standar [mm Hg]	760	760	760
Razón de presiones : Po/Pa [Adim]	0.9650	0.9625	0.9647
Caudal actual (Qa) [m ³ /min]	1.186	1.18	1.181
Caudal Standard (Qstd) [m ³ /min]	1.1843	1.1815	1.1868
Volumen de aire muestreado (m ³)	1705.4	1701.3	1709.0
Peso del filtro antes [gr.]	3.5828	3.5845	3.5965
Peso del filtro después [gr.]	3.7215	3.7033	3.6558
Peso neto de muestra colectada [gr.]	0.1387	0.1188	0.0593
Concentración [microgr./ m ³]	81.3	69.8	34.7

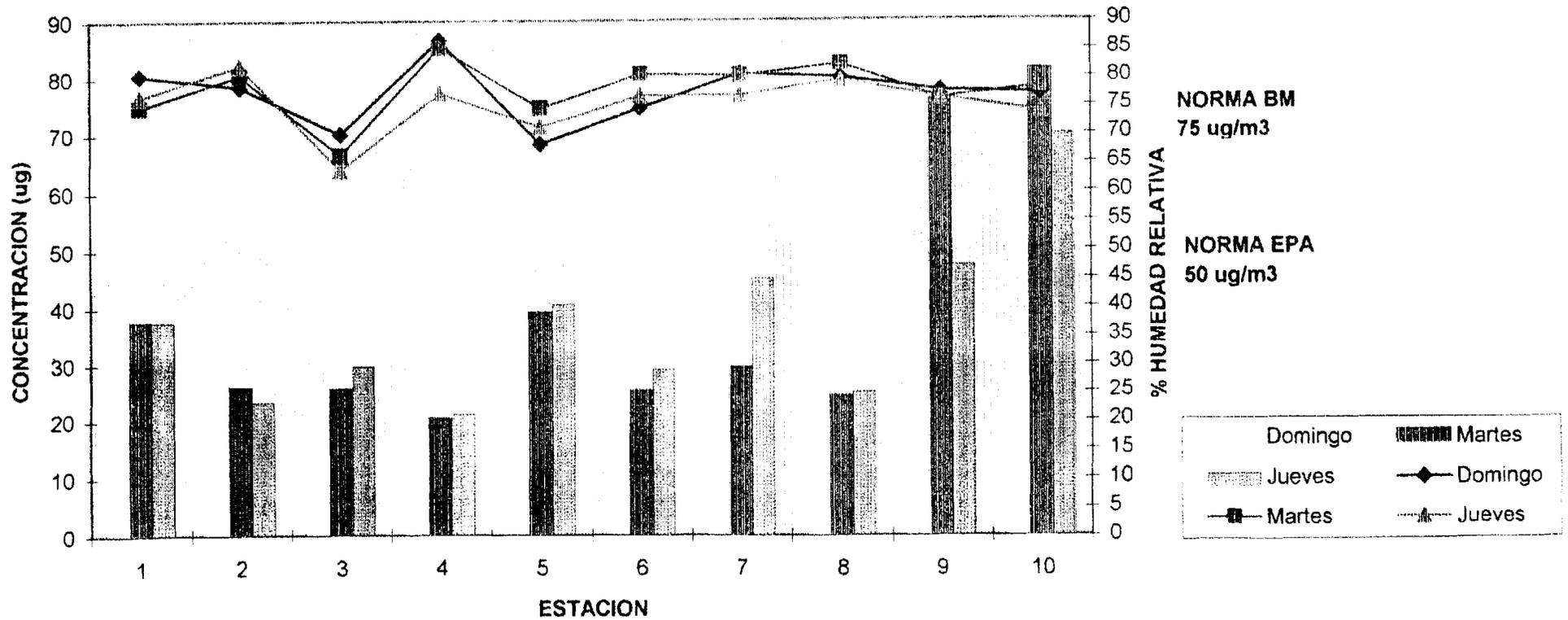
**APENDICE B: CUADRO COMPARATIVO DE CONCENTRACION SEGUN EL NIVEL DE ACTIVIDAD
DESARROLLADA POR DIA**



APENDICE C: PORCENTAJE DE INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN LA CALIDAD DEL AIRE

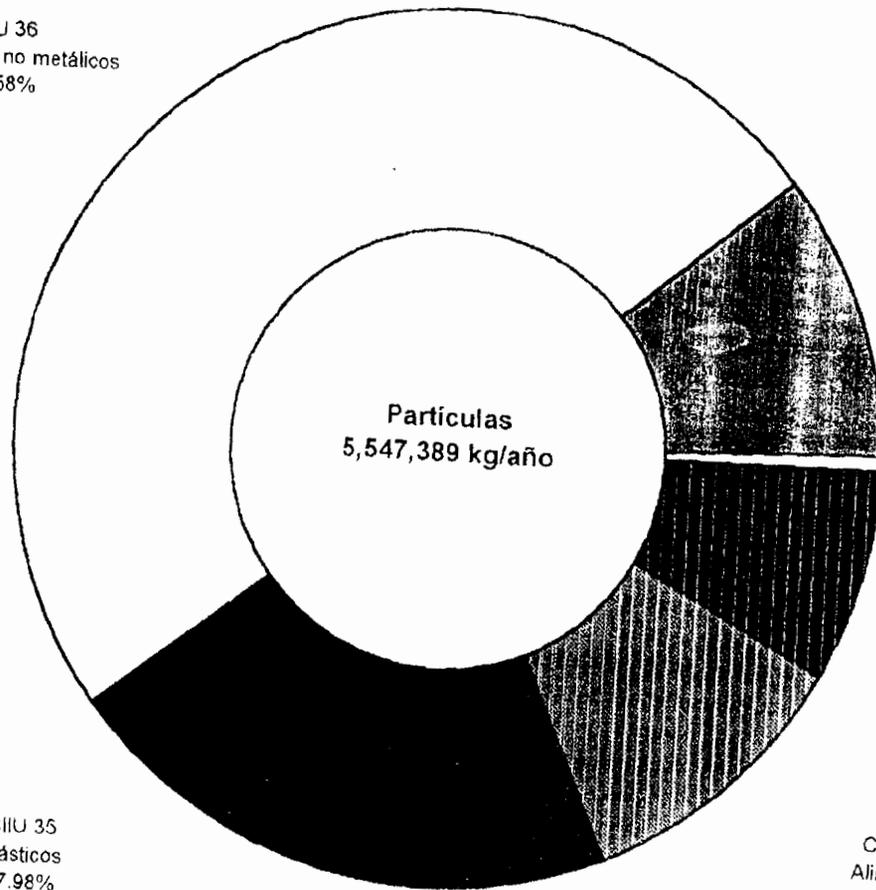


APENDICE D: CONCENTRACION DE PM10 POR ESTACION



APORTE DE CONTAMINANTES TOTALES AL AIRE DE 1993

CIIU 36
P. Minerales no metálicos
49.58%



Partículas
5,547,389 kg/año

CIIU 37
Hierro y acero
13.61%

Otros
0.42%

CIIU 29
Piedra y arena
7.31%

CIIU 31
Alimentos
10.33%

CIIU 34
Papel
3.09%

CIIU 35
Plásticos
17.98%

APENDICE F

REGISTRO OFICIAL N° 726

-- 12 --

15 DE JULIO DE 1991

En ejercicio de sus atribuciones legales

Acuerda:

Art. 1.- Aprobar el estatuto constitutivo en virtud del cual adquiere personería jurídica la fundación NUESTRA Núcleo de Estudios y Trabajo en Salud, con sede en Quito.

