



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Viceministerio
de Gestión Ambiental

Dirección General
de Calidad Ambiental



TALLER

ARMONIZACION DE REDES DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE

COMPENDIO TEÓRICO

FECHA: 11, 12 Y 15 DE JUNIO
2009



ARMONIZACION DE REDES DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE

COMPENDIO TEÓRICO

INDICE

1. Calidad de Aire
 - 1.1. Atmósfera
 - 1.2. Contaminación atmosférica (concepto)
 - 1.3. Agentes contaminantes
 - 1.4. Clasificación de contaminantes
 - 1.5. Principales contaminantes
 - 1.6. Contaminantes del aire
 - 1.6.1. Contaminantes Sulfurados
 - 1.6.2. Contaminantes Carbonados
 - 1.6.3. Contaminantes Nitrogenados
 - 1.6.4. Ozono
 - 1.6.5. Material Particulado en Suspensión
 - 1.6.6. Metales Pesados
 - 1.6.7. Contaminantes peligrosos del aire
 - 1.6.8. Emisión e Inmisión de los Contaminantes
 - 1.7. Efectos de la contaminación
 - 1.7.1. Sobre los materiales
 - 1.7.2. Sobre la vegetación
 - 1.7.3. En los animales
 - 1.7.4. Sobre los seres humanos
 - 1.8. Sistema de gestión de la Calidad de Aire
 - 1.9. Fuentes de contaminación
 - 1.9.1. Origen
 - 1.9.2. Localización
 - 1.9.3. Extensión
 - 1.10. Meteorología
 - 1.10.1. Viento y Características
 - 1.10.2. Comportamiento de penachos



- 1.10.3. Precipitación
- 1.10.4. Radiación solar
- 1.10.5. Temperatura
- 2. Normativa Nacional
- 3. Red de Vigilancia de la Calidad del Aire
 - 3.1. Definición
 - 3.2. Objetivos
 - 3.3. Escala espacial - EPA
 - 3.4. Clasificación
 - 3.5. Etapas de un sistema de vigilancia
 - 3.6. Selección de contaminantes
 - 3.7. Determinación del número de estaciones
 - 3.8. Número de estaciones en función a la densidad poblacional – OMS
 - 3.9. Ubicación de las estaciones
 - 3.10. Criterios de ubicación de estaciones
 - 3.11. Determinación de tiempos de muestreo
 - 3.12. Criterios de ubicación de tomas de muestra
 - 3.13. Criterio de selección de equipos de medición
- 4. Métodos de Monitoreo
 - 4.1. Métodos pasivos
 - 4.2. Métodos activos
 - 4.2.1. Clasificación de partículas
 - 4.2.2. Operación de equipos de monitoreo de partículas
 - 4.3. Métodos automáticos
 - 4.4. Sensores remotos
- 5. Bibliografía

Anexo 01 Estándares de Calidad Ambiental - Aire

Anexo 02 Parámetros Contaminantes Evaluados

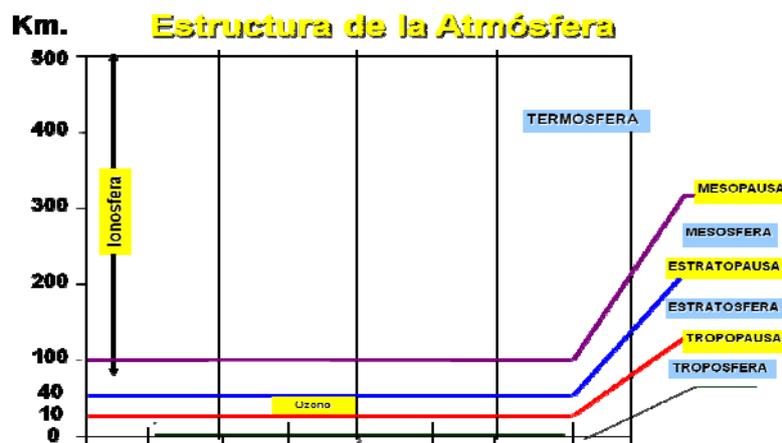
1. CALIDAD DE AIRE

1.1 ATMÓSFERA

Masa gaseosa distribuida en capas concéntricas, de espesor y densidad diversas, y en movimiento de rotación alrededor del globo terráqueo. Se extiende hasta los 1000 Km, desde la superficie.

