

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**DETERMINACION DE CONTAMINANTES  
GASEOSOS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA.**

308

**T E S I S**  
Que para Obtener el Título de :  
INGENIERO QUIMICO  
**P R E S E N T A :**  
LUIS RAUL MOLINA IRIGOYEN

MEXICO, D. F.

1976



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

M-298



QUING

A MIS PADRES QUE ME PERMITIERON REALIZARME.

A MIS HERMANOS, PARIENTES Y AMIGOS.

CON AMOR A MA, LUISA, MYRNA Y RAUL.

A G R A D E C I M I E N T O S

AGRADEZCO LA VALIOSA COOPERACION DE:

DR. ENRIQUE MARQUEZ MAYAUDON.

ASESOR DEL CONSEJO TECNICO DE LA SUB-SECRETARIA DEL MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE.

DR. UBALDO BONILLA.

JEFE DE LA SECCION DE INGENIERIA SANITARIA DE LA DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA.... U N A M.

ING. FELIPE COVARRUBIAS OLIVARES.

SUB-DIRECTOR GENERAL DE OPERACION - DEL FONDO NACIONAL DE FOMENTO EJIDAL.

POR LAS FACILIDADES PRESTADAS EN LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

AGRADEZCO AL ING. ALBERTO DE  
LA FUENTE ZUNO SU ATINADA DI  
RECCION EN LA ELABORACION DE  
ESTE TRABAJO.

AGRADEZCO :

PROF. RAMON VILCHIS ZIMBRON.

PROF. JORGE MENCARINI PENICHE.

PROF. RAMON ARNAUD HUERTA.

PROF. CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO.

PRESIDENTE: PROF. RAMON VILCHIS ZIMBRON.

VOCAL: PROF. VICTOR M. CORONADO BRAVO.

SECRETARIO: ALBERTO FCO. DE LA FUENTE ZUNO.

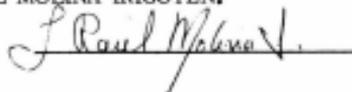
1er. SUPLENTE: JORGE MENCARINI PENICHE

2do. SUPLENTE: RAMON ARNAUD HUERTA.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

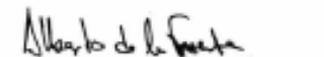
CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO, D.F.,

SUSTENTANTE: LUIS RAUL MOLINA IRIGOYEN.



Luis Raul Molina Irigoyen

ASESOR DEL TEMA: ALBERTO FCO. DE LA FUENTE ZUNO.



Alberto Fco. de la Fuente Zuno

C O N T E N I D O.

1.-	INTRODUCCION.	1
2.-	ATMOSFERA NATURAL.	3
3.-	CONTAMINANTES ATMOSFERICOS.	5 ←
	3.1.    Polvos.	5
	3.2.    Gases.	5
4.-	FUENTES CONTAMINANTES.	7
	4.1.    Fuentes Domésticas.	7
	4.2.    Fuentes Móviles.	7
	4.3.    Fuentes Industriales.	7
5.-	EFFECTOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.	9
	5.1.    Efectos en General.	9
	5.2.    Efectos Producidos por Agentes Especificos.	11
6.-	ASPECTOS METEOROLOGICOS DE LA CONTAMINACION DEL AIRE.	20
	6.1.    Condiciones de Estabili- dad Atmosférica.	20
	6.2.    Vientos y Turbulencia.	22
	6.3.    Remoción natural de Con- taminantes.	23
	6.4.    Meteorología Aplicada a Chimeneas.	24
	6.5.    Distribución y Concen- tración de Contaminantes.	27 ←
7.-	REDES DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE.	31
	7.1.    Objetivos de la Red de Muestreo.	31
	7.2.    Diseño de una Red de Vi- gilancia de la Calidad del Aire.	<u>31</u>
	7.3.    Obtención y Análisis de Datos.	38

8.-	ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN CIUDAD UNIVERSITARIA.	40
	8.1. Determinación de Partículas Suspensas por el Método de Alto Volúmen.	41
	8.2. Determinación de SO <sub>2</sub> por el Método de West-Gaeke modificado.	55
	8.3. Determinación de NO <sub>2</sub> por el método de Christie modificado.	67
	8.4. Determinación de Oxidantes Totales por el Método del Alcohol Alílico.	74
	8.5. Análisis de Datos.	80
	8.6. Normas de Calidad del Aire.	82
9.-	MÉTODOS Y EQUIPOS PARA ABATIR LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.	84
	9.1. Métodos de Control.	84
	9.2. Equipos Para Remoción de Contaminantes.	85
10.-	CONCLUSIONES.	107
11.-	RECOMENDACIONES.	109
12.-	REFERENCIAS.	110
13.-	BIBLIOGRAFIA.	112

## 1.- INTRODUCCION:

Para reconocer la existencia del aire, el hombre necesitó casi de un millón de años, para investigar su composición requirió de algunos siglos y en los últimos 35 años ha comenzado a darse cuenta en forma cada vez más clara de que no puede seguir utilizando la atmósfera que lo rodea como un resumidero para sus desechos gaseosos o en partículas finas, sin poner en peligro su bienestar y su propia vida.

La contaminación atmosférica no es un fenómeno nuevo, la historia registra el primer incidente serio a mediados del Siglo XIII (1257) en Inglaterra, motivo por el cual la reina abandonó la ciudad por un período largo para vivir en los alrededores y así mantenerse fuera del círculo viciado de humo y niebla de Londres. Actualmente se conoce esa combinación de humo (smoke) y niebla (fog) con la palabra "Smog".

Por lo que corresponde al nuevo mundo, la contaminación ambiental tampoco es nueva, ya que simplemente mucho tiempo antes de que el hombre blanco llegara a lo que ahora es el condado de los Angeles Cal., los pobladores aborígenes de esa región le llamaban el Valle de los Humos, porque el humo de los fuegos de campamento no se disipaba rápidamente en esa Zona. (ref. 1).

La contaminación del aire, sin embargo, es fundamentalmente un -- problema del Siglo XX. En su forma actual su origen se remonta a 1930, -- cuando el Valle del Mosa, en Bélgica, se vió cubierto durante casi una semana, por una niebla espesa a la que se atribuyó la muerte de 63 personas y - de 3,000 cabezas de ganado. Un fenómeno similar ocurrió en Donora, Pennsylvania, EE.UU., donde en 1943, una niebla cargada de anhídridos sulfuro -

so y sulfúrico, que duró cinco días, obligó a huir a sus 14,000 habitantes - que, presa del pánico, dejaron abandonada la Ciudad después de que enfermaron 6,000 personas y murieron 20. Con caracteres menos espectaculares se repitió en Londres en 1952, donde variaciones inesperadas en las -- curvas de mortalidad hacen que algunos autores atribuyan hasta 12,000 muertes no previstas a un período también de cinco días de una niebla espesa y cargada de hollín, recordada como la "Niebla Negra", por los Londonenses. Estudios posteriores permiten afirmar que esto no constituyó un fenómeno - aislado si no que se ha repetido, aunque en forma aparentemente menos grave, por lo menos en 1956, 1960 y 1962 y además en Nueva York en 1963 y 1970, en Tokyo en 1920 y en otras Ciudades, entre las que se encuentra -- Poza Rica, México en 1950.

En la Ciudad de México, que es una de las Ciudades más contaminadas del mundo se han conjugado para agravar la situación los factores geográficos - y meteorológicos, la explosión demográfica, el desorbitado crecimiento industrial, la destrucción de los recursos naturales y la falta de planeación. El llamado Valle de México no es tal. La zona donde se levanta la gran Ciudad es una cuenca cerrada de 9600 kilómetros cuadrados rodeada por montañas. El puerto más bajo de esas montañas sobre el nivel del fondo está a 200 metros, y así los vientos casi nunca pueden barrer las impurezas del aire y sacarlas de la cuenca. Se requieren condiciones muy especiales para que así suceda y tales condiciones rara vez se presentan, por lo contrario la meteorología es tan adversa como la geografía. La complicada circulación - de los vientos en la cuenca no hace otra cosa que mover los contaminantes - de uno a otro lado, hasta que se depositan por gravedad o escapan al presentarse las especiales condiciones meteorológicas necesarias.

## 2.- ATMOSFERA NATURAL.

Se calcula que la capa gaseosa que rodea a la tierra tiene una masa aproximada de  $6 \times 10^{15}$  toneladas de aire, ejerciendo una presión a nivel del mar de  $1,033 \text{ Kg/Cm}^2$ , con una densidad máxima de  $1,293 \text{ g/l}$  y que disminuye a medida que aumenta la distancia a la superficie de la tierra.

Se suelen distinguir, en la atmósfera, tres capas, la tropósfera comprendida entre la superficie terrestre hasta una altura de  $12 \text{ km}$ , la estratósfera, entre  $12$  y  $90$  kilómetros y la ionósfera, por encima de los  $90$  kilómetros.

La composición promedio de la atmósfera terrestre cerca de la tierra. Se muestra en la Tabla 2,1

Aparte de los componentes que se encuentran en una proporción fija existen otros, también de origen natural, para los cuales no es posible señalar un porcentaje dada la gran variabilidad en que se les encuentra. El más importante es el vapor de agua que suele oscilar entre el  $1$  y  $3\%$ , se pueden mencionar además sustancias tales como el ozono, formado por acción fotoquímica y por las descargas eléctricas; materiales de origen volcánico como polvo y cenizas, dióxido de azufre y ácidos clorhídrico, fluorhídrico y sulfhídrico, este último también producto de procesos bacterianos de putrefacción; polen y esporas de origen vegetal; polvo levantado del suelo y de origen meteórico; cloruro de sodio de origen marino y dióxido de nitrógeno formado durante las descargas eléctricas.

Desde el punto de vista de la contaminación atmosférica, la masa de aire que importa es la que está sobre la superficie de las Ciudades y hasta una altura de no más de un kilómetro.

TABLA 2.1 COMPOSICION PROMEDIO  
DE LA ATMOSFERA.

GAS.	% EN VOLUMEN.	% EN PESO.
N <sub>2</sub>	78,090000	75,51000
O <sub>2</sub>	20,950000	23,15000
Ar	0,930000	1,23000
CO <sub>2</sub>	0,030000	0,46000
Ne	0,001800	0,01250
He	0,000520	0,00072
CH <sub>4</sub>	0,000220	0,00120
Kr	0,000100	0,00290
N <sub>2</sub> O	0,000100	0,00150
H <sub>2</sub>	0,000050	0,00003
Xe	0,000008	0,00036

### 3.- CONTAMINANTES ATMOSFERICOS.

Contaminante atmosférico en términos generales, es toda sustancia o energía que se encuentra en el aire en exceso, en el sitio inadecuado y en un momento inoportuno. (ref. 2).

\* Los contaminantes que se pueden encontrar en la atmósfera de una comunidad se pueden separar en dos clases, polvos y gases.

3.1 Los contaminantes por polvos se consideran como cualquier materia - dispersa sólida o líquida, en la que los agregados individuales tienen - un diámetro mayor que una molécula pequeña alrededor de 0,0002 micras y menor de 500 micras. Los polvos pueden persistir en el aire desde unos segundos hasta varios meses, por lo que estos contaminantes se han subdividido en dos categorías dependiendo básicamente de - la técnica de muestreo.

Estas dos subdivisiones son sólidos sedimentables y partículas en suspensión, los primeros son aquellos materiales que se depositan por -- gravedad en jarras de muestreo durante un período de 30 días, mientras que las segundas son aquellas que pueden ser filtradas de la atmósfera utilizando la técnica de muestreo de alto volumen.

3.2 Los contaminantes gaseosos se pueden dividir en dos clases, es decir, gases inorgánicos y vapores orgánicos. Como ejemplo de gases inorgánicos más comunes tenemos los siguientes:

Dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno, amoníaco, etc., Dentro de la -- clasificación de gases orgánicos se encuentran los hidrocarburos, los mercaptanos, los alcoholes, los aldehídos y las cetonas, los ésteres, etc.,

Otra clasificación de los contaminantes gaseosos los divide en primarios,

a aquellos que son el producto de emisiones de gases que permanecen inalterados en la atmósfera y en secundarios, a aquellos contaminantes que resultan de las reacciones fotoquímicas, en general sustancias oxidantes con el ozono como principal componente, el anhídrido sulfúrico que por combinación con la humedad del aire forma las nieblas de ácido sulfúrico y sustancias orgánicas oxidantes como los peroxiacetilnitratos.\*



#### 4.- FUENTES CONTAMINANTES.

Las fuentes contaminantes se clasifican de acuerdo a su origen, en naturales y creadas por el hombre.

Las fuentes contaminantes motivadas por la actividad humana se pueden dividir en tres grandes categorías responsables de el estado actual de la contaminación atmosférica y son las siguientes:

##### 4.1 Fuentes Domésticas.-

Contribuyen considerablemente a la contaminación del aire especialmente durante el invierno debido al elevado incremento en el consumo de combustibles diversos para calefacción y con una generación de hollín, humos y dióxido de azufre que son descargados a la atmósfera.

##### 4.2 Fuentes Móviles.-

Los gases de combustión de los vehículos automotores son los responsables hasta un grado considerable de la contaminación del aire, especialmente en las grandes Ciudades.

Los contaminantes que se encuentran en el escape de un motor de gasolina son, monóxido de carbono, hidrocarburos, hollín, óxidos de nitrógeno y aldehídos, los cuales al mezclarse con el aire, especialmente en presencia de radiación solar intensa pueden ser causantes de numerosas reacciones fotoquímicas.

##### 4.3 Fuentes Industriales.-

En áreas densamente industrializadas la contaminación del aire es predominante. Las plantas termoeléctricas vierten a la atmósfera por cada 300,000 kilowatts  $20,000 \text{ M}^3$ , por minuto de gases con contaminantes como partículas, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre. La fabricación en México de 7.2 millones de toneladas anuales de cemento

gris representa la emisión de 700,000 toneladas de contaminantes principalmente polvos. La producción de 4 millones de toneladas de hierro contamina al aire con 19,000 toneladas de partículas además de óxidos metálicos diversos. La producción de 70,000 M<sup>3</sup> de pinturas, esmaltes y lacas incorporan en su totalidad a la atmósfera los materiales solventes cuando se usan estos productos. Estimativamente correspondería una caldera para dos empresas, un horno o incinerador por empresa y tres chimeneas por cada dos empresas, todas descargando gases de desecho hacia la atmósfera. (ref. 2).

## 5.- EFECTOS DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.

Existen muchos efectos que se pueden atribuir a la contaminación atmosférica; algunos pueden ser observados y evaluados mientras que otros sólo pueden ser deducidos mediante análisis estadísticos. Se pueden clasificar para su estudio, como físicos, químicos y biológicos, ya sea como efectos en general o como efectos producidos por agentes específicos.

### 5.1 Efectos en General.-

Son aquellos, producidos por contaminantes no específicos solos o en combinación, que se manifiestan en cambios físicos químicos y biológicos; y como consecuencia de éstos, en daños económicos.

#### 5.1.1 Efectos Físicos.-

Se atribuyen a la transmisión, absorción o reflexión de radiaciones electromagnéticas y de partículas así como a la remoción de contaminantes del aire por medios físicos tales como la sedimentación, la absorción y la adsorción. La disminución de la visibilidad que recientemente se toma como una medida de la contaminación del aire, ocasiona serios perjuicios para el tránsito aéreo y automotriz; una atmósfera contaminada con polvos afecta a las superficies expuestas pudiéndose notar especialmente en las ropas, edificios, automóviles, y aún en árboles y plantas. Algunos autores opinan, que la capa de contaminantes atmosféricos reducirá la insolación, con lo que se puede llegar a otra época glacial. Otros dicen que el dióxido de carbono elevará la temperatura, fundirá las nieves y hielos polares e inundará las áreas costeras.

#### 5.1.2 Efectos Químicos.-

Las entidades químicas que se encuentran en la atmósfera están expuestas a sufrir cambios continuos. Debido a consideraciones termodinámicas

micas la tendencia de estos cambios es formar productos más estables, con menos energía interna, sin embargo, existen otro tipo de reacciones, como las fotoquímicas, que producen sustancias complejas y altamente-inestables que ocasionan la corrosión y destrucción de materiales.

### 5.1.3 Efectos Biológicos.-

Los esfuerzos de los investigadores no han permitido demostrar en forma clara la existencia de una correlación entre los efectos biológicos y la cantidad de contaminantes presentes en la atmósfera. La información -- existente sobre efectos crónicos producidos por bajas concentraciones -- de contaminantes se ha recabado de estudios epidemiológicos por métodos estadísticos. Aún cuando existen indicios fuertes que permiten aseverar que la causa de la alta morbilidad y mortalidad por enfermedades respiratorias, han sido los altos niveles de contaminación del aire a mucha gente no le convence el que la causa pueda ser separada de la gran complejidad de los diversos factores que prevalecen en la población a prueba. (ref. 3).

Los experimentos toxicológicos con animales generalmente se llevan a cabo administrando cantidades relativamente altas del material a prueba y a menudo por medios diferentes a la inhalación. Los resultados se extrapolan a dosis menores a inhalación y al hombre.

El daño a las plantas es más fácil de determinar que el daño a los animales, debido fundamentalmente a que las plantas son más sensibles a la contaminación del aire que los animales y a que las exposiciones se pueden controlar más fácilmente.

### 5.1.4 Efectos Económicos.-

No resulta sencillo hacer una estimación de los daños económicos que-

ocasiona la contaminación del aire y que provienen de la corrosión, destrucción de materiales, disminución de las cosechas, perjuicios a la ganadería, disminución de la visibilidad, etc.,

En los Estados Unidos se ha estimado, por concepto de éstos daños, un gasto anual de 15,000 millones de dólares que va en aumento y que por sí sólo induce a reforzar las medidas de control que se están adoptando

\* para disminuir la gravedad del problema. \*

## 5.2 Efectos Producidos Por Agentes Específicos.-

### 5.2.1 Polvos.-

Los efectos físicos importantes son la reducción de la visibilidad, suciedad, incremento en la precipitación pluvial y descenso gradual de la temperatura de la tierra que algunos observadores han notado. Las partículas de polvos reaccionan con las superficies donde se depositan sólomente en presencia de agua que toman de su alrededor ya sea porque ocurre la condensación capilar sobre las partículas o porque generalmente, las que mayor daño causan, son higroscópicas. Los efectos biológicos, producidos por polvos inertes, en el hombre y en los animales, se deben a depósitos en los pulmones durante la respiración. Los polvos irritantes, generalmente de forma fibrosa, tales como la fibra de vidrio, favorecen el aumento de síntomas respiratorios. Las partículas químicamente activas tales como sílice y berilio pueden producir las enfermedades conocidas como silicosis y beriliosis. Los depósitos de polvos en las plantas pueden interferir con la recepción de la luz solar o con la respiración y la transpiración. Las partículas inertes inhiben el crecimiento de las plantas y las partículas solubles a menudo reaccionan con la planta causándole daños bioquímicos que la pueden conducir a la muerte. \*

### 5.2.2 Dióxido de Azufre.-

Aún cuando existen muchas fuentes de información sobre los efectos - del dióxido de azufre, gran parte de ésta es contradictoria. Algunos de los efectos son fácilmente comprobables como la disminución de la visibilidad y su poder fitotóxico. Los resultados de investigaciones epidemiológicas sobre los efectos en seres humanos del dióxido de azure y de partículas en suspensión, se sintetizan en el Cuadro No. 1.

### 5.2.3 Monóxido de Carbono.-

Los efectos importantes del monóxido de carbono son los biológicos - cuando actúa sobre el hombre y sobre los animales. Su principal -- acción se produce al combinarse con la hemoglobina de la sangre y formar la carboxihemoglobina; este derivado impide la oxigenación de los tejidos.

Cuando las concentraciones del monóxido de carbono en el aire inspirado son altas y sostenidas por un período largo, la persona manifiesta dolor de cabeza, mareos y puede llegar al estado de coma y hasta la - muerte por el daño del sistema nervioso central, sin embargo, dichas concentraciones nunca se han encontrado en el ambiente habitual de -- las Ciudades. En el Cuadro No. 2, aparece la síntesis de estudios reportados sobreefectos del monóxido de carbono sobre la salud que han sido hallados en el laboratorio, no en el medio ambiente habitual. (ref. 3).

En el Cuadro No. 3 aparecen los niveles de carboxihemoglobina en la sangre que se alcanzan, con diferentes concentraciones de monóxido de carbono atmosférico a nivel del mar.

CUADRO No. 1  
NIVELES AMBIENTALES DE ANHIDRIDO SULFUROSO Y PARTICULAS  
EN SUSPENSION Y SUS EFECTOS EN LA SALUD.

Anhídrido Sulfo- roso, $\mu\text{g}/\text{M}^3$	Partículas en Suspensión, $\mu\text{g}/\text{M}^3$ .	EFFECTOS.	AUTOR.
1000 *	1000 *	Exacerbación de síntomas en pacientes con enfermedad crónica respiratoria.	Waller y Lawther, Londres 1955 y 1957.
605 500	327 250	Ligero aumento de síntomas respiratorios a los niveles más altos señalados por el método de control.	Lawther, Londres 1970.
600 500	420 100	Descenso progresivo en la producción de flemas con los niveles más bajos.	Speizer, 1969.
300 30	200 120	Aumento en la producción de flemas y disminución de la capacidad vital a los niveles más altos.	Holland, Inglaterra y U.S.A. 1965.
130	138	Aumento de síntomas respiratorios en niños por arriba de esos niveles.	Douglas, Inglaterra, 1966.
120	100	Aumento de enfermedades respiratorias y descenso de la capacidad vital en niños.	Lunn, Inglaterra, 1967.
105 80	400 180	Aumento de síntomas respiratorios en mujeres no fumadoras de 65 y más años y en los niveles superiores.	A. Pettrilli, Italia 1966.
55 35	180 132	Aumento de síntomas respiratorios y ligera disminución de la capacidad vital a los niveles más altos en hombres y mujeres de 25 a 74 años.	Ferris, Alemania.

\* Promedio anual: Generalmente en 24 horas.  
FUENTE: Organización Mundial de la Salud, Ginebra 1971.

CUADRO No. 2

NIVELES DE CARBOXIHEMOGLOBINA Y SUS EFECTOS EN LA SALUD.

X

% de Carboxihemoglobina.	EFECTOS.	AUTOR.
0,4-0,8	Pruebas psicológicas normales en no fumadores.	Coburn. 1969. Sjostrand Escandinavia 1949.
2-3	No fumadores muestran alteraciones en la discriminación.  Posible efecto en los tiempos de nadadores.  Ningún efecto en corredores de largas distancias.	Beard. 1967. McMillan. U.S.A. 1969 Wayne. 1967.
4,5	Aumento de síntomas en agentes de tránsito.	Babayants. URSS. 1962.
5-10	Posible alteración en personas con enfermedades cardiorespiratorias.  Alteración de pruebas psicomotoras.  Ninguna alteración de pruebas psicomotoras usando otras técnicas.  Aumento de la hemoglobina.  Ningún aumento en la hemoglobina.	Ayres. 1965 Cohen 1969. Schulte 1963.  Stewart. 1970.  Hofreuter. 1962 Ramsy. 1967.  Lindgram. Escandinavia. 1961.
13-20	Dolor de cabeza, falta de coordinación manual.  Alteraciones del electroencefalograma.	Stewart 1970.  Hosko. 1970.