Art. 2.- Ordenar su publicación en el Registro Oficial.

Comuníquese, en Quito, a 4 de junio de 1991.

f.) Dr. Plutarco Naranjo Vargas, Ministro de Salud Pública.

Es fiel copia del original,- Certifico:

f.) Lic. José Ibarra Munizaga, Secretario General del Ministerio de Salud pública.

N° 11338—A

EL MINISTERIO DE SALUD PUBLICA

Considerando:

Que la Ley para la prevención y Control de la Contaminación Ambiental, que fue expedida mediante Decreto Supremo 374 del 21 de mayo de 1976 en su capítulo II, Artículo 6 Literal C, establece que corresponde al Comité Interinstitucional de la Protección del Ambiente: "Expedir mediante acuerdo, las normas técnicas y regulaciones a base de los proyectos preparados por los organismos pertinentes".

Que en el capítulo V Artículo 11 de esta Ley manifiesta:

"Queda prohibido expeler a la atmósfera o descargar en ella sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, contaminantes que a juicio del Ministerio de Salud, puedan perjudicar la Salud y la vida humana, la flora, la fauna y los recursos o bienes del estado o de particulares o constituir una molestia.

Que el aire tiene diversos usos entre ellos el de la respiración por los seres vivos, siendo éste tan importante y prioritario que hace indispensable establecer la calidad mínima de una atmósfera tolerable.

Que las investigaciones realizadas por el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS),

sobre la calidad del aire en varias ciudades del país nos indican que la contaminación atmosférica está alcanzando niveles que implican riesgos para la salud pública.

Que es necesario reglamentar la prevención y control de la contaminación ambiental en lo relativo al recurso aire.

Acuerda:

EXPEDIR EL REGLAMENTO QUE ESTABLECE LAS NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE Y SUS METODOS DE MEDICION.

CAPITULO I

DEFINICIONES GENERALES

Art. 1 ATMOSFERA.- Entiéndase por atmósfera el fluido gaseoso que envuelve el globo terráqueo.

Art. 2 DEFINICION DE AIRE.- Entiéndase por aire una mezcla gaseosa cuya composición normal es por lo menos veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en reacción volumétrica.

Art. 3 CONTAMINACION DE AIRE.- Entiéndase por contaminación del aire la presencia o acción de los contaminantes en condiciones tales de duración, concentración o intensidad, que afecten desfavorablemente la vida y la salud humana, animal o vegetal: los bienes materiales del hombre o de la comunidad o interfieran su bienestar.

Art. 4 CONTAMINACION NATURAL DEL AIRE.- Entiéndase por contaminación natural de aire aquella originada en una fuente natural o, sin mediación de la actividad humana.

Art.5 CONTAMINACION ARTIFICIAL DEL AIRE.- Entiéndase por contaminación artificial del aire aquella originada o producida en una fuente natural o artificial con mediación de la actividad humana.

Art.6 CONCENTRACION DE UNA SUBSTANCIA EN EL AIRE.- Entiéndase por concentración de una substancia en el aire, la relación que existe entre el peso o el volumen de la substancia y la unidad de volumen del aire en el cual esté contenida.

Art.7 CONDICIONES DE REFERENCIA.- Entiéndase por condiciones de referencia las correspondientes a veinte y cinco grados centígrados (25C) y setecientos sesenta milímetros de mercurio (760 mm Hg).

Art.8 FUENTE MOVIL DE CONTAMINACION DEL AIRE.- Denomínase fuente móvil de contaminación del aire aquella que habilitada para desplazarse pueda generar o emitir contaminantes.

Art.9 FUENTE FIJA DE CONTAMINACION DEL AIRE.- Denomínase fuente fija de contaminación del aire aquella que emite o es susceptible de producir contaminación del aire, en un lugar fijo o inamovible.

Art.10 FUENTE FIJA NATURAL DE CONTAMINACION DEL AIRE.- Denomínase fuente fija natural de contaminación del aire todo hecho, formación o fenómeno, que emite o es susceptible de emitir contaminantes del aire sin mediación de la actividad humana.

Art.11 FUENTE FIJA ARTIFICIAL DE CONTAMINACION DEL AIRE.- Denomínase fuente fija artificial de contaminación del aire todo proceso u operación realizada por actividad humana o con su participación susceptible de emitir contaminantes.

Art.12 DESCARGA.- Entiéndase por descarga la salida a la atmósfera de contaminantes del aire.

Art.13 EMISION CONTAMINANTE.- Entiéndase por emisión contaminante la descarga proveniente de una fuente fija natural o artificial de contaminación del aire, a través de un ducto o chimenea, o en forma dispersa.

Art.14 PROMEDIO GEOMETRICO.- Entiéndase por promedio geométrico la raíz enésima del producto de todos los resultados a promediar, para determinarlos se aplica la siguiente ecuación.

$$G = \sqrt[n]{X1 \cdot X2 \cdot X3 \cdot \dots \cdot Xn}$$

G = promedio geométrico
X1, X2, Xn = todos los resultados a promediar
n = número de muestras.

CAPITULO II

NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE Y SUS METODOS DE MEDICION

Art.15. Para el control de la calidad del aire se tendrán en cuenta las normas de calidad señaladas en el presente artículo:

a) PARTICULAS SEDIMENTABLES

La máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante treinta (30) días, es de (1) miligramo por centímetro cuadrado:

$$(1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d})$$

b) PARTICULAS TOTALES EN SUSPENSION

El promedio geométrico de los resultados de todas las muestras diarias recolectadas en forma continua durante veinte y cuatro (24) horas, en un intervalo de doce (12) meses, no deberá exceder de ochenta (80) microgramos por metro cúbico (80 ug/m³).

La máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante veinte y cuatro (24) horas que se puede sobrepasar por una sola vez en un período de doce (12) meses, es de doscientos cincuenta (250) microgramos por metro cúbico (250 ug/m³).

c) DIOXIDO DE AZUFRE (SO₂)

El promedio aritmético de los resultados de todas las muestras diarias recolectadas en forma continua durante veinte y cuatro (24) horas en un intervalo de doce (12) meses, no deberá exceder de ochenta (80) microgramos por metro cúbico (80 ug/m³).

La máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante 24 horas que se puede sobrepasar, por una sola vez en un período de 12 meses, es de cuatrocientos microgramos por metro cúbico (400 ug/m³).

La máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante 3 horas que se puede sobrepasar, por una sola vez en un período de 12 meses, es de mil quinientos (1500) microgramos por metro cúbico (1500 ug/m³).

d) MONOXIDO DE CARBONO (CO)

La máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante 8 horas

(como promedio aritmético móvil) es de diez miligramos por metro cúbico (10 mg/m³).

La máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante 1 hora es de cuarenta miligramos por metro cúbico (40 mg/m³).

e) OXIDANTES FOTOQUIMICOS EXPRESADOS COMO OZONO (O₃)

La máxima concentración de una muestra tomada en forma continua durante 1 hora que se puede sobrepasar, por una sola vez en un período de 12 meses, es de doscientos (200) microgramos por metro cúbico (200 µg/m³).

f) OXIDOS DE NITROGENO

Medidos como dióxido de Nitrógeno (NO₂)

El promedio aritmético de los resultados de las muestras diarias recolectadas en forma continua durante veinte y cuatro (24) horas, en un intervalo de 12 meses, no deberá exceder los cien (100) microgramos por metro cúbico (100 µg/m³).

g) PLOMO

El promedio aritmético de los resultados de las muestras diarias recolectadas en forma continua durante veinte y cuatro (24) horas, en un intervalo

de 3 meses, no deberá exceder los uno y medio (1,5) microgramos por metro cúbico (1,5 µg/m³).