Biósfera:

Capa delgada de materia viva, sostenida por enormes ciclos de energía y elementos químicos. Capa terrestre cuyas condiciones particulares permiten la existencia de seres vivos. Su altura alcanza aproximadamente los 7,900 m.s.n.m.



Tropósfera:

- Capa que está en contacto con la superficie terrestre y se extiende hasta 10 Km. de altura, posee un grosor mayor en el ecuador e inferior en los polos.
- La mayor parte de los contaminantes se ubican en la troposfera, principalmente en los primeros 3 Km.
- El descenso vertical de la temperatura es de 6 °C por Km ascendente.
- Se presentan todos los fenómenos meteorológicos.
- El límite entre la troposfera y la estratosfera, es la tropopausa.

Estratósfera:

- Se caracteriza por una estructura verticalmente isoterma en su porción inferior, seguida de una región en la cual la temperatura va en aumento. Alcanza los 40 Km de altura.
- Toda esta región contiene prácticamente la totalidad del ozono atmosférico, alcanzándose la máxima concentración al final de la estratosfera, en la estratopausa, donde se produce una nueva inversión térmica.

Mesósfera:

- En esta capa se presenta una importante disminución de la temperatura debido a la combinación de dos efectos, la disminución de la densidad del aire hasta hacerse prácticamente despreciable y la disminución paralela de la presión atmosférica. Alcanza los 100 Km de altura.

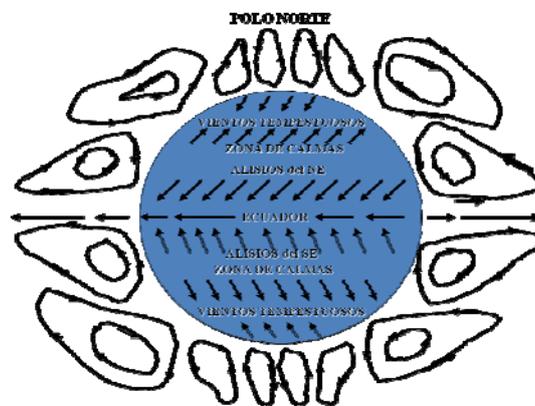


- En la mesopausa la atmósfera alcanza el valor de temperatura más bajo.

Termósfera:

- Por encima de los 100 Km, los gases constituyentes de la atmósfera se ven afectados por los rayos X y las radiaciones ultravioletas provenientes del sol, provocando un aumento del movimiento y de la temperatura.
- A partir de la termosfera, la atmósfera sólo esta compuesta por gases muy ligeras (O, H, He) procedentes de la disociación de sus moléculas y que acaban escapando al espacio exterior debido a la escasa atracción que la tierra ejerce sobre ellos.

Circulación General de la Atmósfera

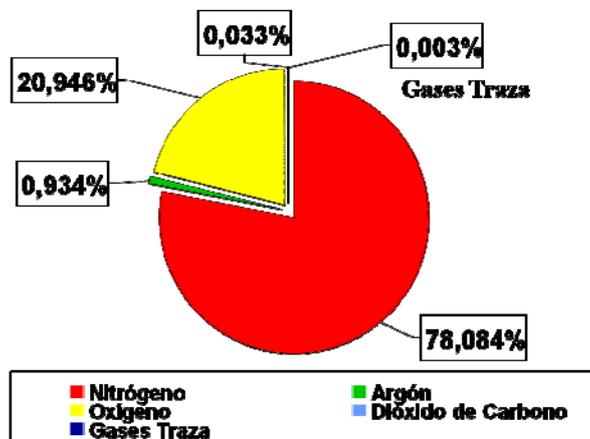


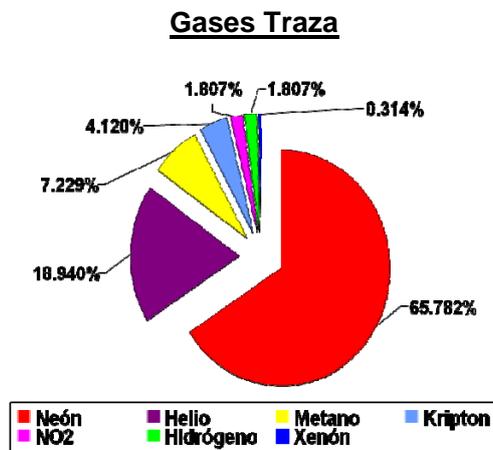
AIRE

El Aire es una mezcla de gases que rodean la tierra en una capa relativamente delgada.