FUENTE: Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza. 1971.

CUADRO No. 3  
 NIVELES DE CARBOXIHEMOGLOBINA EN SANGRE SEGUN DIFERENTES  
 CONCENTRACIONES DE MONOXIDO DE CARBONO EN EL AMBIENTE.  
 (A NIVEL DEL MAR).

Concentraciones ambientales de CO		Carboxihemoglobina %
Mg/M <sup>3</sup>	ppm.	
117	100	15
70	60	10
35	30	5
23	20	3.3
12	10	1.7

#### 5.2.4 Plomo,-

Cuando el plomo ingresa al organismo se almacena en los tejidos y llega a producir en individuos muy expuestos, disminución de la sf tesis de hemoglobina así como daño renal y hepático, retraso mental en niños y alteraciones en la fecundidad y del embarazo. Sin embargo, las concentraciones de plomo que producen estos efectos no se alcanzan en el ambiente atmosférico habitual. El plomo del medio normal proviene tanto de vehículos de motor, de bebidas, en los alimentos y del tabaco. Los estudios realizados hasta la fecha concluyen que no hay evidencia de que el plomo emitido por los - - vehículos de motor esté produciendo efectos adversos aún en las ciu dades con mayor tránsito automovilístico.

#### 5.2.5 Smog fotoquímico, Ozono, Dióxido de Nitrógeno, Pan y Policíclicos,-

El smog con sus componentes específicos produce efectos físicos, qu micos y biológicos tales como disminución de la visibilidad; el ataque químico al hule, a la ropa, a la pintura y en general a las superficies expuestas a la atmósfera y daños biológicos a plantas y animales.

El ozono es el componente más abundante de los contaminantes atmosféricos del tipo oxidantes; a concentraciones relativamente bajas de - 0,02 ppm. le causa daños a las hojas de tabaco. Muchas plantas son dañadas severamente cuando son expuestas a concentraciones menores de 1ppm. durante pocas horas. Experimentos toxicológicos en animales han reportado neumonía, edema y mortalidad a concentraciones que varían de 0.1 a 3 ppm. sin embargo, se ha encontrado que éstos efec tos son menores en presencia de otros contaminantes tóxicos como el dióxido de azufre y el ácido sulfhúrico.

El dióxido de nitrógeno disminuye la visibilidad a concentraciones menores de 1ppm, provoca daños evidentes en las plantas a concentraciones mayores de 1ppm; y arriba de 100 ppm, es tóxico para el hombre.

El Pan (Nitrato de peroxiacetilo) que forma parte del smog fotoquímico, causa daños visibles en las plantas a concentraciones bajas de -- 0,014ppm, en un periodo de 4 horas. Es altamente lacrimógeno.

Los hidrocarburos policíclicos como el benzopireno se han identificado como agentes que pueden producir cáncer en la piel.

#### 5.2.6 Fluoruros.-

La mayoría de los fluoruros inorgánicos producen toxicidad crónica a plantas evidenciándose por Necrosis de los bordes de las hojas a concentraciones de 0,02 a 0,05ppm. Los animales también sufren -- daños crónicos cuando su dieta total contiene más de 40ppm, en peso y en base seca. Los síntomas pueden ser la inanición causada por el bloqueo del ciclo de Krebs o la fluorosis que se manifiesta con la caída de los dientes. Aún cuando estos síntomas aparecen por lo general en los animales, pueden presentarse también en el hombre.

#### 5.2.7 Etileno.-

El etileno afecta el metabolismo de varias plantas, causándole daños a las hojas, flores y frutas a concentraciones de 0,04 ppm, aparentemente es tóxico para los animales.

#### 5.2.8 Aldehídos.-

Los aldehídos son los que provocan olores en los escapes de los motores diesel e irritación de los ojos; a altas concentraciones normales, menores de 2ppm, no tiene efectos toxicológicos significantes.

### 5.2.9 Pesticidas.-

Los pesticidas arrojados a la atmósfera se diluyen rápidamente por debajo de los niveles tóxicos excepto como alérgenos. Los herbicidas han causado problemas en campos adyacentes, cuando han sido manejados sin un control adecuado. El principal problema que provocan los pesticidas es el incremento de contaminantes en los cuerpos receptores al erosionarse los suelos por la acción de lluvias y vientos, al filtrarse el agua de riego en el subsuelo y por descargas ocasionales de excedentes irrigados.

### 5.2.10 Polen y Alérgenos.-

Los alérgenos sensibilizan las reacciones de los que sufren la fiebre de los heno y el asma. La presencia de pocas partículas de polen por metro cúbico de aire es suficiente para causar molestias a muchas personas.

### 5.2.11 Olores.-

Los olores causan cambios fisiológicos que pueden afectar el bienestar físico como falta anormal de apetito, náusea e hipertensión. Los olores desagradables generalmente son aminas, compuestos sulfurados y ácidos orgánicos como el valérico y el butírico. Los olores agradables también causan molestia cuando persisten por períodos largos y a alta intensidad.

### 5.2.12 Ruido.-

El ruido, que es un sonido indeseable, se ha considerado por muchos como el número uno de los contaminantes. El ruido causa hipertensión, dilatación de las pupilas, contracción de los músculos, producción excesiva de adrenalina, excitación del corazón y pérdida de la capacidad auditiva.

### 5.2.13 Radiaciones.-

Las radiaciones ionizantes pueden causar cáncer, mutaciones y acortamiento de la vida, sin embargo, estos efectos no se han comprobado a niveles ordinarios que se encuentran en la atmósfera; comprobándose contradictoriamente que pequeñas dosis de radiaciones han alargado la vida de los animales a prueba y han estimulado el crecimiento de plantas y animales.

## 6.- ASPECTOS METEOROLÓGICOS DE LA CONTAMINACION DEL AIRE.

La capa atmosférica de 12 km. de altura, con sus  $5 \times 10^{18} \text{M}^3$  tiene una gran capacidad para diluir y eventualmente para remover los con taminantes que se descargan en ella. Todos los procesos meteorológicos que afectan la dispersión y dilución de contaminantes se llevan a cabo en esta capa de aire llamada Tropósfera, siendo la causa prin cipal de estos procesos la energía solar.

La energía solar se transmite del sol a la tierra en forma de ondas - electromagnéticas, que en mayor o menor porcentaje llegan a la super ficie terrestre dependiendo de la carga de contaminantes atmosféricos. La parte de radiación solar que penetra inicia las reacciones fotoquímicas y la restante energía es absorbida por la superficie terrestre - y devuelta a la atmósfera, en forma de radiaciones de calor que calien tan la capa de aire más cercana a la superficie, provocando corrientes verticales por convección así como movimientos horizontales de aire - debidos a la diferencia de presiones creadas a su vez por diferencias de temperaturas.

### 6.1 Condiciones de estabilidad atmosférica.-

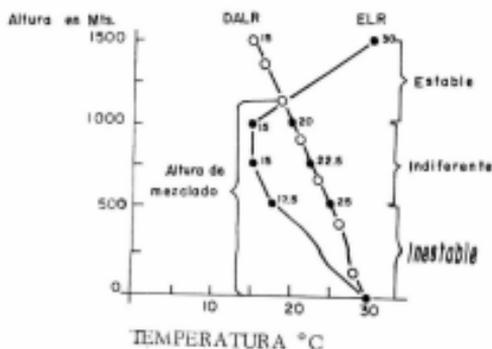
La radiación solar, al atravesar la atmósfera y calentar la superficie terrestre, produce cambios de temperatura a diferentes alturas. Para aire seco en condiciones adiabáticas, el gradiente adiabático de temperatura (dry adiabatic lapse rate), es de  $1^\circ\text{C}$  por cada 100 Mtrs. - - - de elevación, sin embargo, la variación de la temperatura con la altura puede ser diferente, por lo que un cierto volúmen de aire puede encon trarse en condiciones de estabilidad, inestabilidad o indiferencia.

Cuando la temperatura decrece con la altura y el gradiente real de temperatura es menor que el gradiente adiabático, el aire al subir se encontrará siempre en un medio más frío y, por lo tanto, seguirá su biendo con lo que se tendrá una dispersión de contaminantes.

A esta condición se le conoce como inestable. Se dice que el aire es estable, cuando el gradiente real de temperatura es mayor que el gradiente adiabático, es decir, cuando la temperatura aumenta con la altura, el aire al desplazarse hacia arriba se encontrará con un medio más caliente y por lo tanto bajará a su posición inicial evitando el trans porte vertical y atrapando a los contaminantes en una capa de inversión. Cuando los dos gradientes son prácticamente iguales no tenderá el aire a regresar a su posición original, ni a continuar moviéndose, por lo que no se dispersarán ni se aumentarán los contaminantes, a esta condición de estabilidad se le conoce como indiferente.

En el caso general en que el aire tiene humedad y las condiciones no fueran adiabáticas, en el comportamiento anterior intervienen más varia bles pero básicamente el fenómeno es el mismo.

La siguiente figura muestra un ejemplo de la relación entre el flujo de aire y la estabilidad.



El calentamiento de la capa de aire cercana a la tierra a  $30^{\circ}\text{C}$ , provoca un movimiento ascendente del aire, que a los 500m, se enfría a  $25^{\circ}\text{C}$ , como la temperatura ambiente a esta altura es de  $17,5^{\circ}\text{C}$ , el aire seguirá subiendo ya que está  $7,5^{\circ}\text{C}$ , más caliente que el aire a su alrededor. De los 500 a los 750m, la diferencia de temperatura sigue siendo de  $7,5^{\circ}\text{C}$ , por lo que el aire sigue en ascenso. En la capa isotérmica de los 750 a los 1,000M, la masa de aire ascendente tendrá  $5^{\circ}\text{C}$ , más que el ambiente por lo que seguirá ascendiendo.

A 1125m, la temperatura del aire que sube, y la del aire ambiente es la misma, por lo que el aire que teóricamente llegara a los - - 1,500m, inmediatamente descendería formando una capa de inversión. La dispersión y transporte vertical de contaminantes es posible solamente hasta una altura de 1,125m.

## 6.2 Vientos y Turbulencia.-

Las diferencias de presiones originadas por diferencias de temperatura producen movimientos del aire que transportan a los contaminantes de un lugar a otro, mientras que la turbulencia los diluye.

La diferencia más importante entre movimientos verticales y horizontales del aire y por tanto, la dispersión de los contaminantes es que en sentido vertical esta está limitada a una altura máxima de 12km, mientras que en sentido horizontal se puede considerar prácticamente toda la superficie terrestre.

El transporte y dispersión de los contaminantes es proporcional a la velocidad del viento y a la turbulencia mientras que la dirección del viento solamente afecta al área hacia donde se dispersan los contami-

nantes.

En las siguientes figuras se muestra el transporte difusión y dilución provocados por viento y turbulencia.

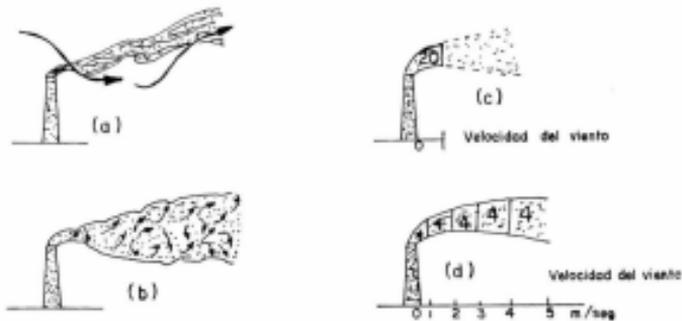


FIG. 6-2 TRANSPORTE DIFUSION Y DILUCION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS.

Si la turbulencia es más grande que el tamaño de la pluma, entonces ésta será transportada en la dirección del viento. (Fig. 6.2a.) si por el contrario, la turbulencia es menor que el tamaño de la pluma, ésta se difundirá (Fig. 6.2b). El proceso de dilución se puede ilustrar con el siguiente ejemplo. Si suponemos que una chimenea emite un contaminante a razón de 20g/seg., y la velocidad del viento es de 1m/seg., a un metro de distancia la pluma tendrá 20g. -- del contaminante (Fig. 6,2C). Si consideramos el mismo gasto pero con una velocidad del viento de 5m/seg. cada metro de longitud de la pluma contendrá 4 gramos del contaminante. (Fig. 6.2d).

### 6.3 Remoción Natural de Contaminantes.-

Las partículas pueden ser removidas de la atmósfera por sedimentación, por el lavado y barrido de la precipitación pluvial y por impacto en las superficies de árboles, estructuras y objetos en contacto --

con el aire. El tiempo de remoción varía con el tamaño de la partícula, altura sobre la superficie y los factores meteorológicos que influyen en el transporte de las partículas.

Los contaminantes gaseosos pueden ser removidos por reacciones químicas con otros gases, por absorción en el agua de la precipitación pluvial o de superficies líquidas y por adsorción en partículas que se encuentran en el aire o en superficies sólidas.

#### 6.4 Meteorología Aplicada a Chimeneas.-

La apariencia o forma geométrica de una pluma formada por humos y polvos que se emiten por chimeneas puede cambiar radicalmente con las variaciones del viento, turbulencia y condiciones de estabilidad atmosférica, de tal forma que se puede estimar la capacidad dispersiva y condiciones de estabilidad atmosférica al observar la pluma de una chimenea.

##### 6.4.1. Tipos de Plumas y Condiciones Meteorológicas.-

La pluma ondulante (Fig. 6.4.1) se presenta bajo condiciones superadiabáticas con velocidades de viento moderadas o altas y gran difusión vertical por convección. (Chimeneas bajas pueden producir altas concentraciones de contaminantes en algunos puntos de la superficie,

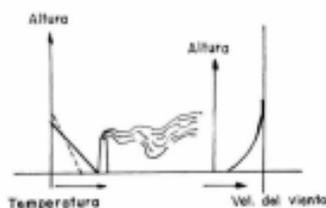


FIG. 6.4.1 PLUMA ONDULANTE (LOOPING)

La pluma cónica (Fig. 6.4.2) se puede presentar en cualquier estación del año, durante el día o durante la noche bajo condiciones de estabilidad indiferente y con velocidades de viento moderadas. Este tipo de pluma no contribuye significativamente con contaminantes a niveles cercanos a la superficie.

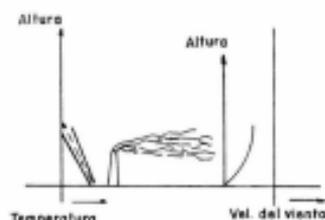


FIG. 6.4.2. PLUMA CONICA (CONING).

La pluma estable horizontal (Fig. 6.4.3) se presenta comúnmente durante la noche y al amanecer cuando hay cielo despejado, vientos suaves y capa de inversión cercana a la superficie. Para chimeneas altas, este tipo de pluma se considera favorable, por el contrario, si la chimenea es baja en relación a la topografía del lugar puede causar problemas serios de contaminación.

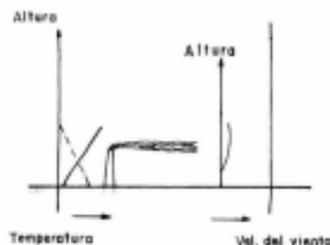


FIG. 6.4.3 PLUMA ESTABLE HORIZONTAL(FANNING)

La pluma ascendente (Fig. 6.4.4) puede ocurrir al atardecer durante la noche y al amanecer durante períodos de calma, cielo despejado y capa de inversión abajo del punto de descarga de la chimenea. Este tipo de pluma es el más favorable, ya que los contaminantes no llegan a la superficie.

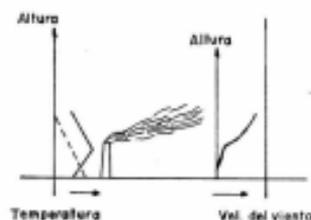


FIG. 6.4.4. PLUMA ASCENDENTE (LOFTING)

La pluma confinada (Fig. 6.4.5) ocurre cuando se forma una capa de inversión arriba del punto de descarga de la chimenea, impidiendo que los contaminantes se dispersen verticalmente. Este tipo de pluma es indicativo de las más críticas situaciones de contaminación atmosférica.

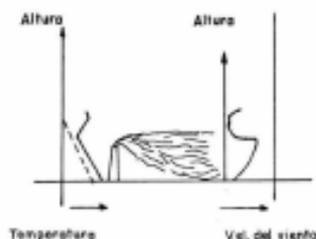


FIG. 6.4.5 PLUMA CONFINADA (TRAPPING)

La pluma fumigante (Fig. 6.4.6) se presenta generalmente al amanecer, cuando el calentamiento de los rayos del sol provocan una capa

inestable que mezcla los contaminantes acumulados en la capa de inversión nocturna. Este tipo de pluma es una transición entre la pluma de flujo estable horizontal a la ondulante y que afortunadamente tiene un periodo de duración de 15 a 30 minutos.

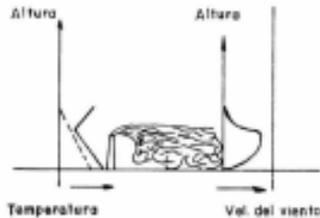


FIG. 6.4.6 PLUMA FUMIGANTE (FUMIGATION)

#### 6.5 Distribución y Concentración de Contaminantes.

La mayoría de los modelos matemáticos para el cálculo de concentraciones de contaminantes emitidos por una fuente están basados en un enfoque estadístico Gaussiano, considerando que la concentración de contaminantes, emitidos por una fuente continua, sigue una distribución de probabilidad binormal en el sentido vertical y en el perpendicular a la dirección del viento.

Si consideramos una chimenea como se muestra en la Fig. 6.5.1 con la dirección del viento en el eje X, la emisión de contaminantes Q forma una pluma que se eleva una distancia  $\Delta H$  arriba de la altura de la chimenea h. La suma de estas dos alturas es la altura efectiva  $H$  de la chimenea.

QGU

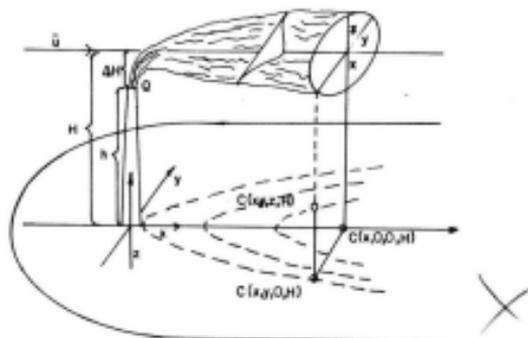


FIG. 6.5.1 DISTRIBUCION DE CONTAMINANTES EMITIDOS POR UNA CHIMENEA.

Las ecuaciones para calcular las concentraciones de contaminantes son las siguientes:

$$c_{(x,0,0,H)} = \frac{Q}{\pi \bar{u} \sigma_y \sigma_z} e^{-\left(\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)}$$

$$c_{(x,y,0,H)} = \frac{Q}{\pi \bar{u} \sigma_y \sigma_z} e^{-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)}$$

$$c_{(x,y,z,H)} = \frac{Q}{2 \pi \bar{u} \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left[ e^{-\left[\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right]} + e^{-\left[\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right]} \right]$$

En donde:

- |           |  |
|-----------|--|
| H:        | Altura efectiva de la chimenea en m.                         |
| $\bar{u}$ | Velocidad media del viento en M/Seg.                         |
| Q:        | Emisión de contaminantes en G/Seg.                           |
| C:        | Concentración de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . |

$\sigma_y, \sigma_z$  : Desviación standard de la pluma en M.

La desviación estandar de la pluma es función de la condición de estabilidad atmosférica y toma los valores que se muestran en la Fig.6.5.2 (ref. 4).

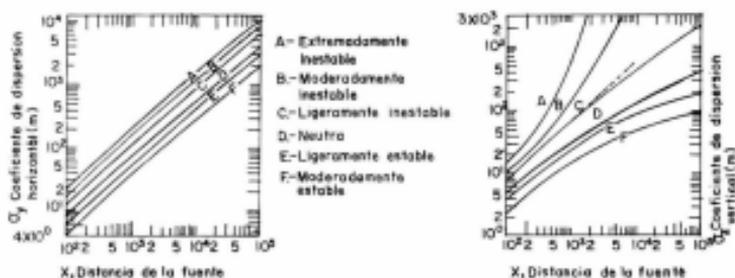


FIG. 6.5.2 DESVIACION ESTANDAR EN FUNCION DE LA ESTABILIDAD ATMOSFERICA.

La altura efectiva de la chimenea  $H$ , se puede calcular con la siguiente fórmula.

$$H = h + \frac{4.77}{1+0.43(4/v)} \frac{\sqrt{Q_0 v}}{u} + 1.07 \frac{Q_h^{1/4}}{\left(\frac{dT}{dz} + \Gamma\right)^{3/8}}$$

Donde:

- $Q_h$ : Calor emitido por la chimenea en Cal/Seg.
- $\frac{dt}{dz}$ : Gradiente real de temperatura en  $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{M}}$
- $\Gamma$ : Gradiente adiabático igual a  $0.01^{\circ}\text{C}/\text{M}$ .
- $Q_0$ : Flujo de gas reducido a condiciones de temperatura y presión ambientales: en  $\text{M}^3/\text{Seg}$ .

- V: Velocidad de salida del gas en M/Seg.
- $\bar{v}$  Velocidad del viento en M/Seg.

## 7.- REDES DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE.

Para elaborar e implantar un sistema de vigilancia de calidad del aire es necesario tomar en cuenta que es lo que se considera deseable desde el -- punto de vista técnico y que es posible realizar con los recursos existentes.

El desarrollo de un programa de vigilancia de la calidad del aire in - cluye la determinación de objetivos, localización y número de sitios de mues - treo, la selección de métodos e instrumentación adecuados y la obtención de - datos y su análisis.

### 7.1 Objetivos de la Red de Muestreo.-

La red de vigilancia de la calidad del aire en una región proporciona - datos que pueden ser utilizados como base para cumplir con los siguientes objetivos.

- a) Establecer normas de calidad del aire ambiente.
- b) Activar los procedimientos de control de emergencia para prevenir graves incidentes que puede cau - sar la contaminación atmosférica.
- c) Observar las tendencias de la contaminación en toda la región, incluyendo áreas no urbanas.
- d) Proporcionar datos para la evaluación de los efectos de los contaminantes, la planeación urbana, el desa - rrollo de estrategias de control y el desarrollo de - modelos de difusión.

### 7.2 Diseño de una red de vigilancia de calidad del aire.-

Un programa de vigilancia de la calidad del aire se compone de tres - elementos distintos pero interrelacionados: Redes de muestreo, trabajo - de laboratorio y obtención de datos y su análisis. Existen dos tipos ge - nerales de redes, uno para partículas y otro para gases.