Las normas sobre calidad de aire señaladas en éste artículo, representan concentraciones medidas teniendo en cuenta como condiciones de referencia: 25 ° C y 760 mm de mercurio.

Art. 16: Las mediciones observadas sobre la calidad del aire deberán corregirse de acuerdo a las condiciones de la localidad, en la cual se efectúa la medición utilizando la siguiente ecuación:

$$MC = MO \times \frac{760 \text{ mm Hg}}{Pb \text{ mmHg}} \times \frac{(273^\circ + t^\circ \text{C})^\circ K}{296^\circ K}$$

En donde:

MC = medición corregida

MO = medición observada

Pb = Pres. barométrica local mm de mercurio

t°C = temperatura local, en grados centígrados.

Art. 17: Para la comprobación de la calidad del aire en un sitio, los contaminantes mencionados en el artículo 15 deberán ser determinados utilizando los siguientes métodos y frecuencia:

CONTAMINANTE	METODO DE ANALISIS	FRECUENCIA MINIMA DE MUESTREO
Partículas sedimentables	Gravimétrico	Una muestra tomada en forma continua durante 30 días.
Partículas totales en suspensión	Gravimétrico utilizando un muestreador de alto volumen	Una muestra tomada en forma continua 24 horas, cada 3 días
Dióxido de Azufre	Colorimétrico, utilizando la parosanilina	Una muestra tomada en forma continua durante 24 horas, cada 3 días
Monóxido de Carbono	Analizador infrarrojo no dispersivo	Una muestra tomada en forma continua en periodos de 8 horas
Oxidantes fotoquímicos (como O ₃)	Quimi luminiscencia fotómetro Ultra violeta	Una muestra diaria tomada en forma continua de 06h00 a 18h00
Oxidos de Nitrógeno (como NO ₂)	Hochheiser, Quimi luminiscencia	Una muestra tomada en forma continua durante 24 horas, cada 3 días
Plomo	Absorción Atómica	Una muestra tomada en forma continua 24 horas, cada 3 días

NOTA: Podrá utilizarse cualquier otro método que de resultados equivalentes, debiendo ser previamente homologado y autorizado por el Ministerio de Salud Pública.

CAPITULO III

DISPOSICIONES GENERALES

Art. 18 El Ministerio de Salud como resultado de las acciones de vigilancia y control o de investigaciones de orden científico o cuando las circunstancias lo justifiquen podrá agregar, completar o modificar la lista de contaminantes, así como las concentraciones, métodos de análisis y los períodos señalados en el artículo 17.

Art. 19 A fin de que se cumplan las normas sobre calidad de aire, el Ministerio de salud podrá regular por límites de permisibilidad de la emisión de contaminantes mediante la promulgación de normas de emisión, las mismas que serán de

cumplimiento obligatorio de todos los emisores efectivos o potenciales.

Art. 20 Quien infrinja las normas correspondientes quedará sujeto a lo que estipula el artículo 26 de la Ley *para la Prevención y control de la Contaminación Ambiental*.

Art. 21 Encárgase la ejecución de este reglamento que entrará en va los organismos ejecutivos que contempal el Capítulo IV, art. 10 de la Ley para la Prevención y control de la Contaminación Ambiental.

Dado en Quito, a los cinco días del mes de junio de mil novecientos noventa y uno.

f.) Dr. Plutarco Naranjo Vargas,
Ministro de Salud Pública,
Presidente del Comité
Interinstitucional de la
Protección del Ambiente.

f.) Lcdo. José Ibarra Munizaga.
Secretario General del Ministerio
de Salud Pública.

APENDICE G

**NORMA TÉCNICA DEL PROCEDIMIENTO PARA
DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS
TOTALES EN SUSPENSIÓN EN EL AIRE POR EL MÉTODO
GRAVIMÉTRICO PARA EL MUESTREO DE ALTO VOLUMEN.**



MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA
SUBSECRETARIA DE SANEAMIENTO AMBIENTAL

CONSIDERANDO

Que el Reglamento que establece las Normas de calidad del aire y sus Métodos de medición fue expedido 15 de julio de 1991, Registro Oficial No. 726, por lo cual es indispensable definir los procedimientos para determinar las concentraciones de los parámetros a medirse, según los métodos de análisis establecidos.

ACUERDA

Expedir la Norma técnica que establece el procedimiento para determinar la concentración de partículas totales en suspensión (P.T.S.) en el aire por el Método Gravimétrico para el muestreo de alto volumen.

CAPITULO I

DEFINICIONES GENERALES

Artículo 1. Para los efectos de esta norma técnica se consideraran las definiciones contenidas en el Reglamento que establece las Normas de calidad del aire y sus métodos de medición, publicadas en el Registro Oficial No. 726 del 15 de julio de 1991, y las siguientes:

Condiciones de referencia - Temperatura y presión barométrica, a las cuales se deberán corregir los resultados de los muestreos y análisis de un contaminante en el aire. Estas condiciones son: temperatura veinticinco grados centígrados (25°C) y presión barométrica setecientos sesenta milímetros de mercurio (760 mm Hg).

Método de referencia - Procedimiento de análisis y medición descrito en una norma técnica, 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.

Método equivalente - Procedimiento de análisis y medición para determinar la concentración de un contaminante en el aire ambiente, señalado como tal en una norma técnica por producir resultados similares a los que se obtienen con el método de referencia, y ser susceptibles de aplicarse en sustitución de éste.

Partículas Totales en Suspensión - Cualquier partícula



sólida o líquida dispersa en la atmósfera, con diámetro aerodinámico hasta 100(cien) μm , como polvo, cenizas, hollín, partículas de diversos metales, cemento, polen y niebla, entre otros.

Artículo 2. Para los efectos de esta norma técnica, se considerarán las siguientes unidades de medida y abreviaturas:

$^{\circ}\text{C}$ -	Grado centígrado;
K -	Kelvin;
mm Hg -	Milímetro de mercurio;
μm -	Micrometro;
m^3/min -	Metros cúbicos por (sobre) minutos;
cm -	Centímetro;
cm^2 -	Centímetros cuadrados;
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ ref. -	Microgramos sobre metro cúbico corregido a las condiciones de referencia;

CAPITULO II

PROCEDIMIENTOS

Artículo 3. Método gravimétrico de comparación para muestras de gran volumen.

El método de referencia para determinar la concentración de partículas totales en suspensión en el aire será el de muestreo de alto volumen. En este método, un muestreador de aire, adecuadamente localizado, succiona a través de un filtro, una cantidad medida de aire hacia el interior de una casaca o coraza de protección, durante un período nominal de muestreo de 24 horas. El flujo de aire y la geometría del muestreador serán tales, que favorezcan la recolección de partículas en suspensión de diámetro aerodinámico comprendido entre 0.10 μm y 100 μm , (revisar propuestas) dependiendo de la velocidad del viento y su dirección. Los filtros usados deberán tener una eficiencia de recolección mínima del 99 por ciento para partículas de 0.3 μm .

El filtro será pesado, equilibrándolo en humedad y temperatura ambiente, 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, expresado en m^3 , se determina a partir del flujo de aire medido en unidades de 0.01 m^3/min y del tiempo de muestreo en minutos (min).