La mayor parte se encuentra dentro de los primeros 120 Km. de altura sobre el nivel del mar (95%).

Composición del Aire





1.2 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Contaminación Atmosférica es la presencia en la atmósfera de agentes químicos, biológicos y físicos, en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, seguridad y bienestar de la población, perjudiciales para la vida animal y vegetal o impidan el goce de propiedades y lugares de recreación.

1.3 AGENTES CONTAMINANTES

Se denominan Agentes Contaminantes a aquellas sustancias químicas, energía física y microorganismos que debido a su concentración en el aire, pueden alterar y/o dañar la salud de las personas, dañar a los animales, a las plantas y los materiales.

1.4 CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES

Los Agentes Contaminantes se clasifican en:

- Agentes Químicos (Polvos, Humos, Neblinas, Nieblas, Gases y Vapores).
- Agentes Físicos (Ruidos, Iluminación, Radiaciones Ionizantes y no ionizantes, etc.)
- Agentes Biológicos (Hongos Bacterias, Polen)

Agentes Químicos

Características

- Concentración: Cantidad del agente contaminante presente en el medio por unidad de volumen o área.
- Persistencia: Característica que tiene el contaminante de perdurar en el ambiente.

Interacción de contaminantes

- Sinergismo: Aumento de los efectos de un contaminante, a causa de la introducción o presencia de otro (Ej. Partículas y Dióxido de Azufre).



- Antagonismo: La presencia de un contaminante reduce parcialmente el efecto del otro.

Expresiones de concentraciones de Contaminantes

- Un contaminante gaseoso presente en el aire se expresa comúnmente en partes por millón (ppm):

$$1ppm = \frac{1 \text{ volumen de contaminante Gaseoso}}{10^6 \text{Vol. (contaminante + aire)}}$$

Ejemplo 1:

Se toma una muestra de aire en la ciudad de Lima, dicha muestra tiene un volumen de 1 metro cúbico. Cuál será la concentración del Dióxido de Azufre (en ppm) si el análisis arroja un volumen de este contaminante de 0.06 cc.

$$C = \frac{0.06 \text{ cc} \times 1m^3 \times 1lt}{1m^3 \times 1000lt \times 1000cc} = \frac{0.06}{10^6} \times 10^6 = 0.06 \text{ ppm}$$

Expresiones de Concentración de Contaminantes:

- La masa de un contaminante se expresa:

$$\frac{\mu g}{m^3} = \frac{\text{microgramo}}{\text{metro cubico}}$$

- La relación entre ppm y $\mu g/m^3$, para 1 atm, y 25°C, es la siguiente:

$$\frac{\mu g}{m^3} = \frac{ppm \times \text{peso molecular} \times 10^3}{24.5}$$

Para 1atm y 20°C la constante en el denominador es 22.4

Ejemplo 2:

La concentración del Dióxido de Azufre en el aire es de 0,06 ppm. Cual será dicha concentración expresada en microgramos por metro cúbico (T= 25 °C y P= 1 atm)

$$\frac{\mu g}{m^3} = \frac{0.06ppm \times (32 + 32) \times 10^3}{24.5}$$

$$C = 156,7 \mu g/m^3$$

**Ejemplo 3:**

La concentración del Dióxido de Azufre en el aire es de 100 ppb (partes por billón). Cual será dicha concentración expresada en microgramos por metro cúbico (T= 25 °C y P= 1 atm) donde 1ppm=1000ppb

$$\frac{\mu g}{m^3} = \frac{100 \times 10^3 ppm \times (32 + 32) \times 10^3}{24.5}$$

$$C = 261,2 \mu g/m^3$$

Clasificación de Contaminantes de acuerdo a su origen:

- **Primarios:** son sustancias contaminantes vertidas directamente a la atmósfera desde los focos emisores. No han sufrido ninguna modificación química desde el momento que han salido desde su punto de emisión, ejemplo el monóxido de carbono, óxidos de azufre, etc.
- **Secundarios:** no son vertidos directamente a la atmósfera. Se producen a consecuencia de transformaciones y reacciones químicas o fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en la atmósfera. Ejemplo: El Ozono, el peroxiacetilnitrato (PAN), etc.