La red de muestreo de partículas se compone de muestreadores de alto volúmen para colectar las partículas suspendidas y el muestreador de -

manchas que se usa para la determinación del índice de opacidad.

La red de muestreo de gases se compone de burbujeadores para sistemas manuales, determinándose generalmente  $SO_2$ ,  $NO_2$  y oxidantes totales y de aparatos muestreadores automatizados en sistemas continuos automáticos, determinándose  $SO_2$ ,  $NO_x$ , oxidantes totales, CO e hidrocarburos utilizando los principios de Coulometría, quimiluminiscencia y cromatografía. Con los sistemas computarizados de monitoreo automático, el trabajo de laboratorio se reduce a un mínimo, sin embargo, existe el problema de la transmisión y confiabilidad de datos recibidos.

#### 7.2.1 Información necesaria para el diseño de la red,-

Se deben definir las áreas de más alto nivel de contaminación, así como - las variaciones geográficas y temporales en los niveles de contaminación - ambiental, en base a estudios preliminares y de modelos de difusión, para determinar el número y localización de estaciones de muestreo.

Adicionalmente, se debe considerar la información meteorológica, la topografía de la región, la distribución de la población y las fuentes emisoras - de contaminantes.

Si no existe la información adecuada, la red resultante se modificará en - función de la información y la experiencia que se vaya adquiriendo.

#### 7.2.2. Tamaño de la red.

El número de estaciones requeridas depende principalmente de los niveles existentes de contaminación, de su variabilidad y del tamaño de la región. En general, la población es un buen índice para determinar el tamaño de la red. De la Fig. 7.1 se puede obtener el número de estaciones en función de la población. (ref. 5).

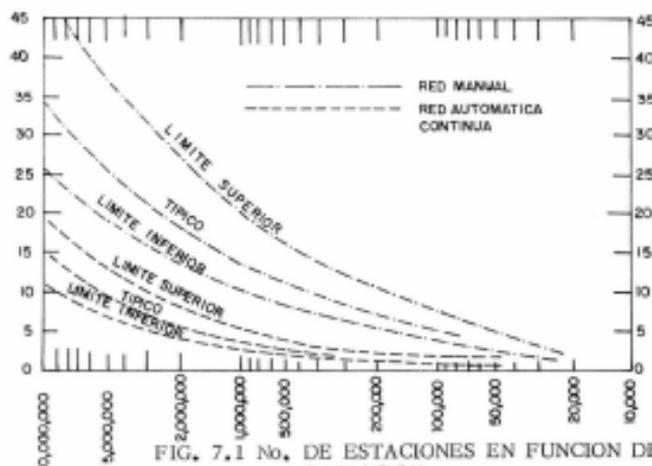


FIG. 7.1 No. DE ESTACIONES EN FUNCION DE LA POBLACION.

Otra forma de calcular el número de estaciones requeridas relaciona los puntos de muestreo con el grado de contaminación y con el área de la región mediante la siguiente ecuación:

$$N = 0.0965 \frac{C_m - C_s}{C_s} X + 0.0096 \frac{C_s - C_b}{C_s} Y + 0.0004 Z$$

Donde:

- N: Número total de estaciones.
- X: Área de concentraciones (promedio anual) que sobrepasan las normas de calidad del aire, Km<sup>2</sup>.
- Y: Área con concentraciones (promedio anual) mayores de un nivel deseado, pero menores que las normas de calidad del aire, Km<sup>2</sup>.
- Z: Área con concentraciones (promedio anual) menores o iguales que el nivel deseado Km<sup>2</sup>.

Cm:	Valor de la máxima curva de concentración, ug/M <sup>3</sup> .
Cs:	Norma de calidad del aire, ug/M <sup>3</sup> .
Cb:	Valor de la mínima curva de concentración, ug/M <sup>3</sup> .

La fórmula anterior es aplicable únicamente para muestreos de SO<sub>2</sub> y partículas suspendidas, (ref. 5).

### 7.2.3 Localización de estaciones.-

La localización de las estaciones involucra la distribución de muestreadores de acuerdo a los objetivos de la red y a la selección del sitio -- particular que sea representativo del área, que sea accesible y que exista espacio y corriente eléctrica disponible.

Aún cuando la localización de los equipos de muestreo depende de muchos factores, se puede tomar como base las siguientes tablas que muestran la distribución de estaciones de muestreo en función del tamaño de la red, ya sea manual (tabla 7-1) o automática (tabla 7-2).

TABLA 7-1

DISTRIBUCION DE ESTACIONES DE MUESTREO MANUAL.

√ <sup>2</sup> l	No. De Estaciones.		
	Centro y Zona Ind.	Zona Residencial.	Zona no Urbana.
1	1	-	-
2	1	1	-
3	2	1	-
4	2	2	-
5	2	2	1
10	5	3	2
15	8	5	2
20	12	6	2
25	14	8	3
30	17	10	3

TABLA 7-2 DISTRIBUCION DE ESTACIONES DE MUESTREO AUTOMATICO.

No. Total de Estaciones.	No. de Estaciones.		
	Centro y Zona Ind.	Zona Resid.	Zona no urbana.
1	1	-	-
2	1	1	-
3	2	1	-
4	2-3	1-2	-
5	3	2	-
6	4	2	-
10	6	4	-
15	10	5	-

En la localización de las estaciones se debe considerar el viento, fuentes de contaminantes y condiciones meteorológicas y fijar redes individuales para cada contaminante con el objeto de determinar los puntos de más alta contaminación.

#### 7.2.4. Frecuencia de Muestreo.-

La frecuencia de muestreo para estaciones de muestreo manual y los intervalos de tiempo a promediar en las estaciones de muestreo automático están relacionados en las normas de calidad del aire existentes. Si las normas se fijan en términos de promedio en 24 hrs. entonces el muestreo se realiza durante 24 horas. Si las normas se prescriben en términos de promedio anual y máxima concentración diaria se puede muestrear intermitentemente con frecuencias calculadas estadísticamente para los niveles de precisión deseados.

En la Tabla 7-3 se sugieren frecuencias de muestreo, en función del grado de contaminación, que varían desde cada tercer día para zonas altamente contaminadas hasta una vez cada seis días en zonas no urbanas. El muestreo durante 24 horas debe realizarse de las 0 a las 24 horas para que represente el día calendario y se puedan utilizar los datos para relacionarlos con los reportes meteorológicos diarios.

TABLA 7-3 FRECUENCIA DE MUESTREO EN FUNCION DEL TIPO -  
DE INSTRUMENTO Y DEL GRADO DE CONTAMINACION.

Tipo de Contaminante.	Tipo de Instrumento.	FRECUENCIA DE MUESTREO.						
		Areas Muy Contaminadas.			Areas Poco Contaminadas.			Areas No. Urb.
		Continuo.	Cada 3r. día.	Cada 6'Día.	Continuo.	Cada 3r. Día.	Cada 6'Día.	
Partículas 1 suspendidas.	M <sup>2</sup> .		M	M		M	M	M
Materia Orgánica.	M		M	M		M	M	
SO <sub>2</sub>	M/A <sup>3</sup>	A	M	M		M	M	M
CO	A	A			A			
Hc	A	A			A			
NO <sub>2</sub>	M/A	A	M	M	A		M	
NO <sub>x</sub>	M/A	A	M	M	A			
Oxidantes	M/A	A	M		A			

- 1.- Los muestreadores de mancha proporcionan un índice de partículas suspendidas en muestreos con duración menor de 24 horas.
- 2.- La letra M representa muestreo manual.
- 3.- La letra A representa muestreo automático.

### 7.2.5 Características del sitio de muestreo.-

El sitio particular para la instalación de una estación de muestreo debe ser representativo de las condiciones del área. No existe información definitiva sobre cuanto afecta al muestreo la cercanía de edificios, barreras naturales y altura sobre el nivel de piso, sin embargo, se recomienda considerar los siguientes aspectos para la selección del sitio adecuado:

- a) Uniformidad en la altura sobre el nivel de piso en toda la red,
- b) Evitar restringir las corrientes de aire de cualquier dirección, colocando sondas de entrada por lo menos 3 Metros separadas de cualquier obstáculo.
- c) El área circunvecina debe estar libre de chimeneas o de cualquier otro punto local de emisiones contaminantes.
- d) Muestrear a una altura de 3 a 6 metros para evitar el arrastre de partículas y la influencia directa del escape de automóviles.

### 7.2.6 Metodología e instrumentación.-

El desarrollo de instrumentos y técnicas de muestreo y análisis atmosférico ha progresado rápidamente en tal forma que en la actualidad existen numerosos equipos y métodos de muestreo y análisis, de los cuales hay que seleccionar aquellos que han sido comparados con los métodos de referencia o estándares y que se les haya probado comparativamente su especificidad y eficiencia de colección.

La producción continua de datos verdaderos requiere el mantenimiento adecuado de los instrumentos, incluyendo la calibración previa a la instalación.

En la tabla 7.4 se recopila la información existente sobre instrumen-

tación, su aplicación, especificidad y sus costos relativos.

### 7.3 Obtención y análisis de datos.-

El éxito de un programa de vigilancia de la calidad del aire depende de la utilidad de los datos que se obtienen y de la disponibilidad de éstos -- en forma apropiada; por lo que el diseño de la red debe integrarse con un sistema de obtención y análisis de datos que sean útiles para lograr los objetivos deseados.

El diseño del procedimiento para manejo de datos, sea manual, automático o una mezcla de ambos, dependerá de la disponibilidad de un sistema de adquisición de datos, del tamaño de la red y de los requerimientos de tiempo para conseguir los datos.

La prevención de eventos graves de la contaminación atmosférica requiere de la disponibilidad de datos adecuados en términos de promedios en una hora mientras que para otras actividades, la adquisición de datos - - puede esperar varias semanas o varios meses.

TABLA 7.4 CLASIFICACION DE LAS TECNICAS DE MUESTREO ATMOSFERICO.

TIPO	Aplicación.	Especificidad.	Tiempo Promedio de muestreo.	Costo Relativo.	Entrenamiento requerido de personas.	Observaciones.
<u>Manuales:</u> Muestreador de alto volúmen.	Cuantificación integrada.	Partículas -- suspendidas y especificidad múltiple.	24 Hrs.	Moderado.	Moderado.	Los muestreadores de alto volúmen y de gases requieren análisis químicos detallados, son costosos.
Muestreadores de gases.	Cuantificación integrada.	SO <sub>2</sub> - NO <sub>2</sub>	24 horas.	Moderado.	Alto. (requiere técnicos experimentados o profesionales)	
Muestreador de manchas.	Índice relativo de ensuciamiento.	-----	2 Hrs., (Menor de 10,000 pesos).	Bajo. (Requiere mantenimiento común).	Bajo.	Proporciona únicamente un índice relativo de ensuciamiento por partículas.
<u>Automáticos:</u> Muestreadores de gases.	Análisis continuo de -- contaminantes.	Gas individual o grupo de gases relacionados.	Continuo.	Moderado a alto.  (Alto, más de 40,000 pesos)	Moderado a alto.	Por computación se puede promediar en cualquier tiempo deseado. Mejor exactitud - calibración simplificada, obtención instantánea de datos.
Muestreador de partículas.	Análisis - continuo del grado de ensuciamiento.	-----	Continuo.	Moderado.	Moderado.	

## 8.- ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN CIUDAD UNIVERSITARIA.

La contaminación atmosférica en la Ciudad de México constituye un problema que requiere solución a la brevedad posible: Para poder atacarlo es necesario determinar los niveles de contaminación causados por diversos sustratos - en las diferentes zonas de la Ciudad.

Las actividades de investigación de la calidad del aire en la Ciudad de México, se iniciaron en 1967 al poner en marcha la Secretaría de Salubridad y Asistencia un programa de muestreo y análisis de algunos de los indicadores más importantes de la contaminación atmosférica, adoptando métodos normalizados de la Organización Mundial de la Salud.

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron en 14 estaciones hasta 1972, las concentraciones de algunos de los contaminantes estudiados son similares o inferiores a los que se han reportado en otras ciudades de otros países. La concentración de partículas sedimentables y de oxidantes, comparativamente - resultaron más altas. También se encontró que al utilizar los métodos generalizados en Inglaterra que son los adoptados por la Organización Mundial de la Salud, los resultados obtenidos eran mucho más bajos que al emplear los métodos de referencia en Norteamérica. (ref. 2)

Recientemente, la Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente instaló una red computarizada de monitoreo automáticos con 20 estaciones distribuidas - reticularmente en el Valle de México, sin embargo, hasta la fecha no ha funcionado adecuadamente, debido a problemas técnicos de la transmisión de datos.

Paralelamente a la red automática, se puso en marcha una red de muestreo manual para la determinación de partículas suspendidas con muestreadores de alto volumen. A principios de 1976, la red que contaba con 14 estaciones se incrementó a 20, instalándose una de ellas en el edificio de la División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma

de México, lugar donde se realizó el presente estudio para determinar además de las concentraciones de partículas suspendidas las de  $SO_2$ ,  $NO_2$  y Oxidantes Totales.

8.1 Determinación de partículas suspendidas por el método de alto volúmen. -

Las normas para partículas suspendidas se establecen de acuerdo a las concentraciones promedio máximas tolerables durante 24 horas, así como a las concentraciones promedio máximas anuales tolerables. El método y programa de muestreo seleccionados son los adoptados por la Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente, y que consisten en el muestreo, por el método de alto volúmen, durante 24 horas cada seis días iniciándose el período de muestreo a partir de la media noche del día señalado y terminándose a la media noche siguiente.

8.1.1 Método de muestreo de alto volúmen (ref. 6) .-

8.1.1.1 Principio y Aplicabilidad.-

El aire ambiente se succiona a través de un filtro por medio de un soplador con una capacidad de 1.13 a 1.70  $M^3/Min.$ , para poder arrastrar y retener en el filtro a las partículas con diámetro menores de 100 micras.

La concentración de partículas suspendidas en el aire ambiente se determina con las lecturas de masa colectada y volúmen de aire muestreado.

El método se aplica a la determinación de la concentración en masa de partículas suspendidas en el aire ambiente. Este método no controla el flujo de aire durante el muestreo por lo que su mejor aplicación es la cuantificación integrada.

### 8.1.1.2 Rango y Sensibilidad.-

Cuando el muestreador se opera a  $1.7M^3/Min.$ , durante 24 horas, se obtienen muestras adecuadas aún en atmósfera con concentraciones de partículas suspendidas tan bajas como de  $1\mu g/M^3$ . Si las concentraciones ambientales son muy altas, el muestreo se puede reducir a menor número de horas.

Los pesos de las muestras se pueden determinar en décimas de miligramos, los flujos de aire se pueden detectar hasta  $0.03M^3/Min.$ , con aproximaciones cada dos minutos. Las concentraciones se reportan en  $\mu g/M^3$ .

### 8.1.1.3 Interferencias.-

Las partículas aceitosas, así como nieblas densas y alta humedad, pueden obstruir y humedecer el filtro, causando una gran reducción del flujo de aire a través del filtro. Los filtros de fibra de vidrio son -- comparativamente insensibles a los cambios de humedad relativa, sin embargo, las partículas colectadas pueden ser higroscópicas.

### 8.1.1.4 Precisión y exactitud.-

Con concentraciones ambientales promedio de  $128\mu g/M^3$ , la desviación estandar es de  $4\mu g/M^3$ , correspondiente a una desviación estandar relativa del 3%. Con concentraciones promedio de  $77\mu g/M^3$ , la desviación estandar es de  $3\mu g/M^3$ , correspondiente a una desviación estandar relativa del 4%.

La exactitud con que se mide la concentración verdadera, depende de lo constante del flujo de aire a través del muestreador.

## 8.1.2 Descripción del equipo.-

El muestreador de alto volúmen consta básicamente de un soplador o

bomba de vacío, marco de sujeción del filtro, empaques, un adaptador, un registrador de flujo y un controlador de tiempo soportados en una coraza de protección como se muestra en las siguientes figuras.

MUESTREADOR DE ALTO VOLUMEN CON  
REGISTRADOR DE FLUJO DE CARTA,  
FIGURA N.º 81

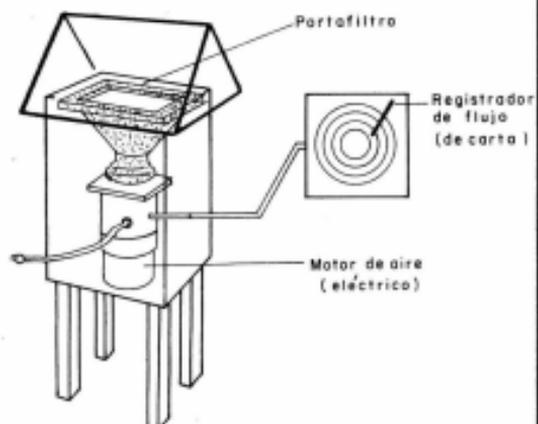
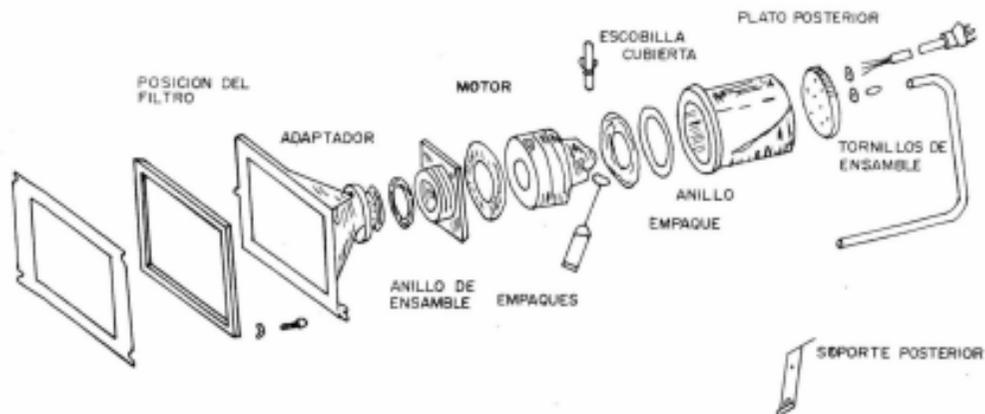


FIGURA N.º 82



VISTA GENERAL DE LAS PARTES DE UN MUESTREADOR DE ALTO VOLUMEN.

### 8.1.3 Calibración del equipo.-

La masa colectada en el filtro se relaciona con el volúmen de aire muestreado; para determinar dicho volúmen se utiliza el volúmen graficado en la carta del registrador de flujo y se determina el flujo real o efectivo - en la curva de calibración del muestreador previamente calibrado con - una unidad de orificio que a su vez debe estar calibrada con un medidor de desplazamiento positivo o por un elemento de calibración primaria.

#### 8.1.3.1 Curva de calibración de la unidad de orificio.

La ecuación de flujo volumétrico para un orificio se puede expresar en la siguiente forma:-

$$Q = CY \sqrt{\frac{T_1 \Delta P}{P_1}}$$

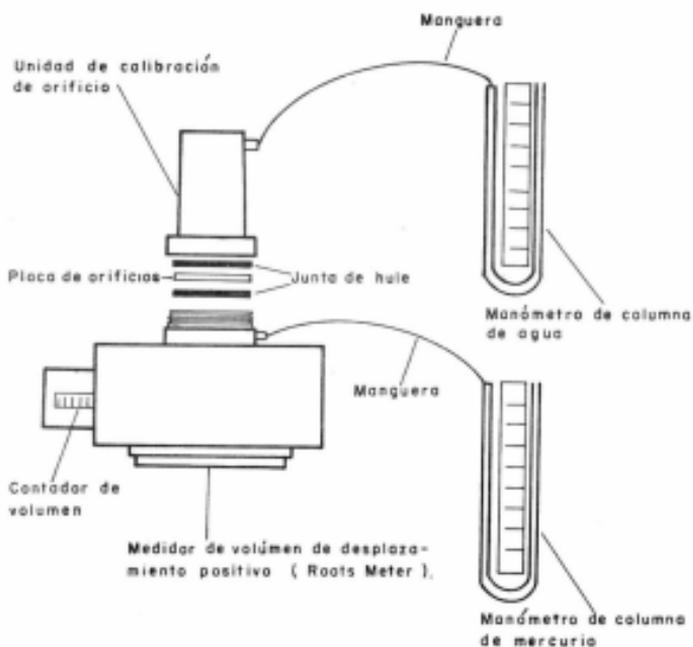
Donde:

Q=	Flujo volumétrico.
C=	Coficiente de proporcionalidad, en función del número de Reynolds.
Y=	Factor de expansión.
P1=	Presión absoluta antes del orificio.
$\Delta P$ =	Caída de presión en el orificio.
T1=	Temperatura absoluta antes del orificio.

Con el fin de obtener una curva de flujo contra caída de presión, se varió el flujo colocando cinco resistencias diferentes entre la unidad de orificio y el medidor de desplazamiento positivo (Fig. 8.3)

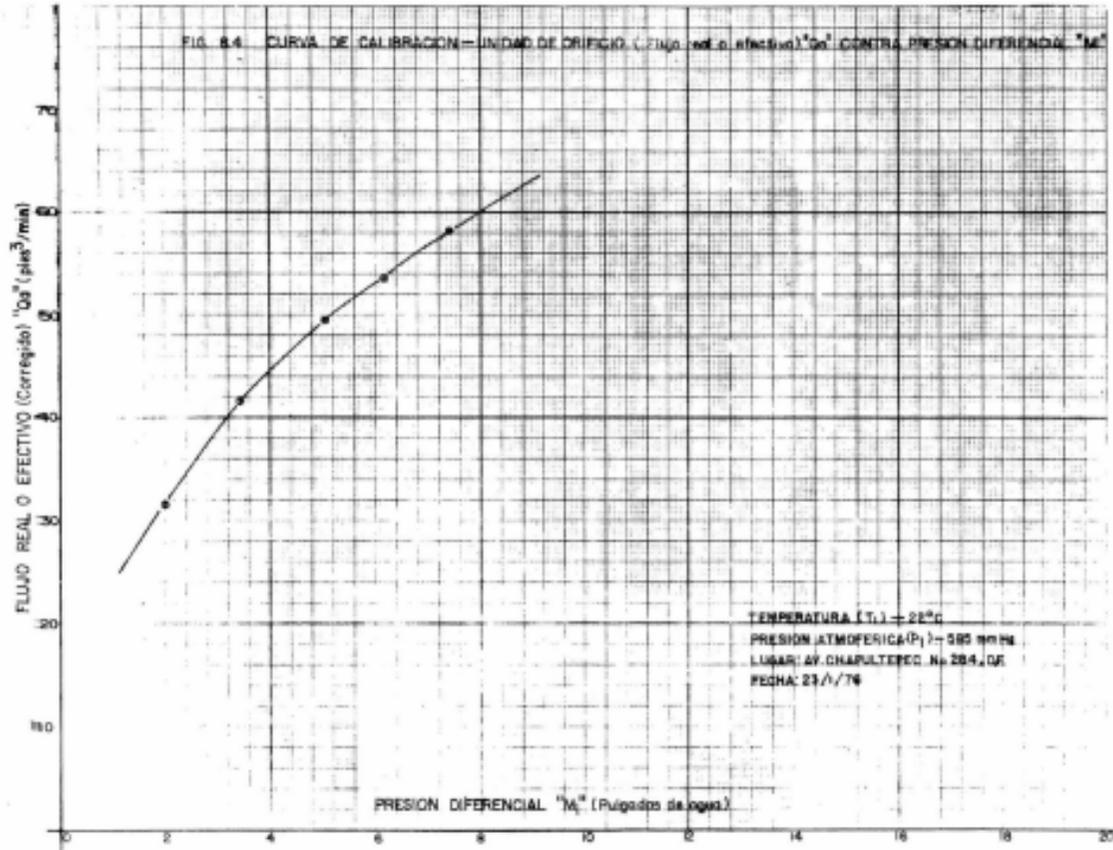
Los resultados obtenidos se muestran graficados en la Fig. 8.4

FIGURA N.º 8.3



CONEXION DEL MEDIDOR DE VOLUMEN DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO (ROOTS METER), CON LA UNIDAD DE CALIBRACION DE ORIFICIO, LA PLACA DE ORIFICIOS Y LOS MANOMETROS DE COLUMNA DE AGUA Y DE MERCURIO.