La concentración de partículas totales en suspensión en el aire se calcula dividiendo la masa de las partículas recolectadas sobre el volumen de aire muestreado y se expresa en microgramos por metro cúbico, corregido a las condiciones de referencia.

Artículo 4. Instrumental

El equipo necesario para realizar el monitoreo de P.T.S. en el aire es el referido en la figura No. 1

Este equipo muestreador consta de una bomba de vacío; soporte para la sujeción del filtro; un registrador de flujo de aire; un regulador de flujo; medidor (controlador) de tiempo transcurrido; un cronómetro para programar el tiempo de muestreo y de preferencia un dispositivo de voltaje variable para compensar las variaciones causadas por las caídas de presión en el filtro y por el voltaje en la línea de alimentación.

El motor de la bomba de vacío deberá contar con una capacidad de operación de 24 horas continuas y producir un flujo mínimo de aire de $1.1 \text{ m}^3/\text{min}$ (1.13), con un filtro cargado, y máximo de $1.7 \text{ m}^3/\text{min}$ con un filtro limpio.

El conjunto deberá hallarse cubierto con una coraza de protección (techo), como se muestra en la figura No. 1, para proteger el filtro de lluvia y de sedimentación de otros materiales que puedan caer sobre el filtro. El colector de polvo debe ir montado en la caseta verticalmente para que el filtro se mantiene en posición horizontal. La descarga de aire deberá ocurrir, al menos, a 40 cm de distancia de la entrada de aire; en dicha entrada se controlará que la velocidad del aire sea de entre 20 y 35 cm/seg.

El muestreo se lleva a cabo de la siguiente forma: el aire muestreado entra a la coraza bajo los huecos de la cubierta, se succiona a través del filtro y finalmente es devuelto a la atmósfera.

El filtro será de fibra de vidrio, con un poder de retención del 99 %, como mínimo para las partículas de $0.3 \mu\text{m}$ de diámetro y/o otro material inerte no hidróscopico, y no debe tener grietas, perforaciones u otras imperfecciones. Con un tamaño nominal de 20.3 ± 0.2 por 25.4 ± 0.2 cm, con una área expuesta de 406.5 cm^2 , una caída de presión de 42 a 54 mm Hg a un flujo de $1.5 \text{ m}^3/\text{min}$ a través del área expuesta nominal, un pH de 6 a 10.

El muestreador deberá incorporar un registrador de flujo, capaz de indicar el flujo total de aire a través del



filtro, con una precisión de $\pm 0.02 \text{ m}^3/\text{min}$, en el intervalo de 1.0 a 1.8 m^3/min . El registrador debe estar graduado para medir presiones comprendidas entre 0 y 25 cm de columna de agua y para inscribirlas en un diagrama circular, dividido en 24 (veinte cuatro) intervalos de 1 (una) hora.

El dispositivo del regulador de flujo debe permitir la regulación del flujo de aire admitido al colector con una precisión de $\pm 0.028 \text{ m}^3/\text{min}$, independientemente de las variaciones de la carga del filtro, del voltaje de tendido eléctrico, de la temperatura y de la presión.

El muestreador deberá incorporar un medidor (controlador) de tiempo transcurrido, para controlar el tiempo de encendido y apagado del equipo que conforma el muestreador, incluyendo el motor, con una capacidad mínima de 24 ± 1 hora y con una precisión de al menos ± 15 minutos.

Para programar el tiempo de muestreo, el equipo contará con un cronómetro, permitiendo fijar el tiempo de encendido y de apagado del motor de la bomba de vacío para realización del muestreo por el periodo del tiempo programado.

Instrumental adicional:

- Dispositivo de calibrado de orificio (equipo de calibración);
- Monómetro diferencial;
- Barómetro;
- Cámara de acondicionamiento de filtro;
- Balanza analítica;
- Marcador para identificar los filtros.

Artículo 5. Procedimiento de toma de muestras

El procedimiento para realizar el muestreo será el siguiente:

Levantar la tapa de la cubierta protectora e instalar el filtro, cerrar la tapa y poner a operar el muestreador durante unos cinco minutos para establecer las condiciones de operación; registrar la lectura del registrador de flujo de aire, si ésta se halla fuera del intervalo aceptable: entre 1.1 y 1.7 m^3/min puede cambiarse de filtro, si aun así el flujo no se encuentra todavía dentro de los límites indicados, puede ajustarse la tasa de flujo del muestreador por medio del regulador de flujo, cuidando no afectar a la calibración. En caso necesario, detener el muestreador y efectuar una nueva calibración.



MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA

SUBSECRETARIA DE SANEAMIENTO AMBIENTAL

Antes de usar, los filtros deberán ser revisados visualmente (cámara de luz), debiendo presentar una estructura uniforme. Los que pasan la prueba se foliarán (marcarán) y acondicionarán durante 24 horas en un lugar con temperatura controlada de 25 ± 2 °C y una humedad relativa constante del 50 ± 5 % de variación (cámara de acondicionamiento de filtro). Después de su acondicionamiento se pesan los filtros, obteniendo el peso inicial (Fi), expresado en gramos con la precisión de milésimas, el cual se registra.

Registrar el número del filtro instalado, su localización, así como la fecha y hora de arranque en el Formulario No. 4 (Red Equaire), fig. 5; ajustar el cronómetro para que el muestreador funcione durante 24 horas, iniciando su operación a la media noche, preferiblemente; registrar la numeración del medidor (controlador) de tiempo transcurrido.

Después de ser transcurridas las 24 horas de muestreo, quitar el filtro con cuidado, tocándolo únicamente por los extremos; guardar el filtro en un portafiltro (o sobre de papel manila); retirar la carta de flujo y guardar (o poner en el mismo sobre), indicando la fecha del muestreo.

Completar la información solicitada en el Formulario No. 4, fig. 5: el nombre de la estación, hora, tiempo de muestreo indicado por el medidor de tiempo transcurrido, tipo de filtro utilizado, número de muestreador y del motor, nombre de la persona responsable de la operación, incluyendo anotaciones sobre cualquier actividad no usual cercana al sitio de muestreo y que pudiera contribuir a modificar el nivel de concentración de partículas totales en suspensión.

Los filtros así muestreados deberán llevarse al laboratorio y nuevamente ser acondicionados durante 24 horas, a la misma temperatura y humedad iniciales, y se procederá a pesarlos, obteniendo el peso final (Pf), expresado en gramos, el cual también se registra. Si es necesario, los filtros se guardan después de pesados, para efectuar los análisis químicos.

Para una adecuada conservación del muestreador de alto volumen, las escobillas (carbones del motor) deben cambiarse oportunamente (aproximadamente a las 600-700 horas de operación).