1.5 PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AIRE

Contaminante	Símbolo	Forma Física	Tipo
Monóxido de Carbono	CO	gas	Primario
Dióxido de Azufre	SO ₂	gas	Primario
Dióxido de Nitrógeno	NO ₂	gas	Primario y Secundario
Ozono	O ₃	gas	Secundario
Hidrocarburos	HC	gas	Primario
Partículas	PTS, PM ₁₀ , PM _{2.5}	Sólido, líquido	Primario y Secundario
Plomo	Pb	Sólido	primario



1.6 CONTAMINANTES DEL AIRE

Es reconocida la influencia que la contaminación atmosférica tiene sobre el deterioro de la salud humana, especialmente en las grandes ciudades, llegando en algunos casos a episodios críticos donde se observan síntomas respiratorios de tipo irritativo, fenómenos respiratorios de tipo obstructivo y una mortalidad más elevada que los promedios normales. Se ha establecido la estrecha relación de la contaminación atmosférica con alteraciones de la función respiratoria, con el transporte de oxígeno en el cuerpo, con enfermedades respiratorias cardiovasculares y dermatológicas y con la presencia de diversos y numeroso casos de cáncer.

Existen diversos factores a tener en cuenta para analizar los efectos sobre la salud, entre los que podemos citar.

Intensidad y composición de los contaminantes: No es lo mismo estar expuesto, aún en períodos cortos, a concentraciones altas de contaminantes cuyos valores medios en un período mayor sean aceptables. Las variaciones de la intensidad de la concentración dependen no sólo de la emisión sino también de las condiciones meteorológicas y el relieve geográfico. Asimismo, el tipo de contaminante es muy importante por sus diversos efectos, por lo que los períodos de exposición cambian según aquellos

El horario: Las concentraciones varían en general con respecto a la hora del día por variaciones en las emisiones y las condiciones meteorológicas locales. Para un flujo de emisión constante, la concentración de los contaminantes a nivel del suelo dependerá de las lluvias y de los vientos.

Los contaminantes que se producen directamente en algún proceso natural o debido a la actividad humana se denominan **contaminantes primarios, o precursores**. Si el tiempo de residencia de estos en la atmósfera es suficiente, pueden participar en reacciones químicas y transformarse en otras sustancias contaminantes denominadas **contaminantes secundarios**. En algunos casos los contaminantes primarios no son dañinos, por ejemplo el NO, y si lo son los secundarios, en este ejemplo el NO₂.

La mayoría de los residuos volátiles generados por el hombre sólo ascienden unos pocos centenares de metros en la atmósfera. El aire en esta zona está en contacto con la superficie terrestre y su movimiento afectado por la rugosidad de aquella. Por esta razón se producen turbulencias que generan una mezcla constante de los componentes atmosféricos. A esta zona más baja de la atmósfera se la denomina **capa de mezcla**.

Del conjunto de contaminantes atmosféricos que pueden afectar de una u otra forma el medio ambiente, solamente se miden para su control un grupo de ellos que se consideran fundamentales. Los limitaremos por lo tanto al estudio de los siguientes contaminantes.

- a) Contaminantes fotoquímicos



- Hidrocarburos no metano (HCNM); contaminante primario.
 - Oxidos de nitrógeno, (NO) contaminante primario, y (NO₂) contaminante secundario.
 - Oxidantes fotoquímicos. Ozono (O₃); contaminante secundario.
- b) Dióxido de azufre (SO₂); contaminante primario.
- c) Monóxido de carbono (CO); contaminante primario.
- d) Material particulado en suspensión con diámetro menor de 10 μm (PM₁₀); contaminante primario y secundario. En casos particulares se mide, además, específicamente plomo (Pb).