FIG. 8.4 CURVA DE CALIBRACION—UNIDAD DE ORIFICIO (Tipo real efectiva)<sup>1/2</sup> Gal<sup>3</sup> CONTRA PRESION DIFERENCIAL "M"



### 8.1.3.2 Calibración del muestreador de alto volúmen con la unidad de orificio.

El flujo indicado por el registrador de flujo del muestreador de alto volúmen, se calibró usando cinco placas de orificio normalizadas con 18, 13, 10, 7 y 5 orificios respectivamente y la unidad de orificio previamente calibrada. (Fig. 8.5)

Con las lecturas de diferencia de presión registradas se obtienen en la curva de calibración de la unidad de orificio (Fig. 8.4), los flujos  $Q_1$ , no corregidos.

Debido a que existió variación en las condiciones de presión y temperatura al calibrar separadamente, la unidad de orificio y el muestreador de alto volúmen, el flujo  $Q_1$ , obtenido de la curva de calibración de la unidad de orificio debe corregirse utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{(T_2 + 273)P_1}{(T_1 + 273)P_2}}$$

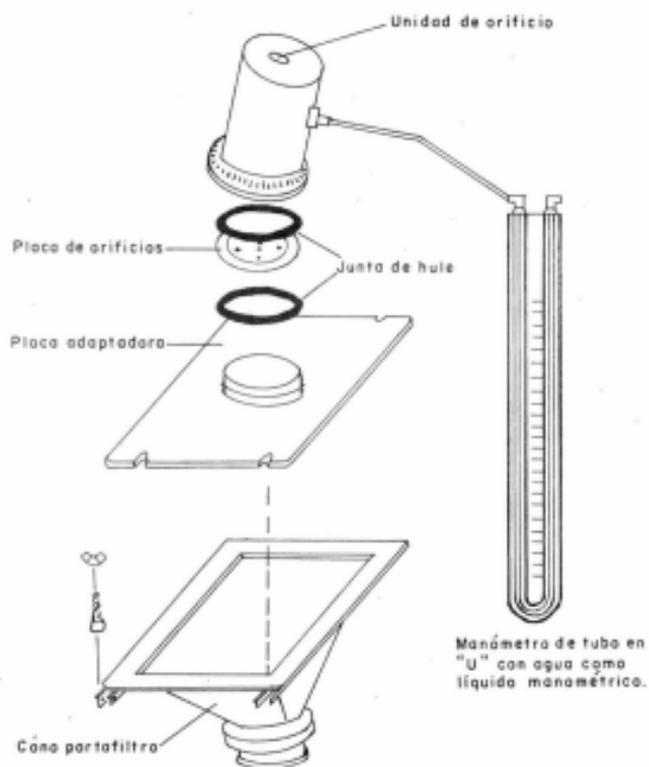
Donde:

$T_2$ y $P_2$	Corresponden a la calibración del muestreador de alto volúmen.
$T_1$ y $P_1$	Corresponden a la calibración de la unidad de orificio.

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

$$P_1 = 585 \text{ mmHg.} \quad P_2 = 586 \text{ mmHg.}$$

FIGURA N.º 8.5



CONEXION DE LA UNIDAD DE ORIFICIO  
CON EL CONO PORTAFILTRO, POR MEDIO  
DE LA PLACA ADAPTADORA.

$$T_1 = 22^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 22,6^\circ\text{C}$$

Substituyendo estos valores en la fórmula anterior se tiene:

$$Q_2 = 1,00016 Q_1.$$

Placa de Orificio.  No.	Lectura de Diferencia de presión(Fulg. de agua).  $\Delta P$	Flujo no corregido (Pie <sup>3</sup> /Min.  De la curva de la unidad de -- orificio Q <sub>1</sub>	Flujo corregido,  Q <sub>2</sub>	Flujo indicado por el registrador de flujo del muestreador (Pie <sup>3</sup> /Min.)
18	7,3	57,5	57,31	40
13	6,0	53,0	53,01	37
10	4,9	49,0	49,01	34
7	3,3	41,5	41,505	28
5	2,1	32,5	32,505	22

La curva de calibración se grafica con el flujo corregido Q<sub>2</sub> contra el flujo indicado en el registrador de flujo del muestreador (Fig.8,6).

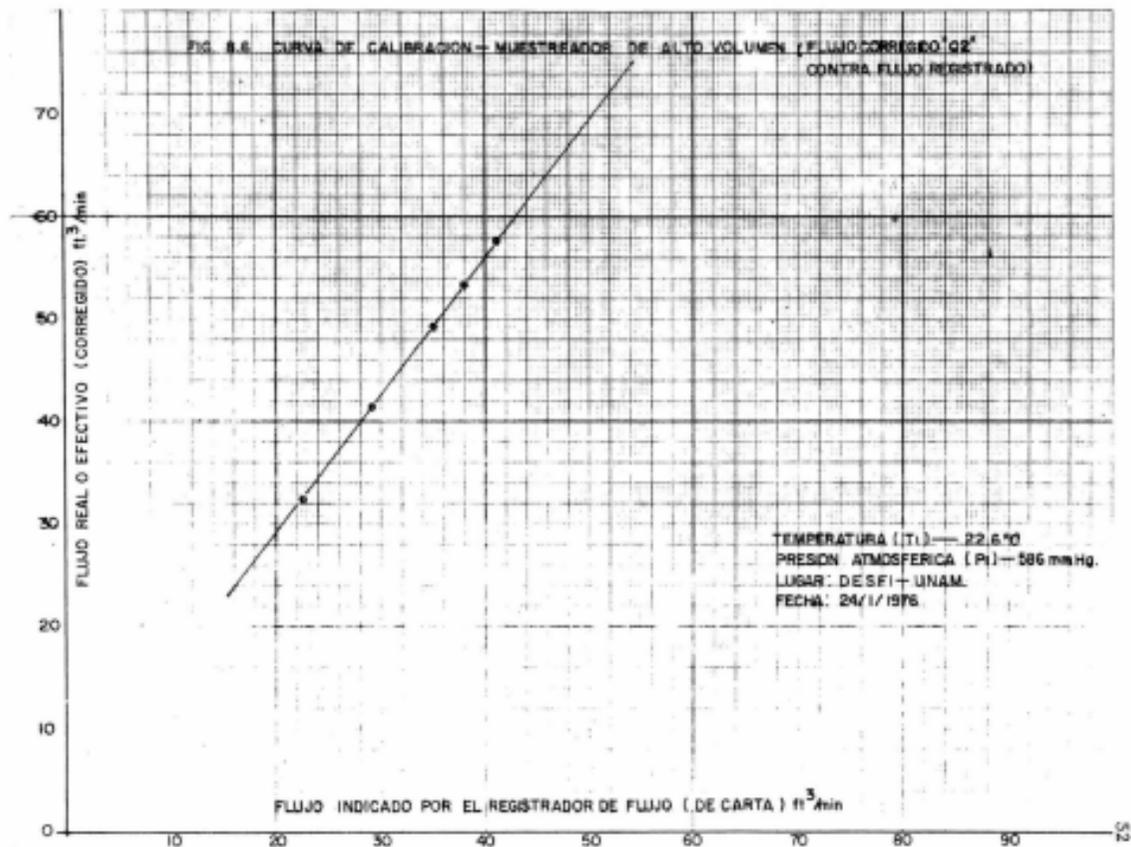
#### 8.1.4 Secuencia de operaciones realizadas en el muestreo y análisis de partículas suspendidas.-

8.1.4.1 Se seleccionaron filtros de lana de vidrio con una eficiencia de colección de por lo menos 99% para partículas de 0,3 micras a una velocidad de prueba de 200 pies por minuto y con un ph. entre 6,5 y 7,5.

8.1.4.2 Se inspeccionaron los filtros para evitar posibles imperfecciones y se marcaron con un número para su identificación.

8.1.4.3 Se acondicionaron todos los filtros durante 24 horas en un área a 20°C, y 35% de humedad relativa y se pesaron en una balanza con aproximación a décimas de miligramos.

FIG. 8.6 CURVA DE CALIBRACION - MUESTREADOR DE ALTO VOLUMEN (FLUJO CORREGIDO Q2<sup>2</sup>  
CONTRA FLUJO REGISTRADO)



8.1.4.4 Con un filtro limpio instalado, se muestreo durante 24 horas con arranque y paro programado mediante un controlador de tiempo. El flujo se registró en una carta.

8.1.4.5 La muestra obtenida en el filtro se acondicionó durante 24 horas a 20°C y a 35% de humedad relativa. Se pesó el filtro con la muestra obteniéndose el peso de la muestra por diferencia.

8.1.5. Cálculo de concentraciones.-

Como ejemplo de los cálculos realizados, se presentan los datos obtenidos en el muestreo realizado el 6 de Febrero de 1976, para obtener la concentración de partículas suspendidas en  $\mu\text{g}/\text{M}^3$ .

Peso del filtro limpio.	=	4.6524 g.
Peso del filtro con la muestra.	=	5.0425 g.
Peso de muestra.	=	0.3901 g.
Flujo máximo registrado.	=	40 Pies <sup>3</sup> /Min.
Flujo mínimo registrado.	=	36 Pies <sup>3</sup> /Min.
Flujo promedio.	=	38 Pies <sup>3</sup> /Min.
Tiempo de muestreo.	=	24 Hr. = 1440 Min.

8.1.5.1 Flujo de aire promedio corregido.-

Con el flujo de aire promedio igual a 38 Pies<sup>3</sup>/Min., registrado en la carta se obtiene en la curva (Fig. 8.6) de calibración del muestreador de alto volúmen el flujo corregido  $Q_2$ .

$$Q_2 = 54.2 \text{ Pies}^3/\text{Min.}$$

8.1.5.2 Volúmen de aire muestreado.-

$$V = Q_2 T = 54.2 \text{ Pies}^3/\text{Min.} \times 1440 \text{ Min.}$$

$$\frac{35.3 \text{ Pies}^3/\text{M}^3}{}$$

$$V = 2210.00 \text{ M}^3$$

## 3.1.5.3 Concentración de partículas suspendidas en el aire.-

$$C = \frac{M}{V} = \frac{390100 \text{ ug.}}{2210,99 \text{ M}^3}$$

$$C = 176.4 \text{ ug./M}^3.$$

## 3.1.6 Concentraciones obtenidas los días de muestreo.-

AÑO 1976.

ENERO.		FEBRERO.		MARZO.		ABRIL.	
Día. ug/M <sup>3</sup> .							
7	229	6	176	1	325	6	154
19	260	12	225	7	192	12	157
25	155	18	216	13	168	18	127
31	176	24	269	19	186	24	80
				25	136	30	155
				31	118		

MES.	CONCENTRACIÓN UG/M <sup>3</sup> .		
	PROMEDIO.	MAXIMA.	MINIMA.
ENERO.	205	260	155
FEBRERO.	222	269	176
MARZO.	188	325	118
ABRIL.	135	157	80

## 3.1.6.1 Distribución de tamaño de partículas.-

El muestreo realizado el 19 de enero se llevó a cabo adaptando al muestreador de alto volúmen un impactor de cascada, marca "Andersen", Modelo 65-000 que consta de 5 filtros, con el fin de obtener la distribución en peso de acuerdo al tamaño de las partículas. El resultado fué el siguiente:

Filtro.	Tamaño de Partícula (u).	Concentración, ug/M <sup>3</sup> .	% en Peso.
1	7 y más.	103	39.42
2	3.3-7	36	13.90
3	3-3.3	21	8.05
4	1.1-2	15	5.73
5	Menos de 1.1	85	32.70

## 8.2 Determinación de SO<sub>2</sub> por el método de "WEST-GAEKE" Modificado (PARA-ROSANILINA). -

Para la determinación de SO<sub>2</sub> en el aire, se muestreó durante 24 horas cada tercer día, los meses de marzo y abril empleando el método de la pararosanilina, que es una modificación al método "West-Gaeke".

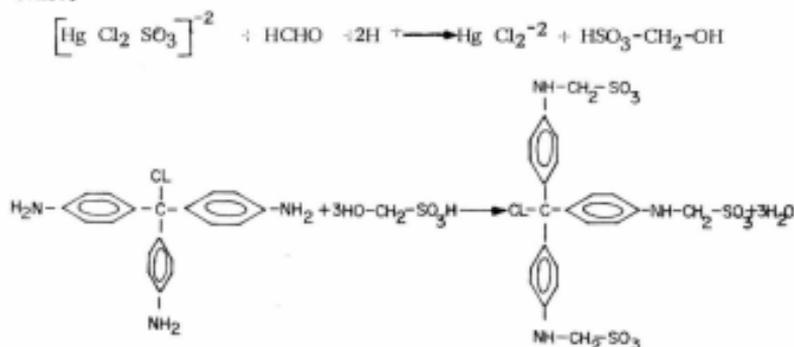
### 8.2.1 Método de la Pararosanilina. (Ref. 7).

#### 8.2.1.1 Principio y Aplicación.

El dióxido de azufre es absorbido en una solución de tetracloromercurato de potasio, formándose un complejo de diclorosulfitomercurato, el cual es resistente a la oxidación causada por el oxígeno del aire, ozono y los óxidos de nitrógeno.



El complejo se hace reaccionar con pararosanilina y formaldehído para formar el ácido metil sulfónico de pararosanilina de color púrpura intenso.



La intensidad del color desarrollado es función de la concentración del dióxido de azufre absorbido. Las mediciones de la intensidad de color se efectúan utilizando un espectrofotómetro o un colorímetro. El método se aplica para muestreos de aire ambiente usando períodos de 24 Hrs.

#### 8.2.1.2 Rango y Sensibilidad.-

Por este método se pueden efectuar muestreos de aire con concentraciones en un rango de 25 a 1050 ug/M<sup>3</sup>. Para concentraciones menores se debe muestrear volúmenes de aire mayores si la eficiencia del sistema - en particular se ha determinado previamente.

Para un rango de absorbancia de 0.03 a 1.0 unidades, se aplica la ley - de Beer.

La menor detección de SO<sub>2</sub> en 10 ml. de tetracoloromercurato es de - - 0.75 microgramos, representando una concentración de 25ug/M<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> en una muestra de 30 litros de aire.

#### 8.2.1.3 Interferencias.-

Los efectos de las principales interferencias conocidas se eliminan o se

minimizan.

Los óxidos de nitrógeno se eliminan con el ácido sulfámico desprendiendo nitrógeno. El ozono se elimina por el tiempo corto de vida que tiene y los metales pesados formando complejos con el ácido etilendiaminotetra-cético (EDTA) y ácido fosfórico. El procedimiento tolera como máximo 60 ug. de hierro, 10 de manganeso, y 10 de cromo en 10ml. de solución absorbente. Las interferencias de cobre (10ug) y vanadio (22ug), se consideran importantes.

#### 8.2.1.4 Precisión y Exactitud.-

La desviación estandar relativa a un nivel de 95% es de 4.6% para procedimientos analíticos usando muestreos normalizados.

Después de la colección, las soluciones son relativamente estables. A 22°C la pérdida de SO<sub>2</sub> se presenta a razón de 1% por día. Si las muestras se almacenan a 5°C durante 30 días, no se detectan pérdidas. La presencia del EDTA favorece la estabilidad del SO<sub>2</sub> en la solución.

La razón de pérdida es independiente de la concentración de SO<sub>2</sub>.

#### 8.2.1.5 Reactivos.

- a) Agua destilada libre de oxidantes.
- b) Solución absorbente. Se disuelven 10,86 g. de HgCl<sub>2</sub>, 0,666g. de EDTA y 6 g. de KCl en agua y se afora a un litro.
- c) Ácido sulfámico 0,6%. Se debe preparar diariamente.
- d) Formaldehído 0,2% se debe preparar diariamente.
- e) Metabisulfito de sodio 7,65 g. disueltos y aforados a 1l. de agua. Esta solución tiene aproximadamente 5000ug/ml. de SO<sub>2</sub>. Debe estandarizarse antes de cada uso.
- f) Pararosanilina. Se disuelven 0,2 g. de pararosanilina en 100ml. de ácido clorhídrico 1N, se toman 20ml. de esta solución se le agregan a 200ml. de ácidos fosfóricos 3M, y se afora con agua a 250ml.

Este reactivo es estable durante 9 meses si se mantiene en refrigeración.

#### 8.2.2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO MUESTREADOR.

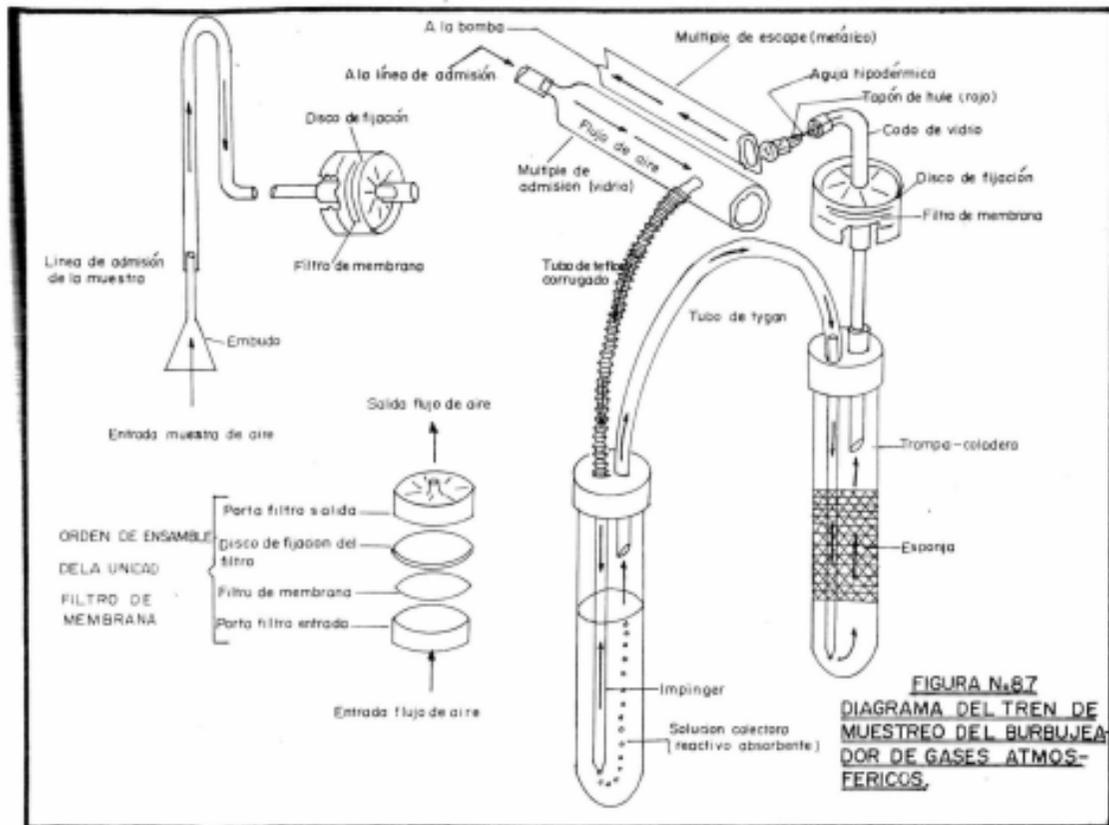
El burbujeador de gases atmosférico marca "RAC" muestrea simultáneamente  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , oxidantes tales como  $\text{O}_3$  y otros gases utilizando - para cada uno el reactivo absorbente adecuado.

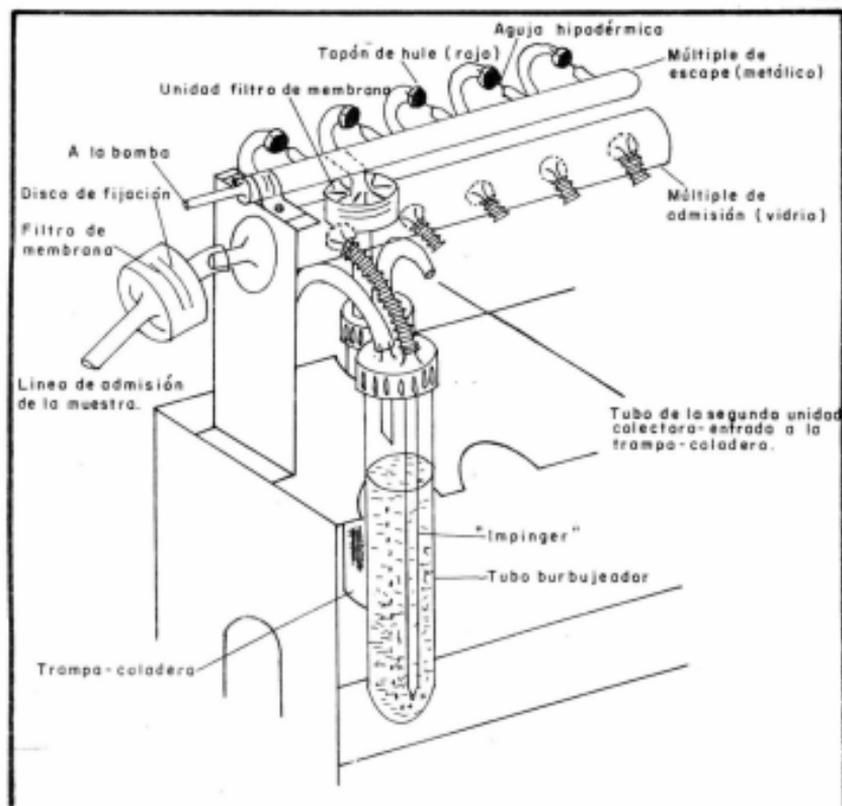
El aire ambiente se hace pasar, utilizando una bomba de vacío, a través de un filtro de membrana, con el fin de separar las partículas e impurezas del aire. La corriente de aire filtrado se descarga luego en un múltiple de admisión (de vidrio) y de aquí se distribuye a cinco unidades colectoras (tubos de polipropileno) dispuestas en paralelo, en esta forma el aire se burbujea en el seno del reactivo absorbente mediante un tubo de orificio reducido denominado "Impinger".