Artículo 6. Procedimiento de análisis

Para proceder al análisis gravimétrico, cual permitirá reportar los valores de concentración de partículas en suspensión, se calculará el flujo promedio en el



MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA
SUBSECRETARIA DE SANEAMIENTO AMBIENTAL

muestreador (Q), y utilizando la expresión de calibración se calculará el flujo promedio de referencia del muestreo (Qref). El volumen total de aire se calculará:

$$V_{ref} = Q_{ref} * t$$

donde:

Vref - Volumen total de aire muestreado en unidades de referencia (m³ ref);

Qref - Flujo promedio en condiciones de referencia del muestreo (m³ ref/min);

t - Tiempo de muestreo en minutos (min):

Para calcular la concentración de partículas totales en suspensión se aplicará la siguiente fórmula:

$$C = (P_f - P_i) * 10^6 / V_{ref}$$

siendo:

C - Concentración de masa de las partículas totales en suspensión, expresada en µg/m³:

Pf - Peso final del filtro, en gramos (g):

Pi - Peso inicial del filtro, en gramos (g):

Vref - Volumen total de aire muestreado, en unidades de referencia (m³ ref):

(10⁶) - factor de conversión de gramos (g) a microgramos (µg):

Artículo 7. Para expresar las concentraciones de partículas suspendidas en condiciones de referencia, es necesario corregir el volumen medido y adecuarlo a dichas condiciones. Si es necesario, la presión barométrica ambiente no corregida y la temperatura pueden ser obtenidas de una estación meteorológica o aeropuerto cercano. No es fundamental hacer estas mediciones si el indicador de flujo del muestreador no requiere correcciones de presión o temperatura, o si las condiciones promedio del lugar donde se encuentra el muestreador, para la estación del año en que se realiza la muestra, están incorporadas en la calibración del muestreador. Para muestreadores que tienen registradores de



flujo, pero no controladores de flujo constante, la temperatura y presión promedio en el sitio, durante el período de muestreo, deberán ser estimadas de datos de la estación meteorológica o aeropuerto más cercano.

Artículo 8. Procedimiento de calibración

Todo equipo de muestreo de alto volumen a que se refiere esta norma técnica requiere de una calibración, la cual se llevará a cabo con el equipo y procedimiento que a continuación se describe:

KII (conjunto) de calibración:

- Placa adaptadora (opcional según el equipo) y juntas de hule;
- Cinco placas de resistencia normalizadas, números 18, 13, 10, 7 y 5, o unidad de orificio con resistencia variable;
- Unidad de orificio;
- Monómetro de tubo en "U" con agua como líquido manométrico, con escala de 0-10 pulgadas (0-25.4 centímetros);
- Hojas de registro de datos;
- Curva de calibración correspondiente a la unidad de orificio que se esté utilizando;

En las fig. 2, 3, 4, se muestra la forma de colocarlo el equipo de calibración en el muestreador de alto volumen, una curva típica de calibración correspondiente a una unidad de orificio y la hoja de registro que deberá utilizarse.

El procedimiento de calibración de un equipo de muestreo de alto volumen, mediante el empleo de una unidad de orificio, es el siguiente:

Anotar en la hoja de registro, fig. 4 la presión atmosférica (P₀) y la temperatura (T₀) proporcionados por el fabricante de la unidad de orificio, y que aparecen, por lo general, junto con la curva de calibración del orificio como se indica en la figura 3; anotar la presión atmosférica (P_a) y la temperatura ambiente (T_a) al momento en que se esté calibrando el muestreador de alto volumen. Se deben utilizar mm Hg para la presión atmosférica y °C para la temperatura ambiente. Si no se tiene el barómetro, solicitar al aeropuerto o estación meteorológica más cercana el dato de presión atmosférica correspondiente.

Instalar una carta limpia en el registrador de flujo del muestreador y cerciorarse de que el trazador de dicho



registrador está en cero cuando el motor del muestreador está apagado. Si no está en cero, ajustarlo a cero siguiendo las instrucciones del fabricante; usualmente, haciendo girar con un desarmador el tornillo localizado sobre la esquina inferior derecha de la carátula del registrador.

Colocar la placa de resistencia No. 18 en la unidad de orificio y si el muestreador está equipado con dispositivo de flujo variable, utilizar la placa adaptadora para conectar la unidad de orificio al portafiltro del muestreador de alto volumen. Si no se dispone de una placa adaptadora, conectar la unidad de orificio directamente al motor, quitando el portafiltro. Apretar firmemente todas las conexiones de aire y verificar que no haya fugas.

Poner a funcionar el motor del muestreador durante cinco minutos para estabilizarlo, conectando el motor directamente a una fuente estable de energía.

En la hoja de registro que aparece en la figura 4, anotar en la columna "Total H₂O", la lectura del manómetro de agua de la unidad de orificio y en la columna J, la lectura del flujo del registrador de carta del muestreador de alto volumen.

Repetir los pasos anteriores para las placas de resistencia No: 13, 10, 7 y 5. Existen unidades de orificio con resistencias variables que no requieren de cambios de placas, en este caso, habrá que tomar al menos cinco lecturas uniformemente distribuidas en el intervalo de 1.1 a 1.8 m³/min. En cada caso, anotar las lecturas del registrador del muestreador en la columna J de la hoja de registro indicada en la figura 4.

Las lecturas del manómetro de las placas orificio "Total H₂O" necesitan ser corregidas a flujos de condiciones de referencia, usando las siguiente ecuación:

$$Q_{ref} = 17m \times \left[(\Delta H_2O (Pa/760) \times (298/T_a))^{0.5} \right] \quad (1)$$

Q_{ref} - Flujo de referencia calculado según el orificio calibrador, m³/min;

ΔH₂O - Lectura del manómetro durante la calibración;

T_a - Temperatura del sitio de muestreo en K (Temperatura en °C + 273);

298 - Temperatura de referencia en K (25 °C + 273°=298 K);

P_a - Presión barométrica ambiente del sitio de



muestreo en mm Hg:

- 760 - Presión barométrica de referencia en mm Hg;
- m - Pendiente del orificio calibrador;
- b - Intersección del orificio calibrador;
- \wedge - Elevado a la potencia

Cuando los flujos de referencia han sido determinados para los cinco puntos, estos son registrados en la columna de Q_{ref} , en m^3/min , figura 4.

Las lecturas del registrador tomadas durante la calibración, se corrigen a las condiciones meteorológicas de referencia, usando:

$$JC = J((Pa/760) \times (298/Ta))^{0.5}$$

JC - Lectura del registrador corregida a las condiciones de referencia;

J - Lectura del registrador obtenida durante la calibración;

Las lecturas corregidas del registrador se anotan en la columna JC, figura 4.

Usando Q_{ref} y JC como X y Y respectivamente, se realiza regresión lineal y se obtiene la pendiente (m'), intersección (b') y el coeficiente de la correlación (r'), que no debe ser menor a 0.990, después de la calibración de 5 (cinco) puntos.

Un coeficiente menor a 0.990, indica una calibración no lineal, y procedimiento de la calibración debe ser realizado de nuevo (esto puede ocurrir cuando hay fugas de aire).

Artículo 9. El cálculo del flujo de aire de operación, corregido a las condiciones de referencia se realice utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_{ref} = 1/m' \times [JC - b']$$

JC - Lectura del registrador corregida a las condiciones de referencia;

m' - Pendiente de la recta de correlación obtenida durante calibración;



b' - Intersección de las coordenadas obtenida durante calibración del muestreador.

m' y b' pueden ser obtenidos trazando los puntos en papel milimétrico y ajustándolo a una recta o por el método de mínimos cuadrados.

Artículo 10. Mirando la columna de Qref, los flujos que están en el rango de operación de 1.1 a 1.7 m³/min (39 a 60 pie³ /min), pueden ser identificados con la lectura de cartilla que asegura que muestreador está operando dentro del rango aceptable del flujo de operación.