Es de destacar que al analizar los efectos de los contaminantes mencionados, es importante considerar las interacciones entre ellos y la influencia que la presencia de uno tiene sobre otros.

1.6.1 Contaminantes Sulfurados

- Óxido de azufre SO₂ :

El dióxido de azufre (SO₂) se genera por oxidación del azufre contenido en los combustibles al quemarse estos. Actualmente su nivel tiende a bajar dado que se exigen combustibles con bajo contenido de azufre. Como el SO₂ es soluble en agua, interacciona física y químicamente con la humedad ambiente. Reacciona fotoquímica y catalíticamente con otros componentes de la atmósfera. La cinética de las reacciones son complejas, algunas de las cuales no son entendidas. El SO₂ puede ser catalíticamente oxidado a SO₃ en presencia de óxidos de nitrógeno. El SO₃ luego convierte óxidos básico a sulfato. La tasa de oxidación de SO₂ a sulfatos varía de 0,17 % / hora a 50 % / hora, dependiendo de la humedad relativa y la presencia y concentración relativa de otros contaminantes. La tasa es típicamente más rápida en zonas urbanas. El SO₂ puede ser foto oxidada a ácido sulfúrico (H₂SO₄) en aerosol en la presencia de vapor de agua y más rápidamente cuando está presente hidrocarburos, dióxido de nitrógeno o compuestos de hierro o de manganeso. Debido a las interacciones complejas del SO₂ con otros contaminantes es muy difícil determinar tiempo de residencia y vida media. En general la vida media va de una hora a varios días. La vida media más corta es característica del SO₂ urbano donde existen muchos otros contaminantes. Un decaimiento exponencial con una vida media de tres horas es típica de una ciudad. Se ha encontrado que el océano es el mayor sumidero de SO₂

El dióxido de azufre, por su carácter ácido, tiene efectos irritativos sobre las vías respiratorias, creando problemas de bronquitis obstructiva. Al encontrarse en presencia de partículas en suspensión, la sinergia producida por ambas sustancias aumenta su agresividad. Su solubilidad en agua y posible transformación a ácido sulfúrico, así como su propio carácter ácido, permiten que origine problemas puntuales en regiones de alta sensibilidad del sistema respiratorio.



La temperatura en un punto dado tiene un pequeño efecto directo sobre la concentración de SO_2 . Sólo gradientes de temperatura, principalmente en el sentido vertical, tienen alguna influencia. Sin embargo, la temperatura ambiente puede influenciar la emisión de SO_2 (en realidad su producción), sobre todo cuando se quema combustibles para calefacción. También si la generación de electricidad es fundamentalmente térmica, los requerimientos de refrigeración en verano influyen en la emisión de SO_2 .

- Gas incoloro, no flamable y no explosivo
- Tiene sinergia con las partículas en suspensión.
- Resulta de la reacción del azufre o de los materiales que lo contienen con el oxígeno.(minerales sulfurosos, combustibles)



- Se convierte a trióxido de azufre o ácidos sulfúricos y a sus sales mediante procesos fotoquímicos o catalíticos en la atmósfera. El trióxido de azufre forma ácido sulfúrico con la humedad del aire.
 - Produce una sensación gustatoria a concentraciones de 0.3 a 1.0 ppm en el aire.
 - A concentraciones mayores a 3.0 ppm, el gas tiene un olor acre e irritable.
- **Sulfuro de hidrógeno H_2S :**
 - Es un gas a temperatura ambiente, incoloro y de olor desagradable (huevos podridos).
 - Se encuentra en concentraciones casi despreciables en la atmósfera.
 - Las principales fuentes productoras de H_2S son las refinerías de petróleo, fabricas de conservas y harina de pescado, etc.
 - Es susceptible a reaccionar y a transformarse en otros compuestos sulfurados como los mercaptanos u otros sulfuros.