A continuación, el aire de las unidades colectoras pasa a una trampa -- coladera, que separa del aire las impurezas, en seguida por un orificio -- limitante (aguja hipodérmica) que controla el flujo. Finalmente el aire -- pasa a un múltiple de escape (de latón) el cual se conecta a la bomba -- de vacío. El tren de muestreo completo se ilustra en las figuras 8.7 y 8.8.

#### 8.2.3 Calibración del equipo.-

Quando la caída de presión a través de un orificio alcanza un punto crítico, la velocidad del flujo en el orificio alcanza la velocidad del sonido. Como esta velocidad es la máxima que se puede lograr en una sección -- que no se expande, cualquier incremento en la presión no producirá ningún aumento en la velocidad del flujo de aire. Estos dispositivos con un *flujo constante de aire se utilizan como muestreadores automáticos de* -- un volúmen de aire constante, una vez que se ha determinado su capaci-





**DIAGRAMA DEL ENSAMBLE DEL BURBUJEADOR  
DE GASES ATMOSFERICOS, EN SU BASTIDOR.**

**FIGURA N.º 8.8**

dad por medio de una calibración previa.

Las agujas hipodérmicas se calibraron antes y después de cada período de muestreo utilizando un rotámetro previamente calibrado y una bomba de vacío. En la figura 8.9 se ilustra el sistema empleado.

#### 8.2.4. Procedimiento para el muestreo y análisis.

8.2.4.1 La muestra se colectó en un volúmen de 50ml. de tetracloromercurato de potasio, burbujeando 195ml/min., de aire durante 24 horas.

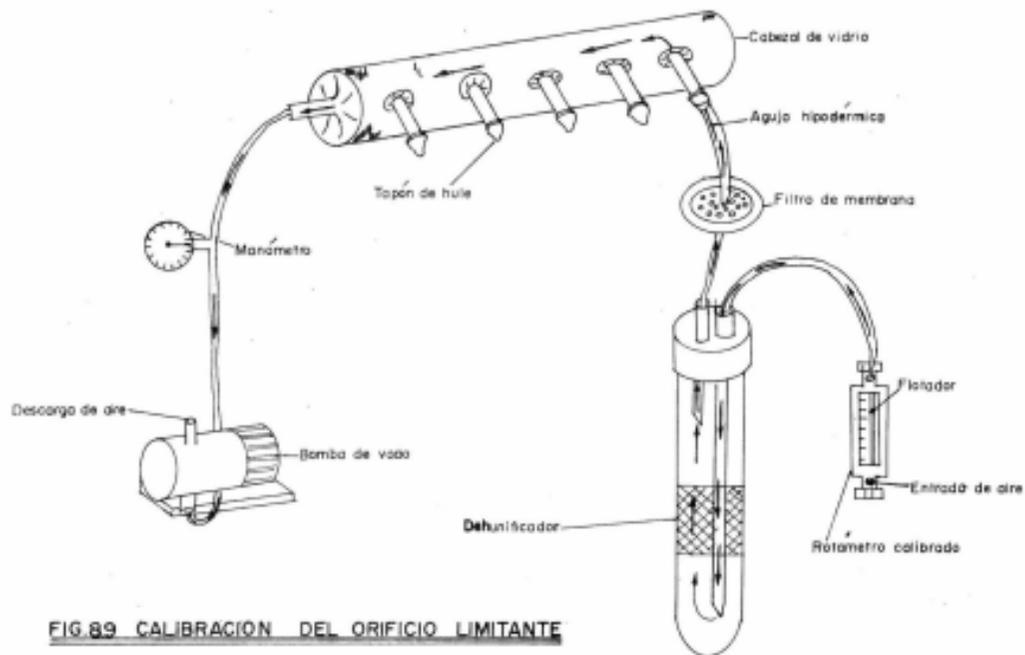
8.2.4.2 Para la estandarización de la solución de metabisulfito se pipetearon - 50ml. de dicromato de potasio 0.1N, se agregaron 2g. de yoduro de - potasio y 8ml. de ácido clorhídrico concentrado. Se tituló con la solución de metabisulfito de sodio empleando almidón como indicador. Se utilizaron 29.9 ml. de metabisulfito.

$$\frac{\text{Ug. SO}_2}{\text{ml.}} = \frac{1.60 \times 10^5}{\text{ml. empleados.}} = \frac{1.6 \times 10^5}{29.9}$$

$$\frac{\text{Ug. SO}_2}{\text{ml.}} = 5351$$

8.2.4.3 De la solución anterior se tomó un mililitro y se aforó a 100 ml. con la solución absorbente dándonos una concentración de 53.51 ug/ml. final<sub>mente</sub> se tomaron de esta última solución 1, 2, 3, 4 y 5ml. y se afora - ron a 100ml. con solución absorbente.

De cada una de las soluciones anteriores, se tomaron 10ml. se les agre - gó 1ml. de ácido sulfámico y se dejó reposar 10 minutos. Se agregó a - cada uno 2ml. de formaldehído y 5ml. de pararosanilina, se dejó repo - sar durante 30 minutos y se midió la absorbancia a 575nm. utilizando - un espectrofotómetro (SPECTRONIC 20) con celdas de media pulgada. --  
Los resultados fueron los siguientes:



**FIG.89 CALIBRACION DEL ORIFICIO LIMITANTE**

CONC. SO <sub>2</sub> , ug/ml.	ABSORBANCIA.
0.535	0.201
1.070	0.308
1.605	0.575
2.140	0.734
2.675	0.886

Los datos anteriores se graficaron determinando por mínimos - cuadrados la recta que mejor se ajusta a los valores observados.

$$Y = MX + b$$

$$b = \frac{\sum X^2 \sum Y - \sum X \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$m = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
0.535	0.201	0.2862	0.0404	0.1075
1.070	0.308	1.1449	0.0949	0.3296
1.605	0.575	2.5760	0.3306	0.9229
2.140	0.734	4.5796	0.5388	1.5708
2.675	0.886	7.1556	0.7850	2.3701
8.025	2.7040	15.7423	1.7897	5.3009

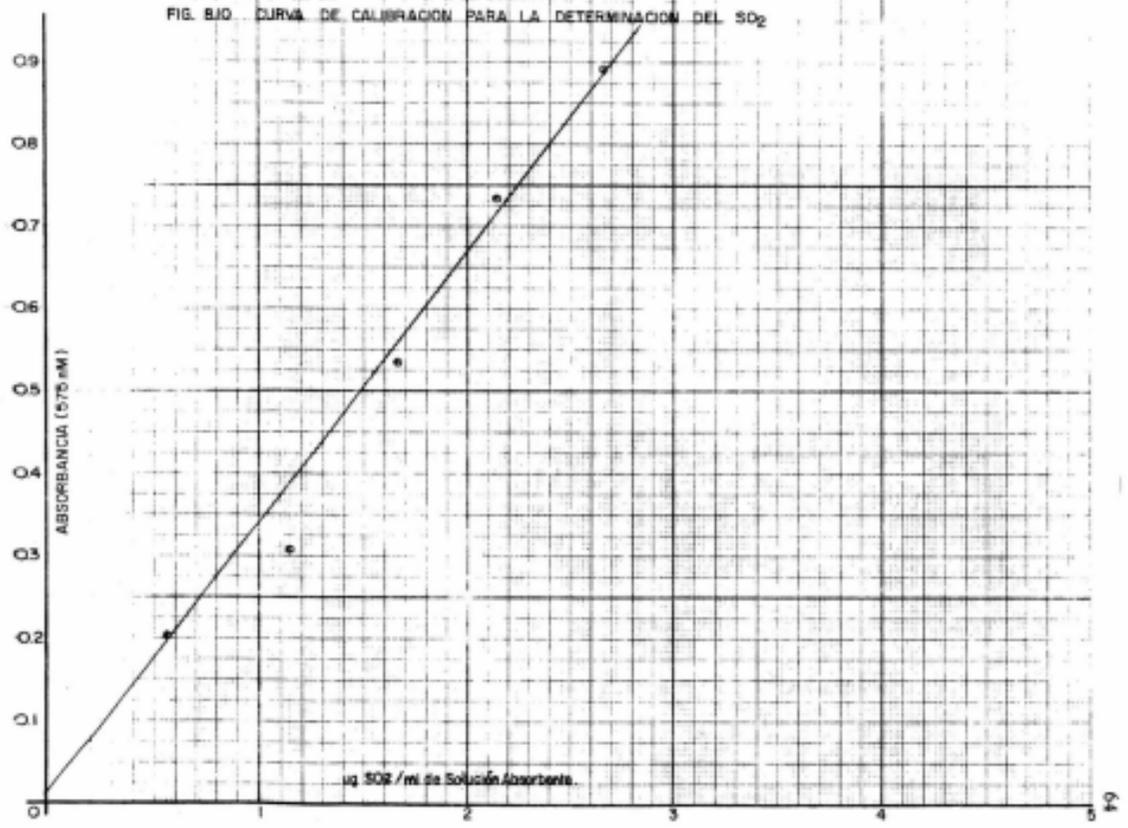
$$n = 5$$

$$b = \frac{(15.7423)(2.7040)}{5(15.7423)} = \frac{(8.025)(5.3009)}{(8.125)^2} = 0.0019$$

$$m = \frac{5(5.3009) - (8.025)(2.704)}{5(15.7423) - (8.025)^2} = 0.3358$$

$$y = 0.3358 X + 0.0019$$

FIG. B.10. CURVA DE CALIBRACION PARA LA DETERMINACION DEL SO<sub>2</sub>



### 8.2.5 Cálculos de la concentración de $\text{SO}_2$ en el aire.

Se presentan a continuación los datos obtenidos el día 3 de Marzo de 1976 para ilustrar los cálculos realizados para la obtención de las concentraciones de  $\text{SO}_2$  en  $\mu\text{g}/\text{M}^3$ .

Tiempo de muestreo: 24 Hr. = 1440 min.

Flujo en la aguja calibrada: 195 ml./min.

Volúmen de solución absorbente: 50 ml.

Absorbancia de la muestra  
analizada: 0,064

Volumen de aire muestreado:

$$V_a = \frac{195 \text{ ml/min.} \cdot 1440 \text{ min.}}{1000 \cdot 1000 \text{ ml/M}^3} = 0,2808 \text{ M}^3$$

La concentración de  $\text{SO}_2$  en la solución absorbente utilizada se lee en la gráfica de la Fig. 8.10 correspondiendo a la absorbancia -- 0,064, una concentración de 0,1849  $\mu\text{g SO}_2/\text{ml}$ . de solución.

Con la concentración en la solución absorbente y los volúmenes de solución y de aire muestreado, se obtiene:

$$\mu\text{g SO}_2 = \frac{0,1849 \mu\text{g. SO}_2/\text{ml.} \cdot (50\text{ml})}{0,2808} = 32,92$$

## 8.2.6 Concentraciones promedio diario obtenidas.

AÑO 1976.

MARZO.		ABRIL.	
DIA.	$\frac{\text{ug. SO}_2}{\text{M}^3 \text{ aire.}}$	DIA.	$\frac{\text{ug. SO}_2}{\text{M}^3 \text{ aire.}}$
3	32,92	2	30,80
5	26,04	4	20,20
7	12,25	6	28,16
9	20,20	8	36,11
11	-----	12	21,26
13	17,55	18	14,90
16	30,80	20	13,84
19	42,46	22	9,60
23	33,46	24	14,37
25	9,60	27	10,66
29	9,60	30	24,45
31	25,51	---	-----

MES.	CONCENTRACION.		
	PROM. MENSUAL.	MAXIMA.	MINIMA.
MARZO.	23,67	42,46	9,66
ABRIL.	20,39	36,11	9,60

### 8.3 Determinación de NO<sub>2</sub> por el método de CHRISTIE modificado.-

Con el mismo equipo utilizado para la absorción de SO<sub>2</sub>, se muestreó - cada tercer día durante 24 horas, para la determinación de NO<sub>2</sub>, empleando el método de CHRISTIE modificado.

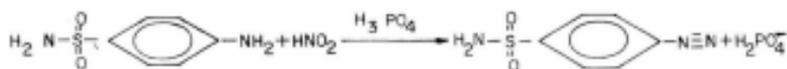
#### 8.3.1 Método de CHRISTIE modificado, (ref. 8).-

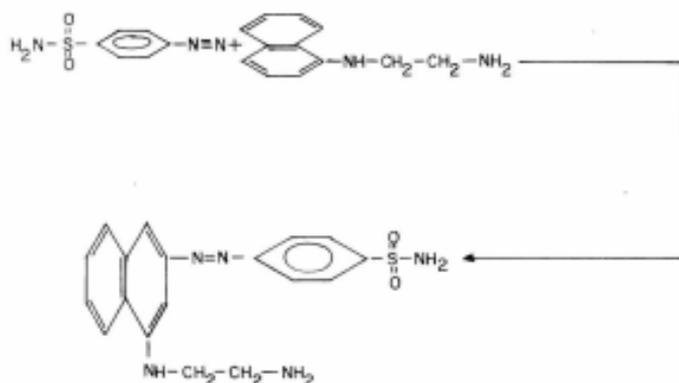
##### 8.3.1.1 Principio y Aplicación.-

El dióxido de nitrógeno se absorbe en una solución de hidróxido de sodio y arsenito de sodio para formar nitrito de sodio. El arsenito de sodio - mejora la eficiencia de absorción del NO<sub>2</sub>.



La concentración del ión nitrito se mide colorimétricamente, adicionando una solución de sulfanilamida con ácido fosfórico y N-(1-naftil) etilen diamina (NEDA) produciendo un color púrpura cuya intensidad es proporcional a la concentración del ión nitrito presente.





Este método se aplica para muestreos de 24 horas.

#### 8.3.1.2 Rango y Sensibilidad.-

La concentración menor que se ha logrado medir es de 0.01 ug. del ión nitrito por mililitro de solución absorbente, correspondiente a  $2\mu\text{g}/\text{M}^3$ , utilizando 50 ml. de solución absorbente y un flujo de 200ml./Min., de aire. El rango en el que se aplica es de  $20-740\mu\text{g}/\text{M}^3$  de dióxido de nitrógeno en el aire.

#### 8.3.1.2 Interferencia.-

Debido a las fuertes propiedades reductoras de la solución absorbente, el  $\text{SO}_2$  y los oxidantes en general no afectan a este método.

#### 8.3.1.3 Reactivos.-

- Solución absorbente preparada con 20g. de hidróxido de sodio, un gramo de arsenito de sodio y aforados a un litro con agua destilada.
- Solución preparada con 4g. de sulfanilamida, 75ml. de ácido fosfórico 85% y aforados a 200 ml, con agua destilada,
- Solución con 0.1 g. de NEDA aforada a 100 ml. Se debe preparar dia-

riamente.

d) Solución estandar de nitrito de sodio preparada con 0.15 g. diluidos a un l. de agua destilada. Esta solución contiene 100ug/MI. de  $\text{NO}_2^-$ .

8.3.2 Procedimiento para el muestreo y análisis. -

8.3.2.1 La muestra se obtuvo burbujenado aire ambiente en 50ml. de solución - absorbente a razón de 195ml/Min., de aire durante 24 horas. -

8.3.2.2 Para obtener la curva de calibración se tomaron 10 ml. de la solución - estandar y se aforaron a 100 ml. con agua destilada para tener 10ug. - de  $\text{NO}_2^-$ /MI. De esta solución intermedia, se pipetearon 1,2,3, 4 y 5ml. y se aforaron separadamente a 50ml. con solución absorbente, dándonos cinco muestras de concentraciones 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0ug.  $\text{NO}_2^-$ /MI. respectivamente. De cada una de las muestras de concentración conocida, se pipetearon 10ml. se les agregó 2ml. de solución de sulfanilamida con ácido fosfórico, un ml. de solución NEDA, se dejó reposar por 10, minutos y se determinó la absorbancia a 540nm. en el espectrofotómetro "SPECTRONIC 20", con celdas de media pulgada obteniéndose las siguientes lecturas.

CON. ug. $\text{NO}_2^-$ /MI.	ABSORBANCIA.
0.2	0.188
0.4	0.395
0.6	0.550
0.8	0.640
1.0	0.930

Los datos anteriores se graficaron y se trazó la recta que mejor se ajustó a los valores observados utilizando el método de mínimos cuadrados.

(fig. 8.11).

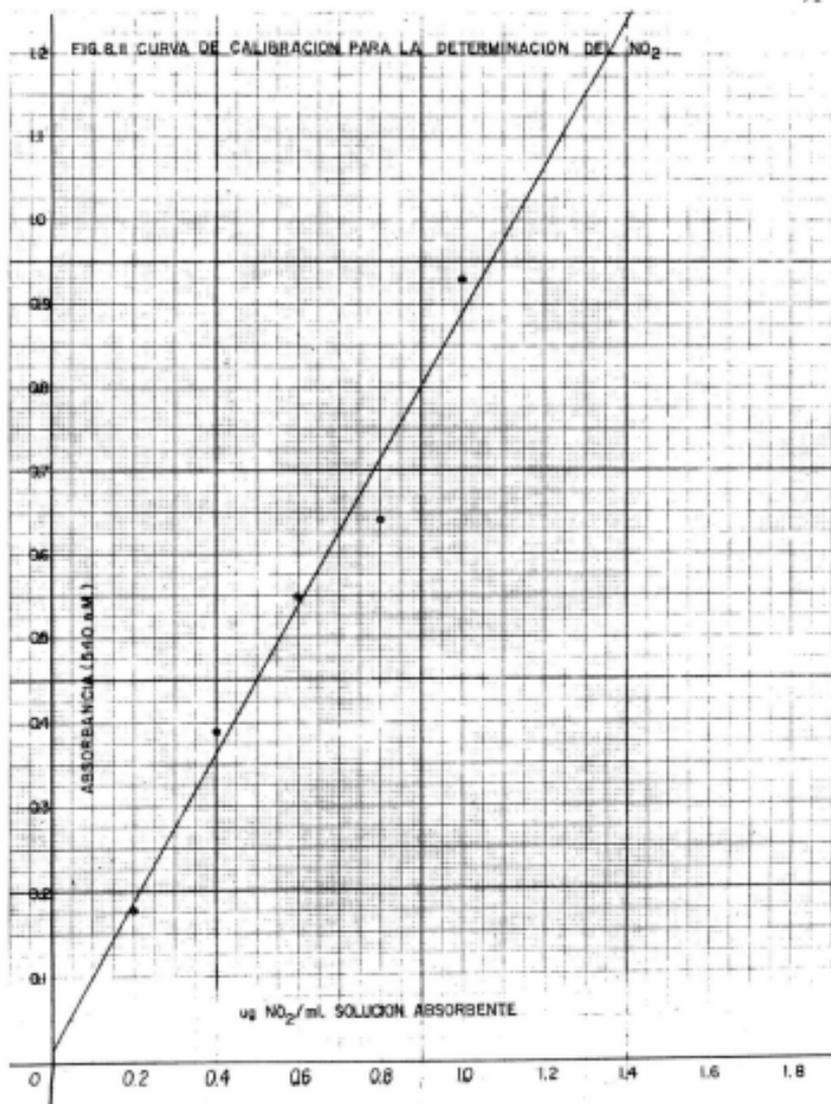
X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
0.2	0.188	0.04	0.0353	0.0376
0.4	0.395	0.16	0.1560	0.1580
0.6	0.550	0.36	0.3025	0.3300
0.8	0.640	0.64	0.4096	0.5120
1.0	0.930	1.00	0.8649	0.9300
3.0	2.703	2.20	1.7683	1.9676

$$Y = m x + b$$

$$b = \frac{(2,20)(2,703) - 3(1,9676)}{5(2,20) - (3)^2} = 0,0219$$

$$m = \frac{5(1,9676) - 3(2,703)}{5(2,20) - (3)^2} = 0,8645$$

$$Y = 0,8645 X + 0,0219$$

FIG. 8.11 CURVA DE CALIBRACION PARA LA DETERMINACION DEL  $\text{NO}_2$ 

### 8.3.3 Cálculo de la concentración de $\text{NO}_2$ en el aire.

Para ilustrar los cálculos realizados en la determinación de la concentración de  $\text{NO}_2$  en el aire se presentan los datos obtenidos el día 3 de Marzo de 1976.

Tiempo de muestreo: 24 hrs. = 1,440 min.

Flujo en la aguja calibrada: 195 ml/min. de aire.

Volumen de solución absorbente: 50 ml.

Absorbancia de la muestra analizada: 0.1

Factor analítico de eficiencia: 0.8 ug  $\text{NO}_2$ /ug  $\text{NO}_2$

Volumen de aire muestreado:

$$V_a = \frac{(195 \text{ ml/Min}) \cdot 1440 \text{ Min.}}{1,000 \cdot 1000 \text{ ml/M}^3} = 0.2808 \text{ M}^3$$

La concentración de  $\text{NO}_2$  en la solución absorbente utilizada se obtiene de la gráfica de la fig. 8.11, correspondiendo a la absorbancia de 0.1 una concentración de 0.0903 ug/ml. de  $\text{NO}_2$ .

$$\frac{\text{ug NO}_2}{\text{M}^3} = \frac{(0.0903 \text{ ug/ml. de NO}_2) \cdot 50 \text{ ml.}}{0.8 (0.2808 \text{ M}^3)} = 20.11$$

## 8.3.4 Concentraciones promedio diario obtenidas.-

AÑO 1976.

MARZO.		ABRIL.	
DIA.	$\frac{\text{ug. NO}_2}{\text{M}^3 \text{ DE AIRE.}}$	DIA.	$\frac{\text{ug. NO}_2}{\text{M}^3 \text{ DE AIRE.}}$
3	20,11	2	19,59
5	20,11	4	9,29
7	27,83	6	16,25
9	27,83	8	28,35
11	36,84	12	32,47
13	18,82	18	22,68
16	40,70	20	19,59
19	21,40	22	39,42
23	31,69	24	40,70
25	20,11	27	41,48
29	30,41	30	43,80
31	29,12		

MES.	CONCENTRACIONES.		
	Prom. Mensual.	Máxima.	Mínima.
MARZO.	27,08	40,70	18,82
ABRIL.	28,51	43,80	9,29

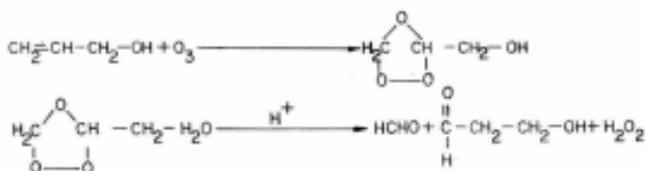
#### 8.4 Determinación de oxidantes totales por el método del Alcohol Alílico. -

Utilizando el mismo sistema burbujeador empleado para la absorción de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$ , se muestreó paralelamente a los anteriores, cada tercer día durante 24 horas aplicando el método del alcohol alílico para la de terminación de oxidantes totales, reportándose las concentraciones obtenidas en  $\mu\text{g}/\text{M}^3$  de Ozono.