CAPITULO III

DISPOSICIONES GENERALES

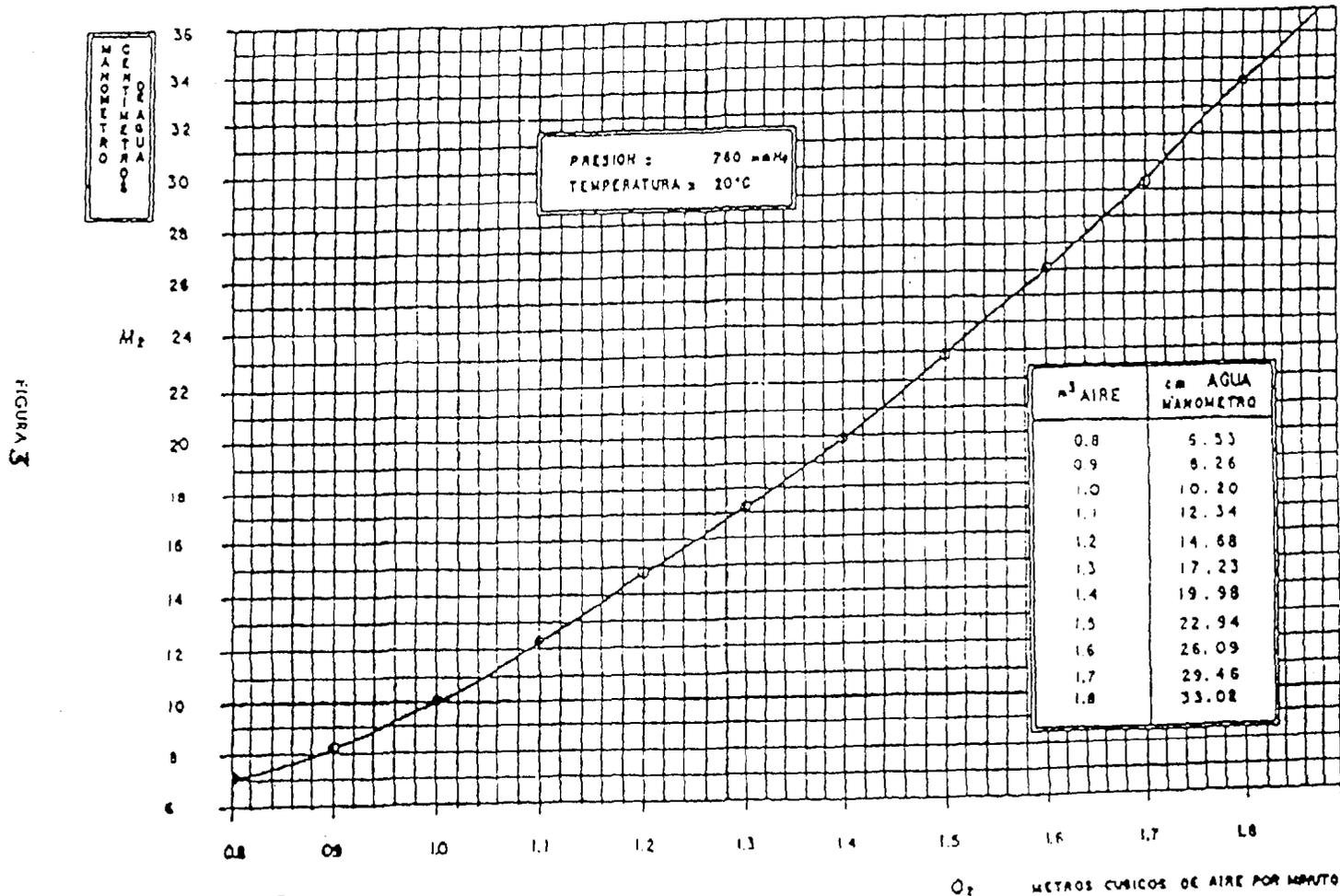
Artículo 11. El método descrito en el artículo 3ro es el método de referencia para efectuar la determinación de la concentración de partículas totales en suspensión en el aire, sin que existan métodos equivalentes.

Artículo 12. Esta norma técnica es de orden público e interés social, así como de observancia obligatoria por las autoridades gubernamentales (estatales), provinciales y municipales, que tengan a su cargo el establecimiento (redes de monitoreo) y operación de sistemas manuales de monitoreo de la calidad del aire, en los que se determinen concentraciones de partículas totales en suspensión.

Artículo 13. Para los efectos de esta norma, se considerarán ?...

Artículo 14. La presente Norma Técnica entrará en vigencia desde la fecha de su publicación (promulgación) en el Registro Oficial.

CURVA PROMEDIO DE VALORES PARA ORIFICIO DE CALIBRACION GMW - 25 A



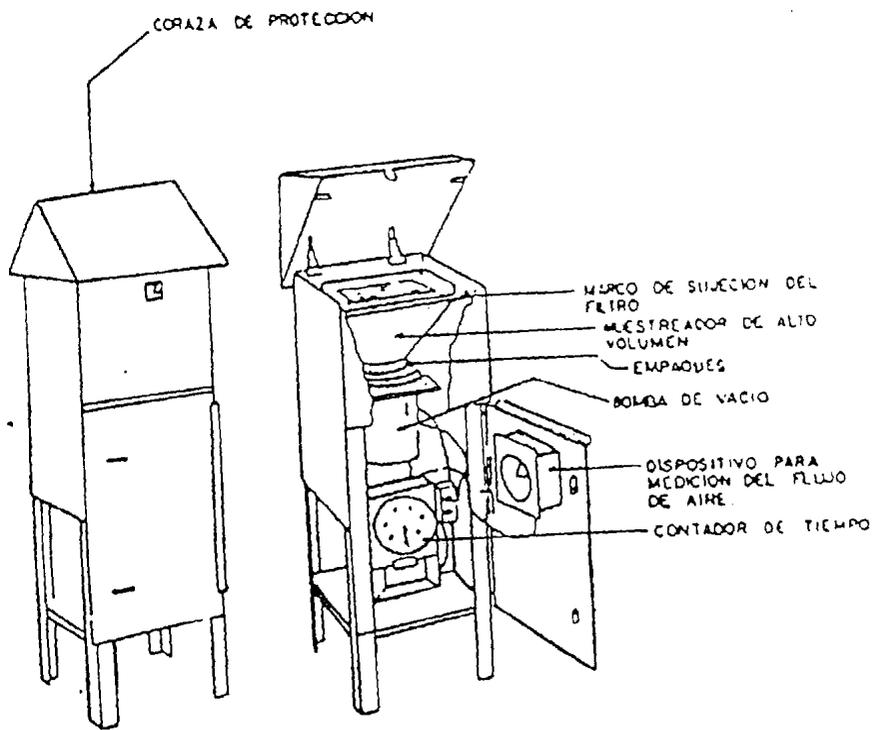


FIGURA 1

Equipo para el muestreo de partículas suspendidas.