1.6.2 **Contaminantes Carbonados**

- **Monóxido de Carbono CO :**

El monóxido de carbono (CO) se produce por la oxidación incompleta del carbono en el proceso de combustión. En general esto ocurre en los automotores, dado que en las industrias y en las centrales térmicas se controla que la oxidación sea total, generando CO_2 pues es la forma de obtener el mayor rendimiento térmico de los hidrocarburos, o sea hay un aspecto económico por medio; el CO_2 no es dañino para el ser humano, si bien produce otros efectos como el invernadero. La producción de CO_2 es inevitable, dado que es inherente al proceso mismo de oxidación del combustible, pero la generación de CO puede ser reducida al máximo con un control adecuado de la combustión.



El monóxido de carbono actúa por asociación con la hemoglobina de la sangre, formando carboxihemoglobina, reduciendo ostensiblemente la oxigenación debido a que el CO es 210 veces más reactivo que el oxígeno con la hemoglobina. Por lo tanto se observa una disminución en el transporte de oxígeno por la sangre hacia las células del cuerpo humano. Cuando la concentración de CO supera las 120 ppm, se puede producir pérdida de reflejos, dolores de cabeza, náuseas, vómitos, y si persiste puede llevar a la muerte.

- Es un gas incoloro, inodoro e insípido, es combustible, más ligero que el aire.
 - Es un subproducto de la combustión de compuestos orgánicos, generalmente hidrocarburos, en condiciones de escasas de oxígeno.
 - Tiene una toxicidad alta ya que presenta gran afinidad por la hemoglobina de la sangre.
 - Su difusión en la atmósfera es muy rápida, por lo que las concentraciones elevadas son de una duración muy corta.
- **Dióxido de Carbono CO₂:**
 - Es un gas incoloro e inodoro más denso que el aire.
 - Se forma en la combustión de cualquier sustancia que contenga carbono.
 - Puede producir asfixia por desplazamiento del oxígeno atmosférico.
 - La concentración ambiental está ligada a la fotosíntesis y ejerce una acción sobre la temperatura media de la atmósfera por absorción de determinadas radiaciones solares (efecto invernadero).

- **Hidrocarburos HCNM:**

El **metano no se considera un contaminante importante** porque no reaccionar apreciablemente para formar compuestos dañinos. La característica más importante de los demás hidrocarburos desde el punto de vista de la contaminación, es su habilidad para reaccionar con otros compuestos produciendo contaminantes dañinos secundarios.

El análisis del aire por contaminantes individuales de hidrocarburos no metano (HCNM) revela la presencia de numerosos compuestos diferentes por lo que es muy difícil de especificar un grupo de características definidas de "hidrocarburos". Para nombrar algunos, dentro de los HC emitidos al aire por lo procesos de combustión, se encuentran los HC alifáticos o aquellos que sólo tienen enlaces simples y las olefinas o hidrocarburos con uno o más enlaces dobles, además de otras sustancias orgánicas como aldehídos, cetonas, e hidrocarburos aromáticos policíclicos. Los métodos de referencia para la determinación de hidrocarburos definen como de interés a los compuestos que pasan a través de un filtro con una porosidad de 3 a 5 μm y que produce una señal en un detector de llama ionizante ⁽¹⁾.

(1) Lawrence Berkeley Laboratory (LBL), 1973: Instrumentation for Environmental Monitoring. NSF Grant No. AG-271, Environmental Instrumentation Laboratory, Berkeley, CA.



Un resumen de las reacciones complejas por lo cual aparecen oxidantes a partir de HCNM es el siguiente. El punto de partida es el dióxido de nitrógeno (NO_2), un producto formado por oxidación del monóxido de nitrógeno (NO) el cual es producido durante la combustión. En ausencia de hidrocarburos, el NO_2 es disociado por la luz solar produciendo NO y un átomo de oxígeno. Este último se combina con oxígeno molecular para dar ozono (O_3) el cual no se acumula puesto que se combina con el NO para producir nuevamente NO_2 . El proceso es continuo y se establece una concentración de equilibrio de cada especie. La concentración de oxidante fotoquímico aumenta cuando el estado de régimen del ciclo fotolítico del NO_2 es roto por los HCNM, que reaccionan con agentes oxidantes como radicales OH u oxígeno atómico para dar otras especies radicales, que reaccionan a su vez con el NO y desbalancean el ciclo. La concentración de ozono aumenta al encontrar menor cantidad de NO libre para reaccionar. Una de las especies químicas que se origina en la reacción de los HCNM con el NO es el nitrato de peroxiacetilo (PAN), compuesto relativamente estable y de elevado poder oxidante. Es el responsable de la típica irritación en los ojos en situaciones de “smog” ⁽²⁾ intenso.