#### 8.4.1 Método del alcohol alílico. (ref. 9.).-

##### 8.4.1.1 Principio y aplicación.-

El Ozono es absorbido en una solución acuosa acidulada de sulfato ferroso amoniacal y alcohol alílico reaccionando con éste para formar peróxido de hidrógeno que a su vez reacciona con el ión ferroso para transformarlo en ión férrico. Otros oxidantes como peróxidos orgánicos o peroxiacetil nitratos también reaccionarán en la misma forma. El ión férrico forma un complejo con el tiocianato de amonio resultando una solución color naranja cuya intensidad es proporcional a la cantidad de oxidante absorbido.



El método se puede aplicar a muestreos de 24 horas.

#### 8.4.1.2 Rango y sensibilidad.-

La concentración menor que se pudo medir es aproximadamente de 0,02 ug. de Fe<sup>+++</sup>/Ml. de solución absorbente. La curva de calibración sigue la ley de Beer hasta concentraciones de 5ug. de Fe<sup>+++</sup> Por Ml.

#### 8.4.1.3 Interferencia.-

La solución absorbente puede ser oxidada si se deja bastante tiempo en contacto con el aire. Los dióxidos de azufre y de nitrógeno no interfieren con este método.

#### 8.4.1.4 Reactivos.-

- a) Acido Sulfúrico 6N.
- b) Alcohol Alifico.
- c) Acido clorhídrico concentrado.
- d) Solución absorbente preparada con 0,25g. de sulfato ferroso amoniacal, 5ml. de ácido sulfúrico 6N y 5ml. de alcohol alifico aforados a un litro de agua deionizada. Se debe preparar diariamente.
- e) Tiocianato de amonio preparado con 5g. aforados a 100ml. de agua destilada. Este reactivo es estable por 30 días.
- f) Solución estandar del ión férrico, preparada con 8,6336g. de sulfato férrico amoniacal y 5ml. de ácido clorhídrico concentrado aforados a un litro con agua destilada. Esta solución contiene 1000 ug. del ión férrico por mililitro.

#### 8.4.2 Procedimiento para el muestreo y análisis.-

8.4.2.1 El muestreo se realizó burbujando aire a razón de 195ml/mín. en 50ml. de solución absorbente durante 24 horas. -

8.4.2.2 Para preparar la curva de calibración se tomaron 10ml. de la solución estandar del ión férrico y se llevaron a 100 ml. para obtener una concentración de 100 ug/ml. De esta solución estandar diluída,-

se pipetearon 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 y 5,0ml. y se aforaron separadamente a 100 ml. con solución absorbente, obteniendo soluciones con concentraciones de 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 y 5,0 ug. de Fe<sup>+++</sup> por mililitro. De cada una de las muestras de concentración conocida se pipetearon 10 ml. se les adicionó 2ml. de la solución de tiocianato de amonio, se dejó reposar durante 10 minutos y se determinó la absorbancia a 480 nm. con el espectrofotómetro, obteniéndose las siguientes lecturas.

CONC. ug. Fe <sup>+++</sup> /ML.	ABSORBANCIA.
0,5	0,029
1,0	0,062
2,0	0,110
3,0	0,169
5,0	0,270

Utilizando el método de mínimos cuadrados se obtuvo la recta que se muestra en la Fig. 8,12

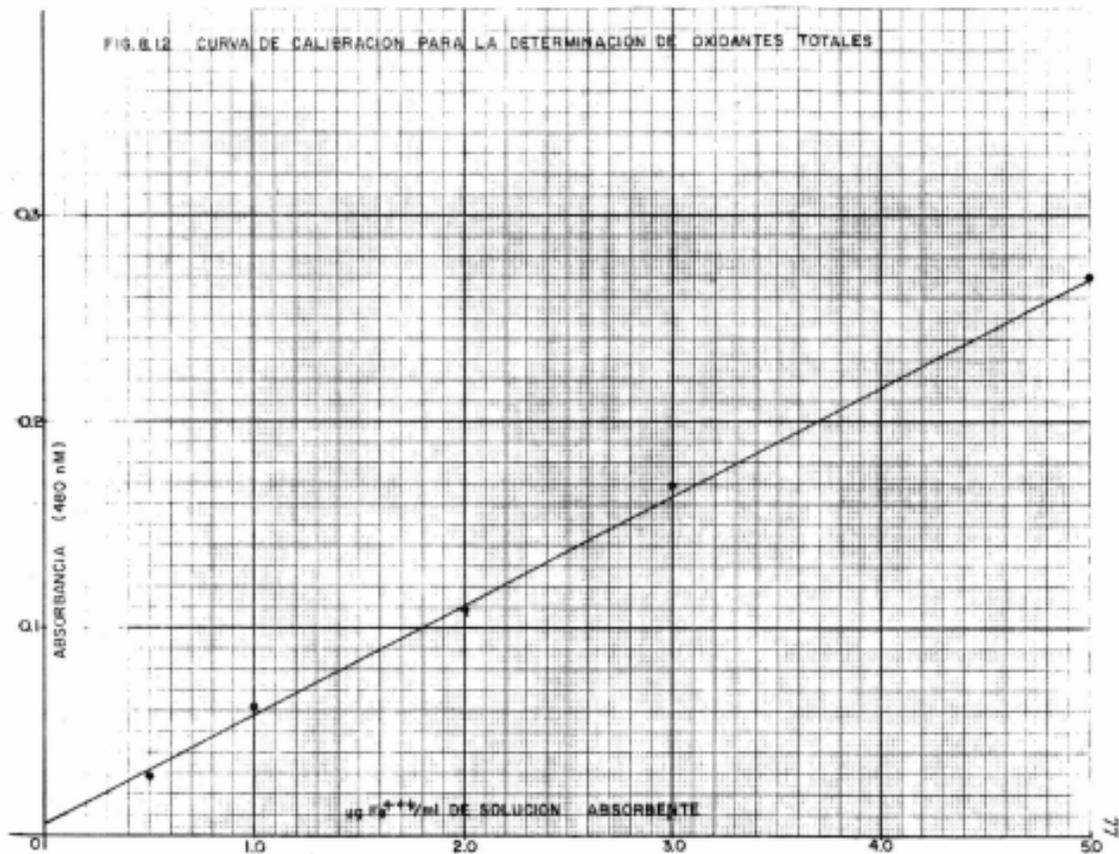
X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
0,5	0,029	0,2500	0,0008	0,0145
1,0	0,062	1,0000	0,0038	0,0620
2,0	0,110	4,0000	0,0121	0,2200
3,0	0,169	9,0000	0,0286	0,5070
5,0	0,270	25,0000	0,0729	1,3500
11,5	0,640	39,2500	0,1182	2,1535

$$b = \frac{(39,25)(0,64) - (11,5)(2,1535)}{5(39,25) - (11,5)^2} = 0,0055$$

$$m = \frac{5(2,1535) - (11,5)(0,64)}{5(39,25) - (11,5)^2} = 0,0532$$

$$Y = 0,0532 X + 0,0055$$

FIG. 8.12 CURVA DE CALIBRACION PARA LA DETERMINACION DE OXIDANTES TOTALES



### 8.4.3 Cálculo de la concentración de oxidantes totales en el aire.

Los cálculos realizados para la determinación de oxidantes totales expresados como ozono se muestran utilizando los datos obtenidos el día 3 de Marzo de 1976.

Tiempo de muestreo: 24 horas = 1440 Min.

Flujo en el aguacalibrada: 195 ml/Min., de aire.

Volúmen de solución absorbente: 50 ml.

Absorbancia de la muestra analizada: 0,060

Factor gravimétrico:  $\frac{24 \text{ ug/u-mol Ozono}}{55,85 \text{ ug/u-mol Fe}^{++}}$

Volúmen de aire muestreado: 0,2808 M<sup>3</sup>.

La concentración del ión férrico en la solución absorbente utilizada se obtiene de la figura 8.12.

Concentración de Fe<sup>+++</sup> = 1,0244 ug/ml.

$$\text{ug de O}_3/\text{M}^3 = \frac{(1,0244 \text{ ug/ml, de Fe}^{+++}) (50\text{ml}) (24)}{(0,2808 \text{ M}^3) (55,85)}$$

$$= 78,39$$

## 8.4.4 CONCENTRACIONES PROMEDIO DIARIO OBTENIDAS.

AÑO 1976.

MARZO.		ABRIL.	
DIA.	$\frac{\text{Ug. O}_3}{\text{M}^3 \text{ de aire.}}$	DIA.	$\frac{\text{Ug. O}_3}{\text{M}^3 \text{ de aire.}}$
3	78,39	2	121,54
5	107,15	4	87,02
7	157,49	6	75,51
9	64,00	8	157,49
11	71,20	12	121,54
13	150,30	18	78,39
16	121,54	20	114,34
19	193,45	22	124,41
23	135,92	24	53,94
25	92,77	27	64,00
29	78,39	30	85,58
31	110,03		

MES.	CONCENTRACIONES.		
	Prom. Mensual.	Máxima.	Mínima.
MARZO.	113,39	193,45	64,00
ABRIL.	98,52	157,49	53,94



QUÍMICA

### 8.5 Análisis de datos.-

Para poder relacionar los datos obtenidos, se recabó, en el Instituto de Geofísica y en la fábrica de papel Loreto y Peña Fobre, la información-meteorológica que se muestra en la tabla 8.5.1

La evaluación de datos se realiza utilizando comparaciones gráficas debido al reducido número de datos obtenidos para cada contaminante(Fig.8.13)

#### 8.5.1 Relación entre contaminantes.-

La concentración de contaminantes tiende a disminuir especialmente durante el período de semana santa, explicándose este fenómeno por la disminución de la actividad urbana e industrial y por la remoción de contaminantes provocada por la precipitación pluvial. El aumento que se observa después de semana santa, a pesar de haberse registrado días con lluvia, puede explicarse por la normalización de la actividad humana y por la presencia de vientos provenientes del NW durante la noche del 30 de abril. Todos los demás días se registraron calmas de las 0 a las 9 hrs.,

Las partículas suspendidas y el dióxido de azufre, presentan una relación directamente proporcional, por lo que se puede inferir que provienen de las mismas fuentes, es decir de procesos de combustión.

Los oxidantes totales y el dióxido de nitrógeno, por el contrario, muestran una relación inversa debida posiblemente a las reacciones fotoquímicas entre el dióxido de nitrógeno y los hidrocarburos para formar sustancias oxidantes como los peroxiacetilnitratos.

#### 8.5.2 Relación entre contaminantes y factores meteorológicos.-

Los factores que más explican las variaciones diarias de concentraciones de contaminantes son la velocidad y dirección del viento, observándose -

TABLA 8.5.1

Datos Meteorológicos y de contaminantes  
determinados en la Ciudad de México.

MARZO 1976.

Conc. ug/M <sup>3</sup> .					Temp. °C.			Lluvia.	Viento.	
DIA.	PS	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	Máx.	Prom.	Min.	Milímetros de altura.	V.Máx.	Direcc.
3		33	20	78	23	13	1	0,0	-----	-----
5		26	20	107	25,8	13,5	1	0,0	-----	-----
7	192	12	28	157	23	15	8,2	0,0	19	S-SW
9		20	28	64	22	14	4	0,0	23	W-NW
11			37	71	22,2	16	10,2	0,0	10	W-NW
13	168	18	19	150	22,5	15,2	8,8	0,7	18	W-NW
16		31	41	122	25	16,2	9	0,0	24	NE-E
19	186	42	21	193	25,2	17	11,2	6,7	11	SW-W
23		33	32	135	25	15	7,5	0,0	22	SW-S
25	136	10	20	93	26,3	15,3	7,8	0,0	21	SW-S
29		10	30	78	27	17	13	0,0	26	S
31	118	26	29	110	23,2	15,5	10	0,0	23	N-NW
ABRIL 1976.										
2		31	20	122	20,6	13,5	7	INAP	25	W-SW
4		20	9	87	21,5	16,5	10	0,0	16	S-SW
6	154	28	16	76	26,8	17	8,6	0,0	29	S-SW
8		36	28	157	26	17,4	11	0,0	16	NE
12	157	21	32	122	22	17,6	10,8	1,0	17	W-NW
18	127	15	23	78	21	16	9	0,0	24	SW-S
20		14	20	114	27	17,5	10	1,3	23	NW
22		10	39	124	27	17	9	7,2	14	SW
24	80	14	41	54	22	15	11	1,0	22	W-SW
27		11	41	64	25,2	17	10	1,4	17	S-SW
30	155	24	44	86	25	16,5	10	5,5	24	S-SW

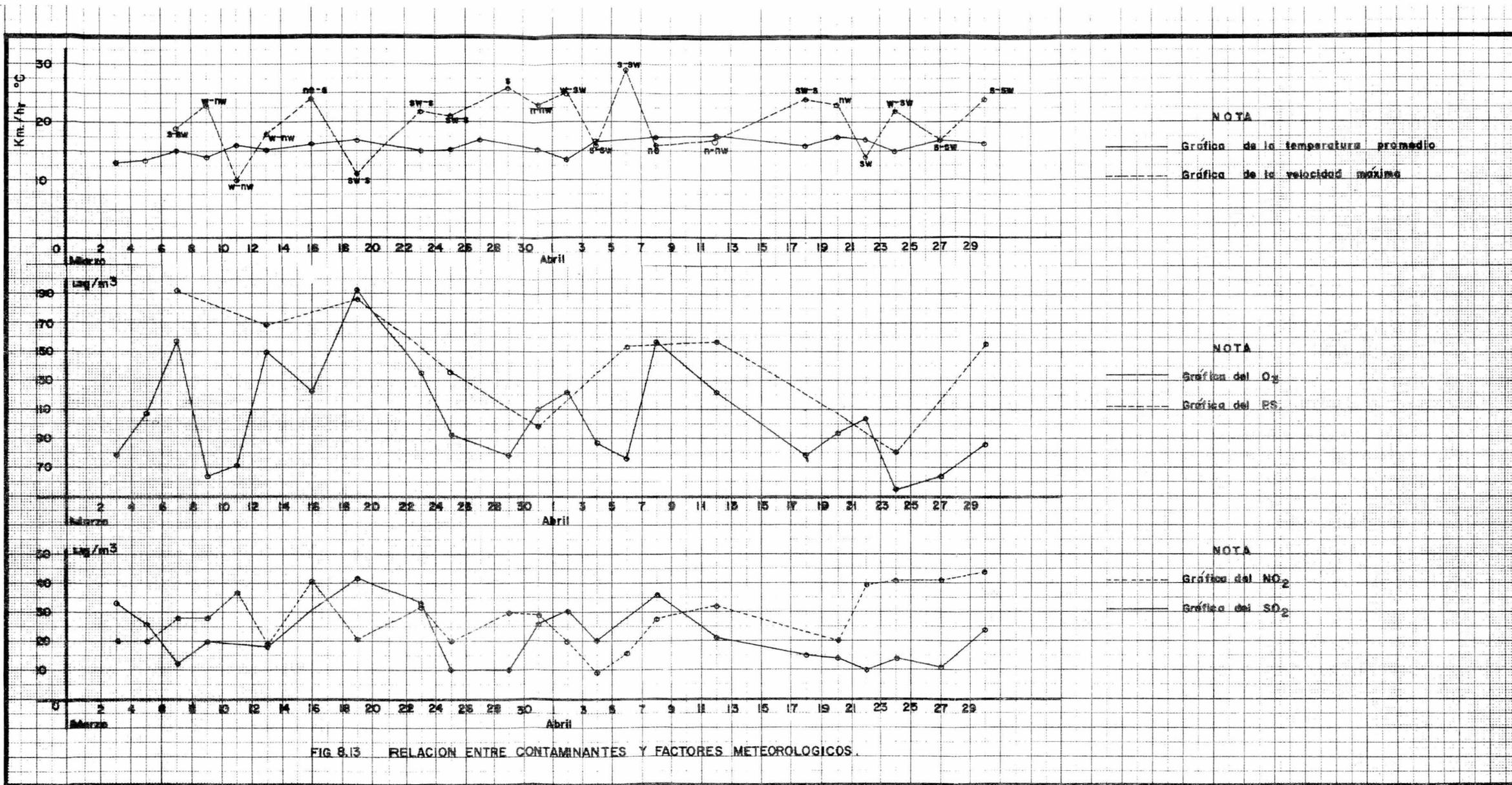


FIG 8.13 RELACION ENTRE CONTAMINANTES Y FACTORES METEOROLOGICOS.

que a velocidades máximas diarias bajas se registran concentraciones altas y a velocidades máximas diarias altas se registran concentraciones altas si los vientos provienen del NW-NE mientras que si los vientos que provienen del SW-SE, las concentraciones registradas son bajas. La temperatura por si sola, no explica ningún efecto sobre los contaminantes. La frecuencia de inversiones y la altura máxima de mezclado no se pudieron relacionar debido a la carencia de datos sobre estos importantes factores de estabilidad atmosférica.

#### 8.6 Normas de calidad del aire.-

Las normas de calidad del aire son aquellos niveles de concentración de contaminantes atmosféricos que se adoptan para alcanzar las metas deseadas de pureza ambiental en una o varias etapas consecutivas.

Para fijar las normas para una región, se deben tomar en cuenta los niveles actuales de contaminación provocada por cada uno de los contaminantes. Se deben conocer también las concentraciones ambientales en varios puntos de la región, el inventario de contaminantes emitidos a la atmósfera y cuales fuentes pueden ser eliminadas o reducidas significativamente.

En México no existen hasta la fecha normas de calidad del aire, sin embargo, se pueden tomar como referencia las establecidas en Estados Unjdos (tabla 8.6.1). Las normas primarias están orientadas a proteger la salud humana mientras que las normas secundarias se orientaron a la protección del bienestar público (ref. 10).

TABLA 8.6.1

NORMAS FEDERALES DE LA CALIDAD DEL AIRE (EE .UU)

CONTAMINANTE.	ug/M <sup>3</sup> / ppm.	
	PRIMARIO	SECUNDARIO.
<u>PARTICULAS</u>		
Prom. Geom. anual	75	60
Máximo en 24 hr. *	260	150
<u>OXIDOS DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)</u>		
Prom. Arit. anual	80/0.03	60/0.02
Máximo en 24hr.	365/0.14	260/0.10
Máximo en 3hr.		1,300/0.50
<u>MONOXIDO DE CARBONO.</u>		
Máximo en 8hr.	10/8.7**	10/8.7
Máximo en 1hr.	40/35	40/35
<u>OXIDANTES FOTOQUÍMICOS(cómo Ozono)</u>		
Máximo en 1hr.	160/0.08	160/0.08
<u>HIDROCARBUROS</u>		
Máximo 3 hr.	160/0.24	160/0.24
<u>DIOXIDO DE NITROGENO</u>		
Prom. arit. anual.	100/0.05	100/0.05

\* Los valores máximos no se deben exceder más de una vez al año.

\*\* Las concentraciones de CO están expresadas en miligramos por metro cúbico y ppm.

## 9.- MÉTODOS Y EQUIPOS PARA ABATIR LA CONTAMINACION ATMOSFERICA.

9.1 Existen tres tipos categóricos de control de problemas creados por la contaminación del aire: Prevenir la formación o emisión de contaminantes en un proceso, la dispersión de contaminantes para evitar problemas de altas concentraciones y la remoción de contaminantes de las corrientes de gases de proceso, antes de descargarse a la atmósfera.-

### 9.1.1 Prevención de la formación de contaminantes. -

Este tipo de control puede lograrse cambiando el proceso, substituyendo combustibles y materias primas o parando la planta.

Los procesos que generan contaminantes, pueden ser modificados -- para eliminar su formación.

En muchos casos existen métodos alternativos para un proceso de producción, y aún cuando el ingeniero de producción generalmente se muestra poco dispuesto al cambio de proceso, dicho cambio podría ser la solución más práctica y económica.

El empleo de combustibles con bajo contenido de azufre resulta en menor cantidad de  $SO_2$  formado. Muchas plantas, particularmente las antiguas con procesos ineficientes, encontrarán más económico cerrar la planta, que invertir en un sistema de control atmosférico.

### 9.1.2 Dispersión y dilución de contaminantes.-

Una de las formas de evitar los problemas de la contaminación atmosférica es la dilución.

Las chimeneas altas se usan ampliamente en las fundiciones y plantas generadoras de energía eléctrica principalmente para dispersar

el dióxido de azufre. La finalidad de una chimenea es dispersar y diluir los contaminantes a niveles aceptables antes de llegar a la superficie.

### 9.1.3 Remoción de contaminantes.-

La mayoría de los problemas de contaminación del aire, requieren el control de emisiones de contaminantes removiéndolos, o convirtiéndolos a productos inofensivos.

#### 9.1.3.1 Remoción de contaminantes gaseosos.-

Los métodos existentes para la remoción de contaminantes gaseosos de una corriente de aire utilizan las operaciones de absorción, adsorción y combustión principalmente, otros métodos de menor aplicación incluyen las condensaciones, reacciones y enmascaramiento.

#### 9.1.3.2 Remoción de partículas contaminantes.-

La remoción de partículas de una corriente gaseosa se puede realizar por medio de procesos mecánicos, filtración, lavado, precipitación electrostática o combinación de varios procesos. En la práctica, generalmente se utilizan tres tipos de equipos; Gabinetes con filtros de tela. Lavadores húmedos de alta energía y precipitadores electrostáticos.

### 9.2 Equipos para remoción de contaminantes.-

Los equipos para remoción de contaminantes de una corriente de aire se pueden clasificar en dos grupos, aún cuando algunos aparatos pueden entrar en cualquiera de los dos grupos. El primer grupo incluye a aquellos aparatos que se diseñan para remover contaminantes que se encuentran en concentraciones comparativamente bajas. Este grupo compuesto por equipos de limpieza de aire at -

mosférico, tiene su mayor aplicación en suministros de aire.

El segundo grupo incluye a los aparatos diseñados para remover contaminantes en concentraciones relativamente altas. Este grupo, compuesto por equipos de limpieza de aire de ductos y chimeneas, generalmente es usado en aplicaciones de procesos y descargas industriales. (Tabla 9.2.1)

#### 9.2.1 Equipos de limpieza de aire atmosférico.-

Este grupo comprende cuatro clases generales de equipos:

Adsorbedores de olores, lavadores de aire, precipitadores electrostáticos y filtros de aire.

##### 9.2.1.1 Adsorbedores de olores.-

Un adsorbedor consiste de una capa de carbón activado por la que se hace pasar una corriente de aire para eliminar los olores. Se pueden emplear velocidades superficiales hasta de 250 pies por minuto si las capas de carbón se pliegan en forma de "V".

En la mayoría de las aplicaciones en aire acondicionado, un espesor de una pulgada en la capa permite un tiempo suficiente para que las moléculas dispersas sean adsorbidas aún en carbón parcialmente gastado, cuando se emplean velocidades superficiales de 120 pies por minuto.