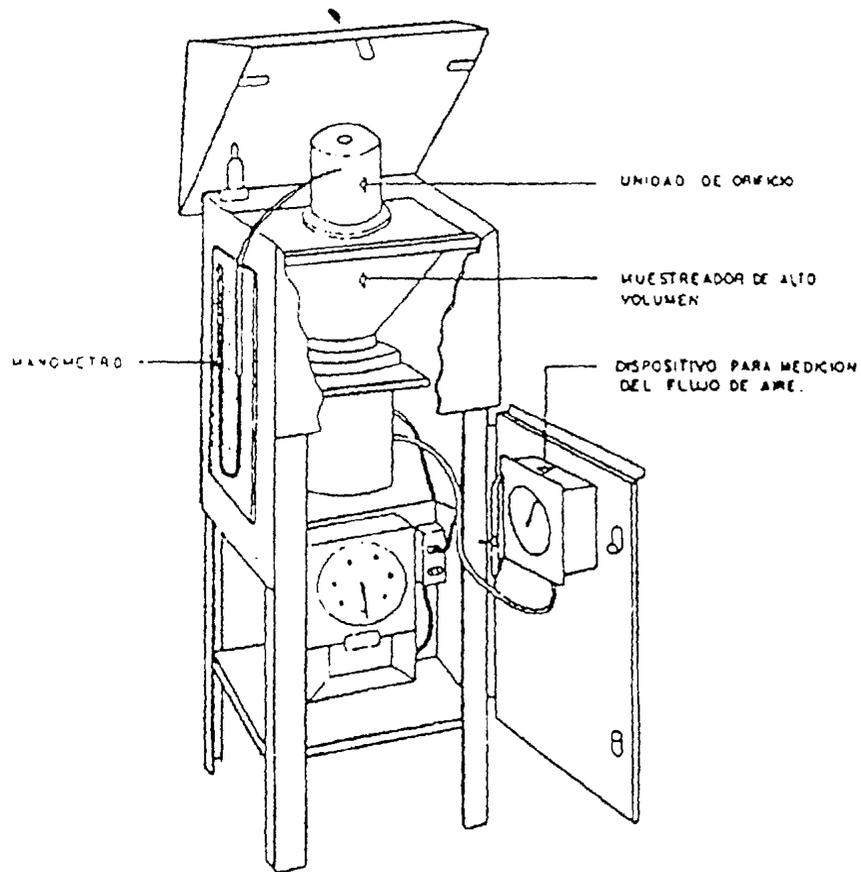


FIGURA 2

Arreglo del dispositivo para la calibración del flujo del aire.

APENDICE H

National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)

TABLE C-1. National Ambient Air Quality Standards

Pollutant/averaging time	Primary Standard <small>1</small>	Secondary Standard
<u>Particulate Matter</u>		
o PM ₁₀ , annual ^a	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
o PM ₁₀ , 24-hour ^b	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<u>Sulfur Dioxide</u>		
o SO ₂ , annual ^c	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm)	
o SO ₂ , 24-hour ^d	365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.14 ppm)	
o SO ₂ , 3-hour ^d		1,300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.5 ppm)
<u>Nitrogen Dioxide</u>		
o NO ₂ , annual ^c	0.053 ppm (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.053 ppm (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
<u>Ozone</u>		
o O ₃ , 1-hour ^b	0.12 ppm (235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.12 ppm (235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
<u>Carbon Monoxide</u>		
o CO, 8-hour ^d	9 ppm (10 mg/m^3)	--
o CO, 1-hour ^d	35 ppm (40 mg/m^3)	--
<u>Lead</u>		
o Pb, calendar quarter ^c	1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	--

a Standard is attained when the expected annual arithmetic mean is less than or equal to 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

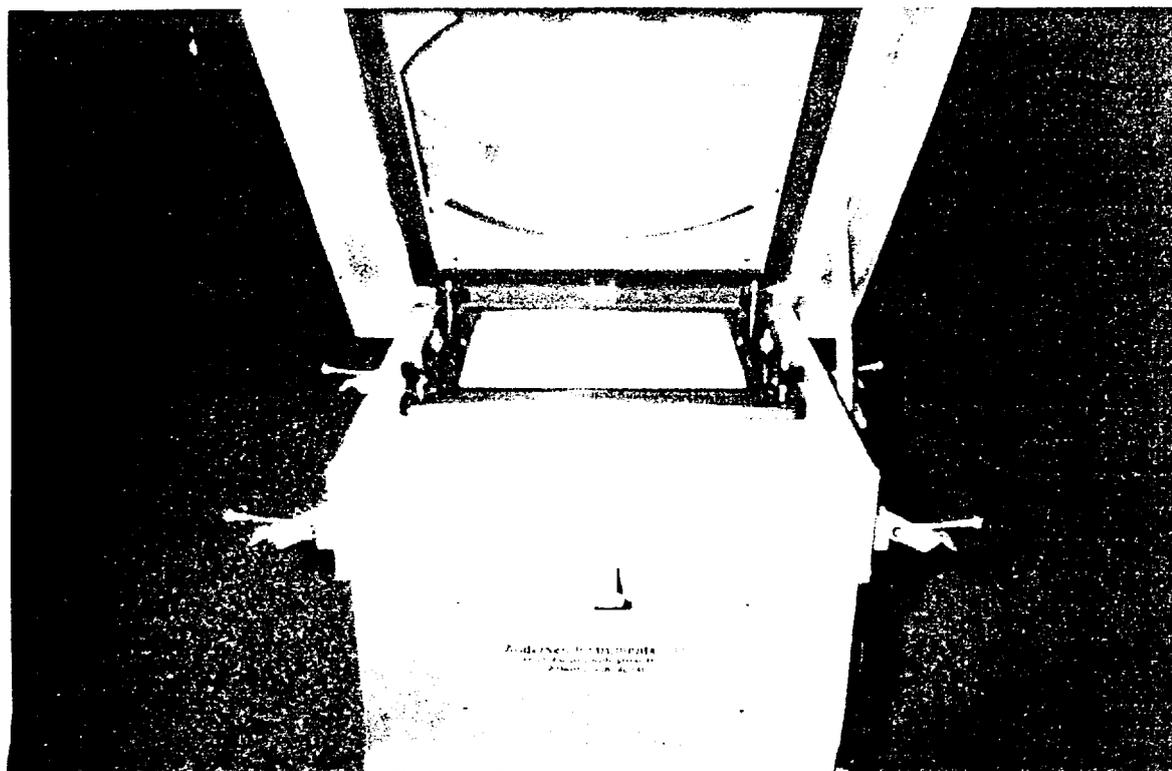
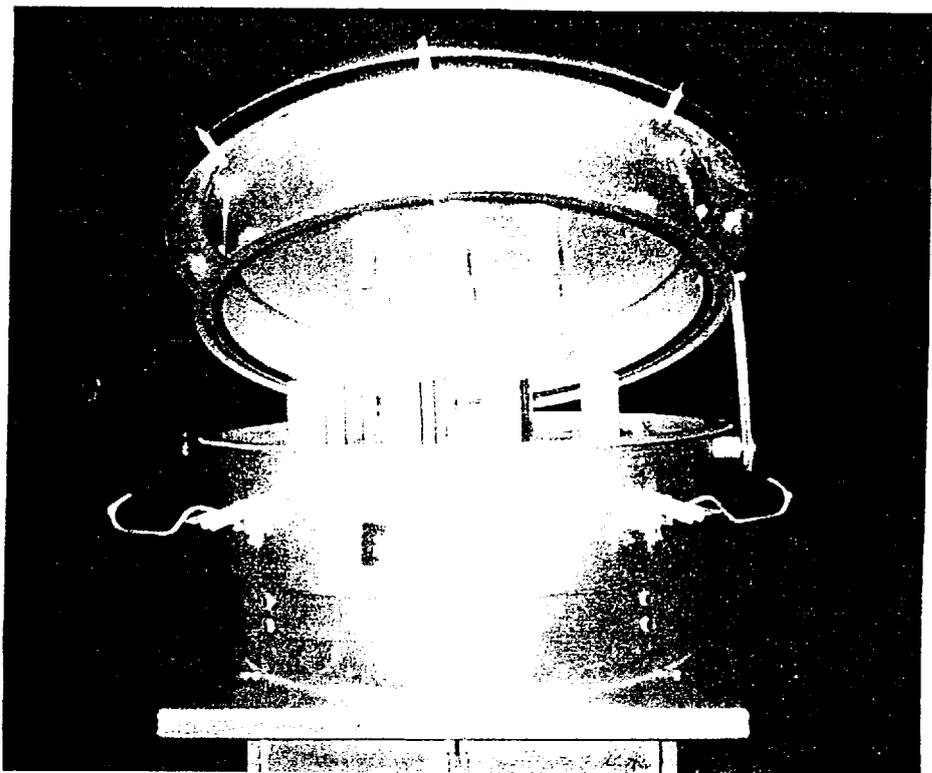
b Standard is attained when the expected number of exceedances is less than or equal to 1.

c Never to be exceeded.

d Not to be exceeded more than once per year.