En general los HCNM no presentan efectos nocivos sobre la salud al nivel de concentraciones que se encuentran en el aire. Sin embargo, los hidrocarburos que tienen incorporado oxígeno a su estructura molecular, como en el caso de aldehídos, cetonas y algunos ácidos orgánicos sustituidos, por lo general son perjudiciales al ser humano.

Las sustancias aromáticas como el benceno tienen alto poder cancerígeno, así como otras sustancias cíclicas con anillos bencénicos.

- Proviene principalmente de la combustión incompleta, así como de la evaporación de los derivados del petróleo.
- Como subproducto de la combustión de carburantes también aparece un polvo que contiene alquitranes en su composición; estos alquitranes son altamente peligrosos ya que vienen acompañados de sustancias cancerígenas del tipo benzopirenos.

1.6.3 **Contaminantes Nitrogenados**

- **Óxidos de Nitrógeno:**

El monóxido de nitrógeno (NO) es formado en el quemado de combustibles fósiles por oxidación del nitrógeno del aire. No hay evidencia que el NO sea dañino para la salud en las concentraciones normalmente encontradas en la atmósfera. La importancia de conocer su concentración en el aire ambiente, y su relación con la calidad de este, se debe a que frecuentemente el NO es oxidado formando dióxido de nitrógeno (NO_2). El NO_2 no sólo es tóxico, sino

⁽²⁾ El término smog proviene de las palabras inglesas “smoke” (humo) y “fog” (niebla) y se emplea para describir el fenómeno en la ciudad debido al estancamiento de las masas de aire producido por la inversión térmica que incrementa los niveles de residuos.



también corrosivo y altamente oxidante. Pequeña cantidad de NO_2 , usualmente menor que décimas por ciento, son formadas directamente durante la combustión a temperatura elevada. Menos del 10 % del NO_2 se forma por oxidación directa del NO en el corto intervalo entre la eyección de NO como un producto de la combustión y el tiempo en que este diluye su concentración debajo de 1 ppm. La mayoría del NO_2 que se encuentra en la atmósfera resulta por la oxidación del NO en presencia de luz solar, ozono e hidrocarburos. Otros óxidos del nitrógeno no son considerados por su baja concentración en la atmósfera y por no reaccionar fotoquímicamente.

Antes de la salida del sol las concentraciones de NO y NO_2 permanecen relativamente constantes. Cuando aumenta la actividad urbana de las 6 a las 8 horas de la mañana, la concentración de contaminantes primarios, CO y NO , aumenta dramáticamente. Luego, por aumento de la radiación solar ultravioleta, aumenta la concentración de NO_2 a partir del NO . Cuando la concentración de NO cae a niveles muy bajos (menor del 0,1 ppm) los oxidantes fotoquímicos comienzan acumularse y alcanzan un pico al mediodía. El aumento del tráfico de automotores por la tarde causa un nuevo aumento en la concentración de NO . Aún en la ausencia de luz solar, se continúa formando el NO_2 a partir del NO por acción del ozono, hasta que el aporte del O_3 se agota.

Al igual que el SO_2 , el dióxido de nitrógeno es otro de los contaminantes gaseoso que poseen carácter ácido. Su acción se manifiesta mediante la descomposición del NO_2 con la humedad presente en el sistema respiratorio, transformándose en ácido nítrico (HNO_3) y nitroso (HNO_2). Dado que el NO_2 no es muy soluble en agua pasa a través de la tráquea y bronquios, relativamente secos, alcanzando el área húmeda de los pulmones (los alvéolos) donde forma los ácidos mencionados, ambos irritantes y corrosivos para la cubierta mucosa de los pulmones.

- Los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) se forman naturalmente en la atmósfera por combinación a altas temperaturas del oxígeno y el nitrógeno. (Erupciones volcánicas, tormentas).
- Las grandes emisiones de óxidos de nitrógeno provocadas por el hombre provienen de los motores de combustión interna de los automóviles y de las grandes centrales térmicas.
- El NO_2 absorbe la luz visible y a una concentración de 0.25 ppm causará apreciable reducción de la visibilidad.
- El NO_2 puede reaccionar con la humedad presente en la atmósfera para formar ácido nítrico.