La cantidad de carbón necesario en un sistema se debe determinar por medio de evaluaciones económicas. La mayoría de las aplicaciones en aire acondicionado requieren de 5 a 50 libras de carbón activado de buena calidad por cada 1,000 pies cúbicos por minuto de aire con concentraciones de olor de 0.0001 a 0.001 granos por pie cúbico.

NOMBRE DEL EQUIPO <sup>1</sup>		APLICACION <sup>2</sup>	CONTAMINANTES REMOVIDOS <sup>3</sup>	TAMAÑO OPTIMO <sup>4</sup>	CONCENTRACION OPTIMA <sup>5</sup>	TEMPERATURA LIMITE DEL GAS <sup>6</sup>	CONSUMOS DE AGUA <sup>7</sup> Y POTENCIA USUALES	VELOCIDADES USUALES <sup>8</sup>		CAIDA DE PRESION <sup>9</sup>		EFICIENCIA <sup>10</sup>		DISPOSICION DEL MATERIAL COLECTADO <sup>11</sup>		
Clase	Tipo			micras	granos / pie <sup>3</sup>	°F	gpm, kw, hp	pies / min	atraves de:	pulgada c.a.	notas	% en peso	umenta con:	estado usual y localización	opciones automáticas	
Adsorbedor de olores	Cámara poco profunda		Olores ; Gases	Molecular	< 0.001	0-100	No	50-120	Camara	< 0.3		< 95	Menos vel.	Se elimina con el carbón	Regeneración	
Lavadoras de aire	Cámara de esprayado Celda húmeda			> 20 > 3	< 0.005 < 0.005	40-700 40-700	2-5 gpm/1000 cfm 2-5 gpm /1000 cfm	300-500 200-350	Camara Celda	< 0.4 < 0.7	Limpio	< 25 > 25	Mas vel. Mas vel.	Suspensión ó solución en agua Suspensión ó solución en agua		
Precipitadores electrostáticos de bajo voltaje	Dos etapas, placas Dos etapas, filtros	Equipo de limpieza atmosférico	Pelusa	< 1 < 1	< 0.001 < 0.001	0-250 0-180	01-02 kw/1000 cfm .01-02 kw/1000 cfm	275-500	Placa Celda	< 0.3 < 0.2	Inicial	< 90 > 50	Menos vel. Menos vel.	Suspensión en aceite Se elimina con el filtro	Lavado intermitente	
Filtros de aire recubiertos	Desechable Lavable		Polen	> 5 > 5	< 0.002 < 0.002	0-180 0-250	No No	300-500 300-500	Celda Celda	< 0.1 < 0.1	Inicial Inicial	< 25 < 25	Mas vel. Mas vel.	Se elimina con el filtro Suspensión en aceite ó agua	Baño continuo	
Filtros de aire con fibra seca	5-10 micras 2-5 micras		Humo de cigarro	> 3 > 0.5	< 0.001 < 0.001	0-180 0-180	No No	5-25 5-25	Filtro Filtro	< 0.3 < 0.5	Inicial Inicial	> 50 < 95	Menos vel. Menos vel.	Se elimina con el filtro Se elimina con el filtro	Remoción continua Remoción continua	
Filtros absolutos	Filtro de papel		Bacterias	< 1	< 0.001	0-1800	No	4-6	Filtro	< 1	Inicial	> 99.95	Menos vel.	Se elimina con el filtro		
Filtros industriales	De tela rectangulares De tela tubulares			> 0.3 > 0.3	> 0.1 > 0.1	0-180 0-180	No No	1-30 1-30	Filtro Filtro	> 4 > 4	Sucio Sucio	> 99 > 99	Menos vel. Menos vel.	Polvo seco en los filtros/ Colocado en la tolva	Sacudido continuo ó intermitente Sacudido continuo ó intermitente	
Precipitador electrostáticos de alto voltaje	Una etapa, placas Una etapa, tubular			< 2 < 2	> 0.1 > 0.1	0-700 0-700	0.2-0.6 kw/1000 cfm 0.2-0.6 kw/1000 cfm	180-600 180-600	Placa Tubo	< 1 < 1		< 95 < 99	Menos vel. Menos vel.	Polvo seco ó líquido en la tolva	Sacudido intermitente	
Colectores secos por inercia	Cámara de sedimentación Cámara deflectora Cámara rasante Ciclón Múltiple Por impacto Dinámico	Equipo de limpieza de ductos y chimenea	Polvo	> 50 > 50 > 20 > 10	> 5 > 5 > 1 > 1	0-700 0-700 0-700 0-700	No No No No	300-600 1000-2000 2000-4000 2000-4000	Cámara Entrada Entrada Entrada	< 0.1 < 0.5 < 1 < 2		< 50 < 50 < 70 < 80	Menos vel. Mas vel. Mas vel. Mas vel.	Polvo seco ó líquido en la tolva Polvo seco ó líquido en la tolva Polvo seco ó líquido en la tolva Polvo seco ó líquido en la tolva		
			Vapores	> 10 > 5	> 1 > 1	0-700 0-700	No No	2000-4000 2000-4000	Entrada Entrada	< 2 < 4		< 90 < 90	Mas vel. Mas vel.	Polvo seco ó líquido en la tolva Polvo seco ó líquido en la tolva		
			Humo	> 10 > 10	> 1 > 1	0-700 0-700	No No	3000-6000 2000-4000	Boquilla Entrada	< 4 hasta 8"		< 80 < 80	Mas vel. Mas vel.	Polvo seco ó líquido en la tolva Polvo seco ó líquido en la tolva		
			Niebla	> 10 > 10	> 1 > 1	0-700 0-700	1-2 hp / 1000 cfm	2000-4000	Entrada	hasta 8"		< 80	Mas vel.	Polvo seco ó líquido en la tolva		
Lavadoras húmedas	Ciclón Por impacto Dinámico Cámara de niebla Empacado Multidimensional Venturi Boquilla sumergida De charro			> 10 > 5 > 10 > 2 > 5 < 1 < 2 < 2 < 5	> 1 > 1 > 1 > 0.1 > 0.1 > 0.1 > 0.1 > 0.1	40-700 40-700 40-700 40-700 40-700 40-700 40-700 40-700 40-700	3-5 gpm/1000 cfm 3-5 gpm /1000 cfm 3-5 gpm @ 2-4 /1000 cfm 3-5 gpm /1000 cfm 3-5 gpm /1000 cfm 3-5 gpm @ 20-30 hp/1000 cfm 3-5 gpm /1000 cfm No 50-100 gpm /1000 cfm	2000-4000 3000-6000 2000-4000 3000-4000 500-1000 2000-3000 12000-24000 2000-4000 2000-3000	Entrada Boquilla Entrada Entrada Cama Entrada Garganta Boquilla Entrada	> 2 > 2 hasta 8" > 2 > 4 hasta 4" > 10 > 2 hasta 8"		< 80 < 80 < 80 < 99 < 90 < 99 < 99 < 99 < 90 < 90	Mas vel. Mas vel. Mas vel. Mas vel. Mas vel. Mas vel. Mas vel. Mas vel. Mas vel.	Suspensión ó solución en agua Suspensión ó solución en agua	Limpieza continua Limpieza continua Limpieza continua	
Incineradores	Directo Catalítico		Gases	Varios Moleculares	Combustible Varios	2000 1000	No No	500-1000 500-1000	Cámara Cámara	< 1 > 1		< 95 < 95	Menos vel. Menos vel.	Gases inocuos en la chimenea Gases inocuos en la chimenea		
Absorbedores de gases	Torre de ración Columna empacada Celda con fibra		Olores	Molecular Molecular Molecular	0.001 0.001 0.001	40-100 40-100 40-100	5-15 gpm/1000 cfm 5-15 gpm/1000 cfm 5-15 gpm/1000 cfm	300-800 500-1000 200-300	Torre Cama Celda	< 1 < 10 < 4		< 95 < 95 < 95	Menos vel. Menos vel. Menos vel.	Solución absorbente Solución absorbente Solución absorbente		
Absorbedores de gases	Cama profunda			Molecular	0.001	0-100	No	20-120	Cama	< 10		< 100	Menos vel.	Adsorción en carbón / Regeneración	Regeneración intermitente	

TABLA 9.2.1 : Características de los equipos para remoción de contaminantes.

TABLA 9.2.1 Características de los Equipos para Remoción de Contaminantes.

Notas aclaratorias a las cabezas de columna.

- 1.- Los nombres de las clases y tipos se seleccionaron en base a lo descriptivo y al uso común del equipo. Sin embargo, pueden existir diferentes clasificaciones igualmente aceptables.
- 2.- La aplicación de los diferentes equipos depende de varios factores, los cuales se indican en forma general en las demás columnas.
- 3.- Los contaminantes enumerados se pueden remover por uno de los equipos mostrados por la flecha, pero no necesariamente por todos.
- 4.- El tamaño óptimo de partícula variará en cada equipo de acuerdo a los factores económicos que la determinan.
- 5.- La concentración óptima para un equipo también variará de acuerdo a los factores económicos, particularmente en los equipos de limpieza de aire atmosférico, donde la vida útil y el mantenimiento están íntimamente relacionados con la concentración.
- 6.- Los límites de temperatura de los gases únicamente son típicos. El límite inferior de 40°F para unidades húmedas se fija para evitar congelamiento de líquidos.
- 7.- El consumo de agua para unidades húmedas es el gasto recomendado para la selección de la bomba.
- 8.- Las velocidades usuales se refieren a las velocidades transversales al área que presentan las celdas, camas y filtros.
- 9.- La caída de presión en un equipo variará con la velocidad y las condiciones de operación.

- 10.- La eficiencia de un equipo depende de el tamaño de partícula, la concentración, velocidad y otras condiciones de operación.
- 11.- La disposición del material colectado puede variar para un mismo equipo.

### 9.2.1.2 Lavadores de aire.-

Un lavador de aire puede ser de cámara de esreado o de celda húmeda. Los dos tipos generalmente se diseñan con flujo de aire horizontal utilizando dehumidificadores en la descarga.

El tipo de cámara de esreado, contiene uno o más bancos de --- boquillas orientadas en favor o en contra de la corriente de aire. Cualquiera de los dos tipos puede ser clasificado como humidifica dor, dehumidificador, lavador o adsorbedor de gases.

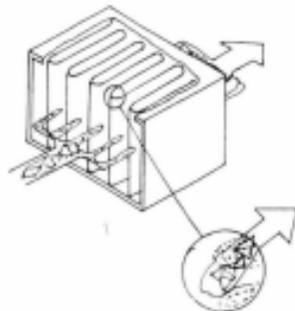
El lavador de aire con rocío de agua remueve partículas generalmente mayores de 20 micras de diámetro. Debido a que esta --- remoción se efectúa en el dehumidificador, por impacto, se recomienda usar velocidades altas para aumentar la remoción de particu las. Por el contrario en aplicaciones como humidificación, dehumidificación, remoción de olores y adsorción de gases, las eficiencias se pueden aumentar disminuyendo la velocidad. Solamente aquellos gases u olores que son solubles en agua se pueden remover eficien temente.

El lavador de celda húmeda utiliza capas de fibras rociadas con -- agua y remueve partículas mayores de 5 micras de diámetro, aumentando su eficiencia con el aumento de la velocidad.

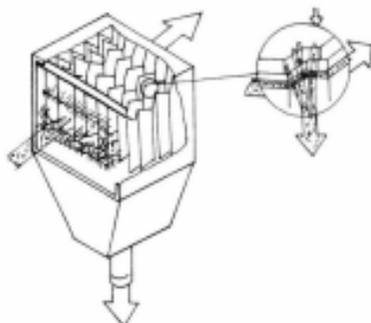
### 9.2.1.3 Precipitadores electrostáticos de bajo voltaje.-

El precipitador electrostático consiste de una serie de placas paralelas empotradas en un armazón y con cargas positivas y negativas en forma alternante.

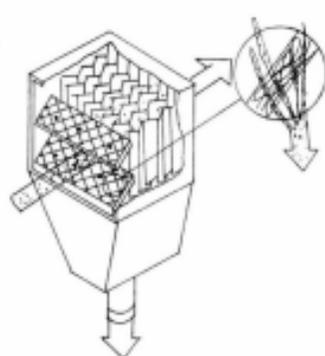
El precipitador opera con 12000 volts en la etapa ionizante y con - 6000 volts. en la etapa colectora. El espaciamiento de los platos es de 1/4 a 1/2 pulgada en la mayoría de los diseños.



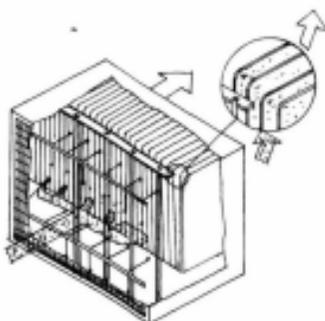
ADSORVEDOR DE OLORES.



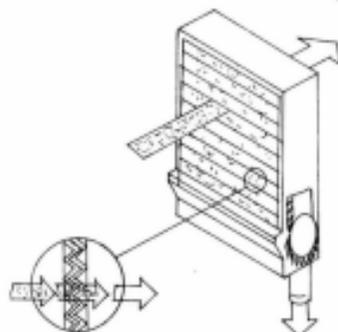
CAMARA DE ESPREADO.



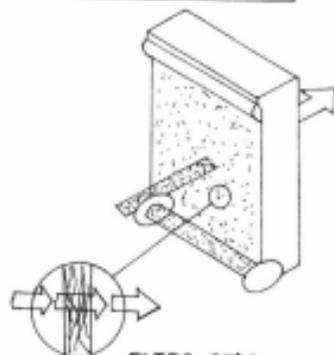
CAMARA DE CELDAS HUMEDAS.



PRECIPITADOR ELECTROSTATICO  
DE BAJO VOLTAJE.



FILTRO HUMEDO



FILTRO SECO

La eficiencia de remoción aumenta al disminuir la velocidad del aire, encontrándose a 500 p.p.m. una eficiencia de 85% y a 400 p.p.m., 90%. El consumo de potencia en estos equipos es aproximadamente de 15 watts por cada 1000 p.c.m.

#### 9.2.1.4 Filtros de aire.-

Los filtros de aire pueden ser recubiertos con aceite o del tipo seco. Ninguno de los dos tipos depende considerablemente de la acción de cribado sino más bien de varias combinaciones y grados de fuerzas difusionales, centrífugas y electrostáticas.

Un filtro recubierto con aceite consiste de una capa de fibras ásperas, frecuentemente distribuidas de tal forma que el tamaño del poro disminuye gradualmente desde la entrada del aire hasta la salida. La eficiencia, generalmente aumenta conforme se forma la película de polvos y también aumenta al aumentar la velocidad superficial.

El filtro de fibra seca consiste de una rejilla porosa o de una capa de fibras finas por donde se puede pasar el aire sucio. La eficiencia aumenta al disminuir el tamaño de la fibra y al reducir la velocidad superficial ya que la deposición se efectúa principalmente por difusión. Los filtros absolutos, son filtros de fibra seca ultrafina de papel poroso plegado. La eficiencia en estos filtros es de -- 99.97% para partículas de 0.3 micras empleando la prueba de ftalato de dietilo.

#### 9.2.2 Equipo de limpieza de aire de ductos y chimeneas.-

Este grupo se compone de siete clases generales de equipos:

filtros industriales, precipitadores electrostáticos de alto voltaje, --

colectores por inercia tipo seco, lavadores de gases, incineradores, absorbedores de gases y adsorbedores.

#### 9.2.2.1 Filtros industriales.-

Los filtros o colectores de tela industriales pueden ser de dos tipos: de filtros tubulares y de filtros rectangulares fabricados en ambos casos con fibras naturales o artificiales.

El filtro de tipo tubular consiste de varios tubos de tela colgados verticalmente con la parte alta cerrada y la parte baja abierta para permitir el flujo de aire sucio por dentro de los tubos, de tal forma que los polvos se depositan en la superficie interior del tubo.

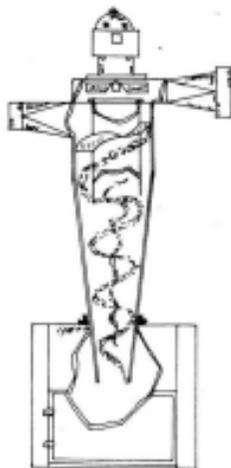
Los filtros de tipo rectangular consisten de varios soportes porosos cubiertos por tela en cinco de sus caras por las que se hace pasar del exterior al interior la corriente de aire sucio.

Los dos tipos se montan sobre una tolva para depositar y coleccionar los polvos sacudidos mecánicamente o automáticamente.

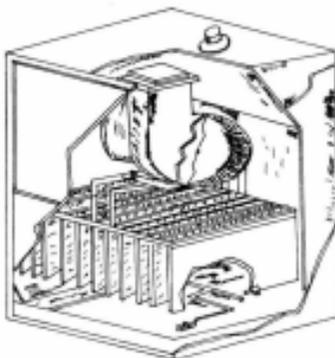
Las eficiencias de remoción son altas una vez que el filtro se ha cubierto con polvos lo cual ocurre en los primeros segundos de operación. La superficie filtrante requerida se debe determinar en relación a la concentración de polvos, a la caída de presión más económica y al método de sacudido de los filtros. Las velocidades a través de los filtros varían de 1 a 30 pñes cúbicos por minuto de aire por cada pñe cuadrado de superficie filtrante. Las velocidades más bajas se usan para equipos con sacudido mecánico intermitente. Las caídas de presión económicas pueden variar de 2 a 6 pulgadas de columna de agua.

#### 9.2.2.2 Precipitadores electrostáticos de alto voltaje.-

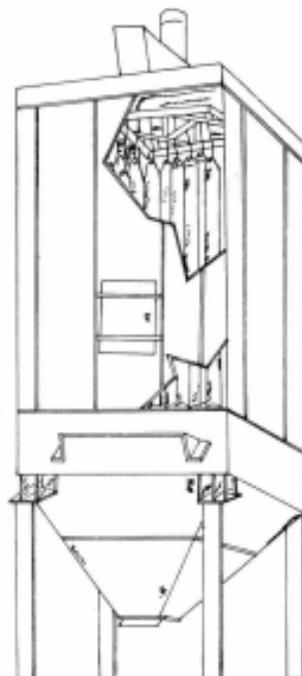
Los precipitadores electrostáticos de alto voltaje pueden ser de - -



CICLON DE ALTA EFICIENCIA.



GABINETE CON FILTROS DE TELAS RECTANGULARES.



GABINETE CON FILTROS TUBULARES.

tubos o de placas, logrando en una sola etapa la ionización y la colección con el empleo de altos voltajes que varían de 30,000 a 100,000 Volts., Generalmente se usa la ionización de polaridad negativa para poder alcanzar los altos voltajes sin la producción de chispas. El voltaje aplicado depende de la eficiencia requerida, el espacio entre los electrodos de ionización y de colección, de la longitud de los electrodos en el sentido del aire y de la velocidad del gas.

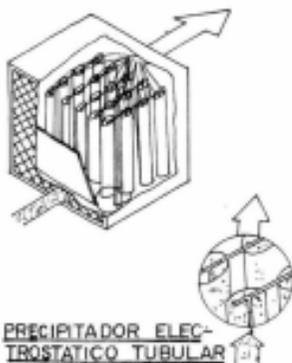
El precipitador electrostático de placas consiste de bancos alternados de electrodos de alambre ionizante y de electrodos de placas colectoras. El espacio entre placas puede variar de 6 a 15 pulgadas y la longitud entre 10 y 18 pies en el sentido del flujo de gases, normalmente en dirección ascendente. El precipitador tipo de tubos consiste en un juego de tubos colectores verticales con alambres concéntricos ionizantes. El diámetro de los tubos puede variar de 6 a 15 pulgadas y con longitudes de 6 a 16 pies.

El flujo es por dentro de los tubos y en dirección ascendente.

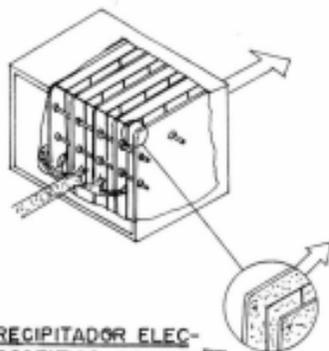
Los dos tipos de precipitadores se montan sobre una tolva en la que se depositan los polvos eliminados continua o intermitentemente de los tubos.

El precipitador de tubos se usa generalmente para remover neblinas y el de placas para polvos.

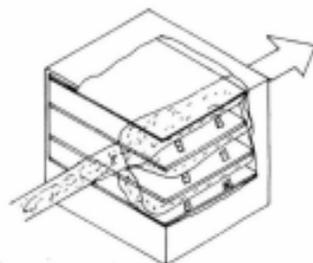
La remoción de nieblas es más eficiente debido a que el material colectado presenta menos problemas de arrastre y resistencia ya que los líquidos formados descienden sobre la superficie del tubo, mientras que los polvos deben caer libremente.



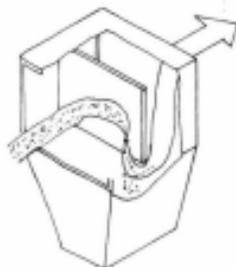
PRECIPITADOR ELECTROSTATICO TUBULAR DE ALTO VOLTAJE.



PRECIPITADOR ELECTROSTATICO DE PLACAS DE ALTO VOLTAJE.



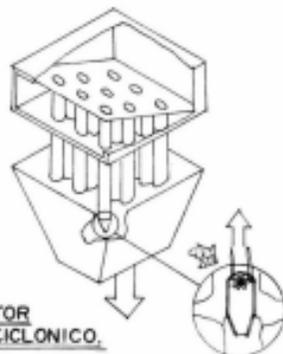
CAMARA DE SEDIMENTACION.



CAMARA DEFLECTORA.



CAMARA RASANTE.



COLECTOR MULTICICLONICO.

Los líquidos tienen mayor conductividad que el polvo seco en general - por lo que a estos se les inyecta vapor de agua en la corriente de aire para aumentar su conductividad.

#### 9.2.2.3 Colectores por inercia tipo seco.-

Los equipos de colección por inercia pueden ser cámaras de sedimentación, cámaras deflectoras, cámaras rasantes, ciclones, ciclones múltiples, impactores o dinámicos. Todos estos tipos utilizan la mayor masa de las partículas dispersas en relación al peso de la moléculas del gas que las transporta para efectuar la remoción. La masa efectiva de las partículas se incrementa en todos, menos en la cámara de sedimentación, debido a la aplicación de fuerzas centrifugas.

Los equipos de remoción por inercia tipo seco se usan esencialmente para la colección de polvos secos, sin embargo, pueden remover humos y nieblas y rocios. El término de tipo seco se emplea para diferenciarlos de los lavadores húmedos.

La cámara de sedimentación es un recipiente colector de polvos, que disminuye la velocidad de transporte de los gases, permitiendo con estos que las partículas mayores de 50 micras de diámetro se sedimenten.