APENDICE I

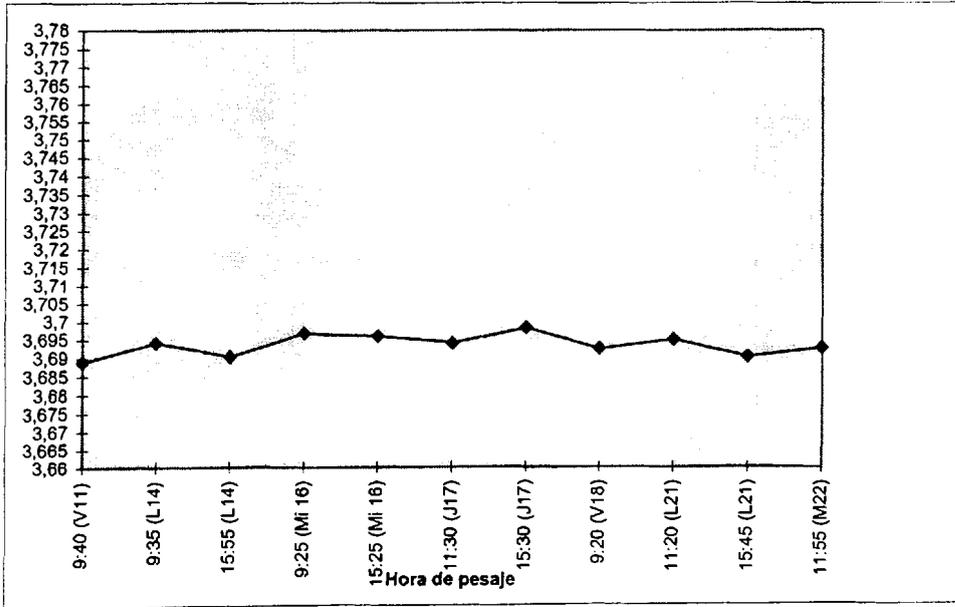
MUESTREADOR PM10: CÁMARA PORTAFILTRO Y DISPOSITIVOS DE CONTROL



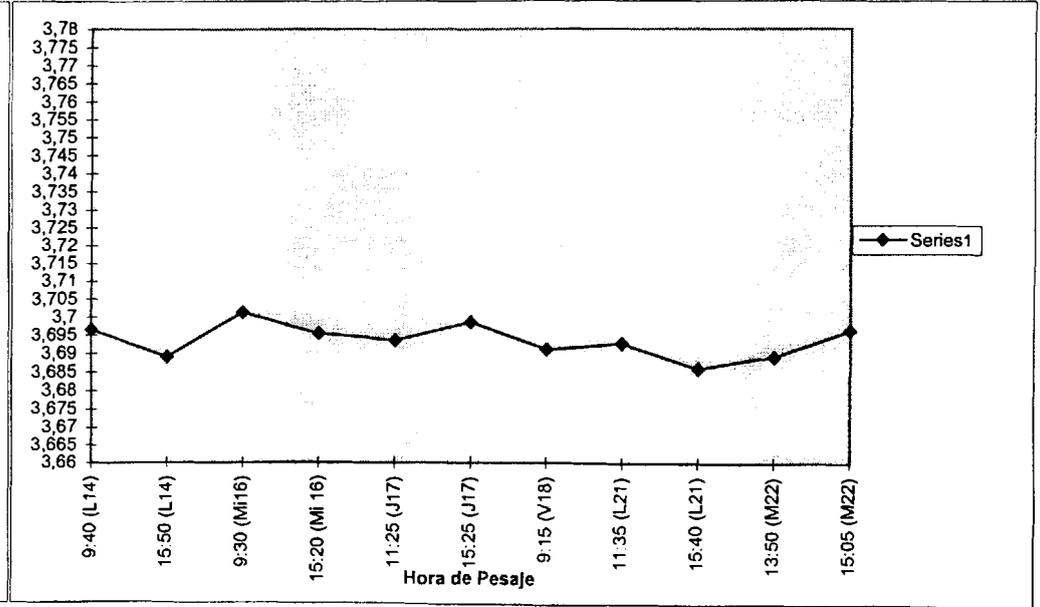
APENDICE J: CURVAS DE ESTABILIZACION DE PESO DE FILTROS

Masa (gramos) Vs. Hora de Pesaje

Filtro #3: Estación Planta diario El Universo



Filtro #1: Estación Centro, Junín y Córdoba



BIBLIOGRAFIA

- 1 **Wark & Warner**, Contaminación del Aire: Origen y control, Editorial Limusa, segunda edición, 1990
- 2 **Vincent, J.H.**, Aerosol Science for Industrial Higienists, John Wiley and Sons Limited, 1996, Cap. 6
- 3 **Meetham, A. R.** Atmospheric Pollution: Its History, origins and prevention, Cuarta edición, Oxford Pergamon Press, Inglaterra, 1979
- 4 **David Y. Pui & Benjamin Y. Liu**, Advances in instrumentation for atmospheric aerosol measurement, Universidad de Minnesota, Laboratorio de Tecnología de Partículas, 1986
- 5 **Miller F.J. - Gardner D.E. - Graham J. A.**, Air Pollution Control Association, 1979
- 6 **Maldonado González, Julio**, Estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos producidos por fuentes móviles de Guayaquil y su impacto ambiental, Facultad de Ingeniería en Mecánica, ESPOL, 1989
- 7 **INEC-EFFICACITAS**, Contaminación Industrial en Guayaquil, Evaluación Preliminar, Primera edición, Julio 1996
- 8 **Andersen Samplers**, Instruction and Operation Manual High Volume PM10 Sampler, Julio 1988
- 9 **Granja Jimenez, Ruth.**, Inventario de Emisiones Industriales Atmosféricas en la ciudad de Guayaquil usando el método recomendado por la OMS, Facultad de Ingeniería en Mecánica, ESPOL, 1996
- 10 **Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México**, Memoria de "Seminario permanente sobre Medio Ambiente y Salud, Un nuevo reto para la medicina del siglo XXI", Ciudad de México, 1997
- 11 **David Y. Pui & Benjamin Y. Liu**, Aerosols, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Minnesota, VCH. Publishers, Minneapolis, 1991.
- 12 **Louis Theodore-Young C. McGuinn**, Prevention Pollution, primera edición, 1992, Editorial Van Nostrand Reinhold

- 13 **F. C. Alley**, Air Pollution Control, A design Approach, second edition, 1994
 - 14 **Dean E. Painter**, Air Pollution Technology, primera edición, Reston Publishing Company, Estados Unidos, 1974
-