La cámara deflectora es una tolva con entrada y salida vertical y con un deflector vertical para reducir la inercia de las partículas arrastradas y permitirles que se sedimenten.

La eficiencia de remoción es similar a la de las cámaras sedimentadoras, pero con ahorros considerables de espacio.

La cámara rasante consiste de una voluta en forma de caracol colocada en la envolvente de un ventilador centrifugo con el sentido de rotación invertido.

El colector de tipo ciclónico consiste de varias cámaras cilíndricas dise-

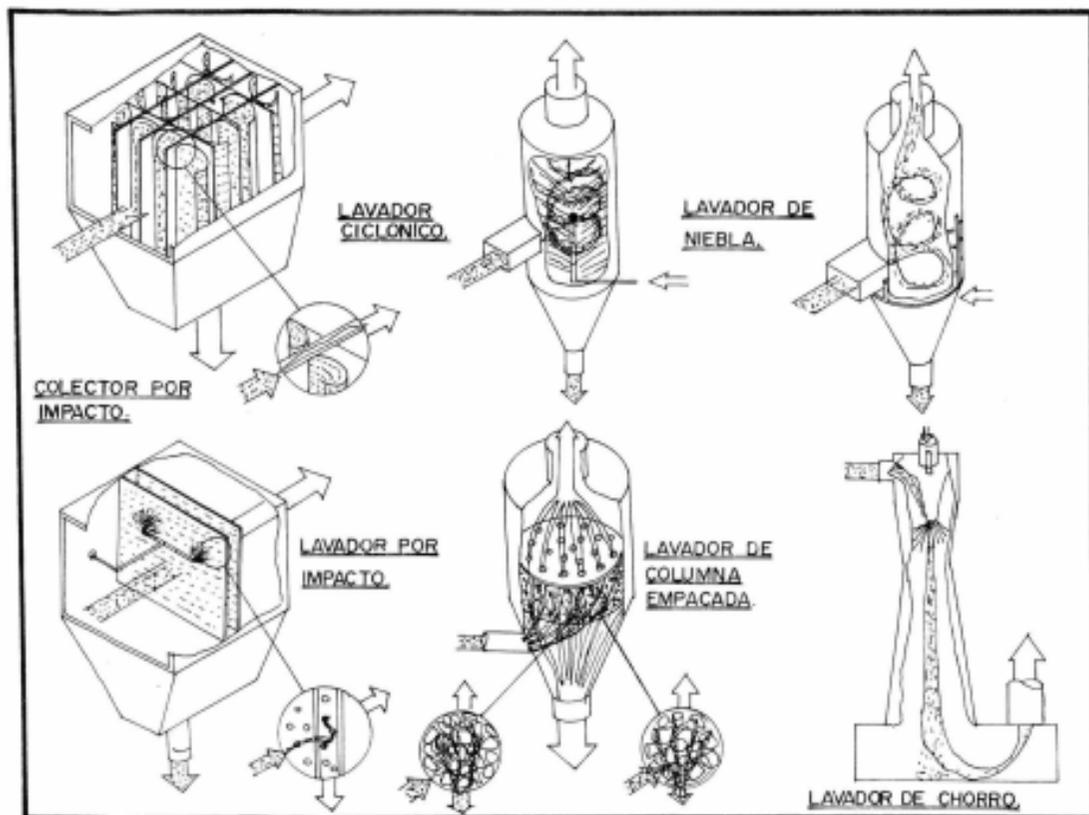
ñadas para producir un flujo en espiral, con una velocidad de entrada tangencial de cerca de 3,000 pies por minuto, la cual se incrementa varias veces en la espiral principal.

Los ciclones pequeños tienen un radio de curvatura menor y por lo tanto producen una aceleración radial mayor para una misma velocidad tangencial; debido a esto los ciclones pequeños son más eficientes que los grandes. Cuando la eficiencia que se requiere es moderada el tamaño del ciclón se selecciona de acuerdo a la capacidad necesaria y a una caída de presión razonable. Cuando se necesita de una mayor eficiencia se pueden emplear arreglos en paralelo con pequeños ciclones y con una caída de presión más alta.

La eficiencia se puede mejorar con velocidades más altas y con concentraciones de polvos más altas, debido al acondicionamiento de las partículas por aglomeración. Si la velocidad es demasiado alta, puede impedir la aglomeración de partículas reduciendo por tanto la eficiencia.

Los colectores por impacto consisten de boquillas o de orificios seguidas cada una por deflectores de tal manera que el gas debe dar vuelta inmediatamente después de la aceleración. La mayoría de los colectores de este tipo están diseñados de tal forma que el material es arrojado a una región de baja velocidad permitiendo a las partículas sedimentarse en una tolva. Un deflector perforado entre la boquilla y el deflector sólido crearán dicha región ya que solamente una cantidad limitada de gas pasará por las perforaciones en comparación con la cantidad que pasa a la siguiente boquilla. Parte de los polvos pasará por las perforaciones y algunas chocarán en la superficie sólida.

Los colectores de tipo dinámico consisten en un ventilador centrífugo --



con ranuras interiores que permiten eliminar la capa de gas más concentrada. El rotor del ventilador acelera al material y proporciona la presión necesaria para vencer la resistencia a través del colector.

Todos los colectores por inercia pueden fabricarse de materiales especiales resistentes a la corrosión y a las altas temperaturas.

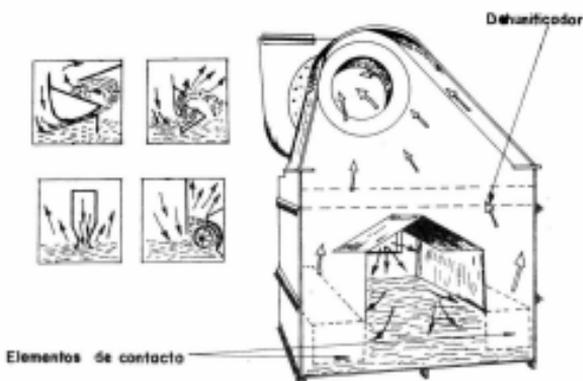
#### 9.2.2.4 Lavadores Húmedos.-

Los lavadores húmedos pueden ser ciclónicos, por impacto, torres de niebla, torres empacadas, multidinámicos, de boquilla sumergida, venturis o de chorro de líquido. Todos estos tipos utilizan agua o un líquido de lavado ya sea para acondicionar las partículas dispersas, para evitar su rearrastré, para ayudar a su disposición o para las tres cosas. Es difícil distinguir estos mecanismos en muchos casos. Seis de estos tipos tienen aplicación en los colectores por inercia tipo seco - excepto el tipo venturi, el de chorro y el de boquilla sumergida.

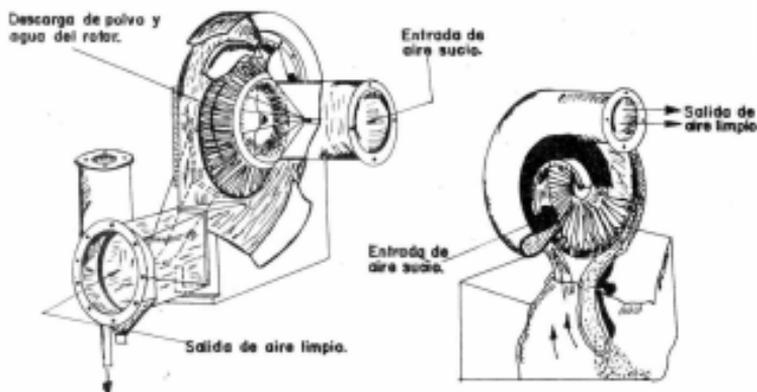
El lavador tipo ciclónico usualmente con alimentación de líquido radialmente hacia afuera acondiciona muy poco las partículas sin embargo, evita el rearrastré de las mismas formando suspensiones en la pared del equipo.

El lavador por impacto tiene deflectores húmedos para evitar el rearrastré de partículas.

El lavador dinámico tiene una alimentación de agua antes del ventilador. La función principal del agua es humedecer las paredes de la envolvente y las aspas del rotor para evitar el rearrastré de partículas. El impacto de las partículas dispersas en las partes húmedas funciona como un acondicionamiento.



LAVADOR HUMEDO DE BOQUILLA SUMERGIDA.



LAVADOR HUMEDO TIPO DINAMICO.

COLECTOR DINAMICO TIPO SECO.

El lavador de niebla es un colector ciclónico con rocío fino alimentado tangencialmente alrededor de la pared del recipiente para acondicionar las partículas y facilitar su remoción.

El lavador de torre empacada consiste en una columna cilíndrica con una capa de fragmentos de material que presentan un área de contacto bastante grande para permitir que el agua alimentada en la parte superior evite la obstrucción de la capa formando suspensiones y arrastrándolas hacia el fondo.

El lavador multidinámico se forma con una serie de rotores y rociadores dispuestos en tal forma que la corriente de gases va del interior al exterior en el primer rotor y del exterior hacia el interior en el segundo rotor y así sucesivamente.

El lavador tipo vórtice se opera alimentando agua en forma radial un poco antes de la garganta, donde se separa en gotas finas debido a la alta velocidad de la corriente de gases en ese punto. Conforme la velocidad disminuye en la sección divergente ocurre el acondicionamiento de las partículas por impacto, difusión y condensación. En la descarga del vórtice, las partículas se unen unas con otras y se colectan en un lavador tipo ciclónico.

El lavador de boquilla sumergida lleva adaptada una ranura parcialmente inundada con agua. Algunas partículas se colectan inicialmente por impacto en la superficie del agua. El gas al pasar por la ranura a alta velocidad, arrastra una cantidad considerable de agua formando gotas que al ponerse en contacto con las partículas las acondiciona permitiendo su sedimentación y su colección.

El lavador de chorro de agua consiste en una boquilla convergente por la que pasa a velocidades altas un chorro de agua que descarga un po-

co antes de la garganta de un difusor convergente divergente. El agua crea un vacío debido a la transformación de momento a la vez que acondiciona las partículas dispersas.

Todos estos lavadores se han diseñado principalmente para la remoción de aerosoles, sin embargo, pueden aplicarse a lavado o eliminación de mezclas de gases; todos estos equipos utilizan en una u otra forma la fuerza centrífuga ya sea para remover las partículas o para mover el agua a través del gas.

#### 9.2.2.5 Incineradores.-

Un incinerador se puede considerar como un equipo de limpieza de gases, únicamente si los productos de combustión son inocuos. El material dispersado no se remueve sino que se convierte en otro diferente, usualmente compuestos más simples desde el punto de vista químico. La combustión completa de hidrocarburos da como productos el agua y el dióxido de carbono, los cuales no se consideran como contaminantes. Una combustión incompleta puede dar como productos sustancias más peligrosas que las originales. Los compuestos sulfurados al incinerarse, producen dióxido de azufre que puede ser menos peligroso que el compuesto original, pero que necesita de un tratamiento posterior. Los compuestos nitrogenados pueden producir nitrógeno o sus óxidos dependiendo de las condiciones de operación.

Un incinerador puede ser del tipo de flama o del tipo catalítico.

El primero se usa tanto para aerosoles como para mezclas de gases mientras que el segundo se emplea únicamente para gases.

En el incinerador de flama directa, la corriente de gases y partículas dispersas se precalienta hasta obtener la temperatura necesaria para la combustión de las sustancias indeseables. El tiempo de paso de

los gases después del precalentamiento, debe ser suficiente para permitir completar la reacción de oxidación.

La incineración catalítica también requiere de un precalentamiento hasta alcanzar la temperatura de combustión catalítica, sin embargo, los consumos de combustibles son mucho más bajos que en la incineración directa. La catálisis es un fenómeno de superficie que acelera la reacción química.

La oxidación o combustión de sustancias en presencia de catalizadores puede lograrse a temperaturas considerablemente bajas.

#### 9.2.2.6 Absorbedores de gases.-

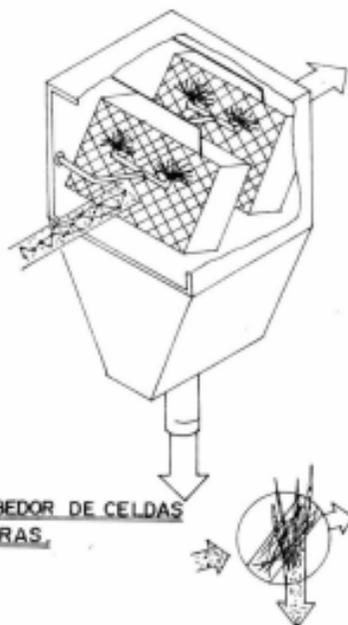
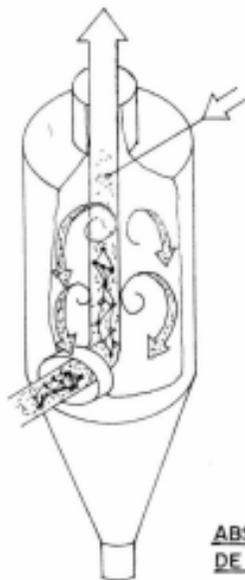
Los absorbedores de gases puede ser torres rociadoras, columnas empacadas o gabinetes con celdas de fibras. Todos estos equipos ponen en contacto a la corriente gaseosa con un líquido para permitir la transferencia de los compuestos solubles de la corriente gaseosa hacia la fase líquida. La diferencia principal entre los diferentes equipos absorbedores es el método de distribución del líquido para lograr el área interfacial necesaria para que la transferencia ocurra a una velocidad razonable.

En las torres de rocío, el líquido se inyecta, formando pequeñas gotas, por medio de una boquilla y haciéndolo pasar en sentido contrario al flujo de gases. La altura de la unidad de transferencia es comparativamente grande, por lo que su aplicación se limita a problemas que requieren pocas unidades de transferencia para su solución.

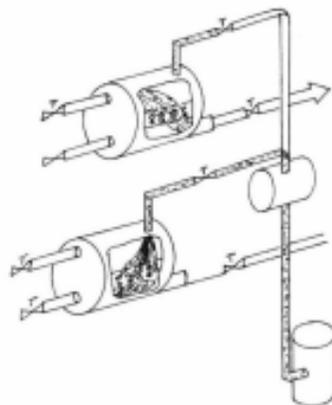
Las ventajas principales de los equipos rociadores sobre los otros tipos son su baja caída de presión, sencillos y sin problemas de obstrucciones e inundaciones.

En las columnas empacadas el líquido se distribuye en películas del-

CAMARA ABSORBEDORA POR ROCIO.



ABSORBEDOR DE CELDAS DE FIBRAS.



ABSORBEDOR DUPLEX.

gadas que escurren hacia el fondo mientras que la corriente gaseosa asciende provocando el contacto y la transferencia de masa. La altura de la unidad de transferencia es menor que en los tipos rociadores, sin embargo, la caída de presión es mayor, existe el peligro de obstrucciones e inundaciones si la concentración de partículas es alta o el flujo de líquido o de gases es muy alto.

En los gabinetes con celdas de fibras el líquido se rocía sobre una de las caras de las celdas pasando el flujo paralelo con la corriente de gases. Debido a la gran superficie que presentan las fibras, la altura de la unidad de transferencia es considerablemente menor que en los demás tipos de absorbedores. El empleo de varias celdas permite el uso de líquido fresco en etapas intermedias reduciendo aún más la altura de la unidad de transferencia.

El empaque fibroso proporciona mayor superficie de contacto por unidad de volumen es menos pesado y es más poroso que los materiales convencionales para torres empacadas.

Cualquiera de los tres tipos de absorbedores se pueden diseñar para cualquier grado de absorción. Teóricamente la eficiencia de remoción está limitada solamente por las condiciones de equilibrio, sin embargo, el grado de limpieza está limitado prácticamente por consideraciones económicas. Cuando se requieren altas eficiencias de remoción, puede ser más práctico el empleo posterior de un equipo de adsorción.

Ninguno de los tres tipos de absorbedores es eficiente en la remoción de partículas, por lo que normalmente se utiliza una etapa previa de lavado.

#### 9.2.2.7 Adsorbedores de gases.-

Un adsorbedor de gases consiste de una capa relativamente profunda - de carbón activado, por la cual se hace pasar una mezcla de gases para permitir que uno o más componentes sean removidos selectivamente. Cuando la actividad del carbón se ha gastado, la regeneración se realiza pasando vapor de agua de baja presión en dirección opuesta al flujo normal de la corriente gaseosa. Conforme se calienta la capa de carbón, los gases adsorbidos se liberan y se pasan a un equipo de condensación y finalmente a un separador de gases y vapores condensados. Las unidades industriales simples se usan en procesos intermitentes para permitir tiempo suficiente para regeneración y enfriamiento. Para procesos continuos se requieren unidades múltiples. Las unidades duplex se diseñan para que una opere con la capacidad suficiente mientras la otra se regenera y se enfría.

## 10.- CONCLUSIONES.

- 1.- El número de muestras colectadas y analizadas para cada uno de los contaminantes es relativamente bajo, por lo que tanto los resultados obtenidos en el análisis de datos como las conclusiones pueden ser poco confiables debido a la gran variedad y complejidad de factores que intervienen en la contaminación atmosférica. Sin embargo, el estudio realizado presenta los niveles de calidad del aire en el área de la Ciudad Universitaria que pueden servir como antecedentes para estudios posteriores.
- 2.- Las concentraciones de dióxidos de nitrógeno y de azufre en todos los casos se encontraron muy por debajo de los niveles -- máximos permitidos que se han adoptado como normas primarias y secundarias de calidad del aire en Estados Unidos.
- 3.- La concentración de partículas suspendidas en el aire, se encontró en todos los casos por debajo de la norma primaria, sin embargo, la mayoría de las muestras sobrepasa la norma secundaria y las restantes muestras se encuentran ligeramente por debajo de la norma secundaria.
- 4.- Las concentraciones de oxidantes totales expresados como ozono se presentan como promedio en 24 horas, sin embargo, la formación de estos contaminantes se lleva a cabo normalmente de las 9 a las 18 horas en presencia de luz solar, de óxido nítrico y de hidrocarburos. Tomando en cuenta lo anterior, se deduce que la concentración promedio en 8 horas es por lo menos tres veces mayor que la concentración en 24 horas y por lo tanto, -

en todos los casos la concentración promedio máxima en una hora es varias veces mayor que el nivel máximo establecido en las normas primarias y secundarias adoptadas en Estados Unidos.

- 5.- Las concentraciones más bajas de los diferentes contaminantes en general se pueden explicar por la presencia de vientos provenientes del sur y suroeste, teniendo por el contrario a aumentar si los vientos desplazan el aire del norte y noreste -- hacia la Ciudad Universitaria.

11.- RECOMENDACIONES. (SUGERENCIAS)

- 1.- Realizar un estudio por un período mínimo de dos años, en el que se determine monóxido de carbono e hidrocarburos además de los contaminantes incluidos en el presente trabajo.
- 2.- Observar las variaciones diarias de cada uno de los contaminantes.
- 3.- Paralelamente a la determinación de contaminantes recabar toda la información meteorológica posible en los puntos más cercanos a los sitios de muestreo o en su defecto incluir en el estudio la determinación de frecuencia de inversiones, la altura de mezclado y los diversos factores meteorológicos.
- 4.- Revisar los métodos de muestreo y análisis de contaminantes atmosféricos modificándolos si es necesario para poder aplicar los, con entera confiabilidad en las especiales condiciones de la Ciudad de México.
- 5.- Efectuar un inventario de fuentes contaminantes, así como de contaminantes emitidos a la atmósfera.
- 6.- Establecer modelos matemáticos de difusión y dispersión de contaminantes en la atmósfera.

R E F E R E N C I A S.

- 1.- WILLIAM B. HEULSEN,-  
"La Industria de la Fundición en la Contaminación Ambiental". Hierro y Acero, Vol. IV, Núm. 9 Dic. 1971.
- 2.- ENRIQUE MARQUEZ MAYAUDON,-  
"La Contaminación Atmosférica en México".  
Trabajo presentado en la primera reunión nacional sobre -  
problemas de contaminación ambiental.  
México, D.F., Enero 1973.
- 3.- BLANCA RAQUEL ORDOÑEZ,-  
"Efectos de la Contaminación Atmosférica en la Salud del  
Hombre". Apuntes sobre Control de la Contaminación -  
Atmosférica. Centro de Educación Continua de la Facul-  
tad de Ingeniería. UNAM, Nov. 1971.
- 4.- JOE O. LEDBETTER,-  
"Air Pollution" Part A - Analysis. Editado por Marcel  
Dekker Inc. N.Y. 1972.
- 5.- GUIDELINES,-  
"Air Quality Surveillance Networks". Air programs Publi-  
cation. No. AP-98. E.P.A. Mayo 1971.
- 6.- NATIONAL PRIMARY AND SECONDARY AMBIENT AIR QUALITY

STANDARDS AND AIR POLLUTION AND CONTROL.

E.P.A., Federal Register Vol. 36, Núm. 21, Part. II.  
Washington, D.C., Enero 1971.

- 7.- SCARENGELLES F.P., SALTZMAN B. E., AND FREY, S. A.  
"Spectrophotometric Determination of Atmospheric Sulfur  
Dioxide". Analytical Chemistry 39, 1709 (1967).
- 8.- CHRISTIE A.A., LIDSEY R. GAND RADFORD D.W.F.  
"Field Methods of the Determination of Nitrogen Dioxide  
in Air". The Analyst Vol. 95 (1970).
- 9.- GINN W.L. JR. AND PAYNE J.S.  
"Determination of total Oxidants" Laboratory Division  
Texas Air Control Board. Jun. 1974.
- 10.- NATIONAL AMBIENT AIR QUALITY STANDARDS.  
E.P.A., Federal Register, Vol. 36, Núm. 67 Part. II.  
Washington, D.C., 1971.

B I B L I O G R A F I A .

- 1.- P.L. Magell, F.R., Holden, And C. Ackley. "Air Pollution Handbook". Mc.Graw-Hill, New York 1956.
- 2.- A.C. Stern. "Air Pollution Vols. I,II, III. Academic Press, New York, 1968.
- 3.- Joe O. Ledbetter. "Air Pollution" Parts A and B, Marcel Dekker, Inc., New York. 1972.
- 4.- W. Leithe. "The Analysis of Air Pollutants" Ann Arbor Science Publishers 1971.
- 5.- M. B. Jacobs. "The Chemical Analysis of Air Pollutants". Interscience, New York, 1960.
- 6.- Gilpin Alan. "Control of Air Pollution" London ButterWorth, 1963.
- 7.- Werner Strauss. "Air Pollution Control" Parts I and II, Jhon Wiley and Sons. New York 1971.
- 8.- Jan-Olaf Willums. "New Concepts in Air Pollution Research". John Wiley and Sons New York 1974.
- 9.- "Meteorological Aspects of Air Pollution". Training Course Manual, U.S.P.H.S., D.H.E.W. Cincinnati, Ohio. 1964.
- 10.- O.G. Sutton, "Micrometeorology" Mc.Graw-Hill, New York. 1953.