1.6.4 Ozono

Los oxidantes son definidos como las sustancias atmosféricas que reaccionan específicamente oxidando. El más abundante de esos oxidantes es el ozono (O_3). Por esta razón, el término oxidante y ozono son frecuentemente usados en forma indistinta. El ozono no es directamente emitido a la atmósfera, sino que es un



contaminante secundario formado por una variedad de reactivos atmosférico. El ozono interacción con el ambiente más que cualquier otro contaminante ambiental. Reacciona con otros contaminantes, con vegetales, etc. y es fácilmente destruido en esas reacciones. La reacción del ozono con el NO causa que la concentración de O₃ en la cercanía de autopistas o caminos de gran circulación de vehículos sea mucho menor que el que se encuentra en otros lugares.

La formación de oxidantes está afectada por la intensidad y duración de la luz solar, la temperatura, y los procesos de emisión y dilución que afectan la concentración en la atmósfera de los otros participantes en las reacciones fotoquímicas. La relación entre las emisiones primarias de NO y HCNM y la subsiguiente formación de ozono atmosférico es difícil de cuantificar. La lenta formación y el transporte de contaminantes secundarios tienden a producir una gran separación, espacial y temporalmente, entre las principales fuentes de emisión y las áreas de elevada concentración de contaminantes oxidantes.

Existen pocas fuentes de producción primaria de ozono, usualmente vinculadas con descarga eléctrica. En general, no se observa contribución importante en la concentración urbana, excepto en las vecindades inmediata de donde se produce. El ozono puede también crecer en la superficie por el proveniente de la estratosfera donde es formado por foto disociación de oxígeno y recombinación a ozono. La acumulación de ozono ha sido frecuentemente observada dentro de la capa de inversión sobre áreas urbanas y rurales. Procesos de convección pueden traer esas capas elevadas a la altura de suelo.

Aparte de otros contaminantes, el índice de peligrosidad de una atmósfera urbana se acostumbra a medir en función de los niveles de ozono presente. Existe una cierta variación de los niveles de ozono en la atmósfera urbana durante el día, que refleja la actividad propia de la ciudad. Los niveles de ozono comienzan a aumentar por la mañana, en el inicio de la actividad urbana, alcanzándose las concentraciones máximas cerca del mediodía, un par de horas después de que se registren los niveles más altos de NO₂ y de hidrocarburos en la atmósfera. A partir del medio día la concentración de ozono disminuye a causa de ciertas reacciones químicas, como la transformación de NO a NO₂ y determinados hidrocarburos a aldehídos, en las que el ozono manifiesta su gran poder oxidante. Los niveles más bajos de ozono se observan durante la noche, puesto que reacciona con el NO₂ presente en la atmósfera dando radicales NO₃ muy reactivos. Estos radicales oxidan el NO a NO₂ y se combinan con otros NO₂ para dar N₂O₅, inestable, que reacciona con el vapor de agua dando ácido nítrico, responsable de la acidez de las nieblas matutinas urbanas.

El ozono afecta a la salud humana a través de la alta reactividad que muestra en presencia de compuestos orgánicos con doble enlace, como por ejemplo proteínas y elementos constitutivos de las células. Esto conduce a transformaciones químicas que pueden dar lugar a mutaciones a nivel celular, cuando esta sustancia penetra al organismo a través de las vías respiratorias. Es uno de los contaminantes de mayor estudio en el campo epidemiológico por sus efectos nocivos sobre la salud humana.



- ✓ Se genera en el ambiente como resultado de diversas reacciones fotoquímicas en las que participan el dióxido de nitrógeno, el oxígeno y la luz ultravioleta (luz UV)
- ✓ Es un gas de color azulado y de olor picante.
- ✓ En condiciones de fuerte insolación y de smog oxidante, su concentración aumenta.
- ✓ Las concentraciones a nivel del suelo son muy pequeñas ($40 - 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- ✓ Su origen es Artificial por descargas eléctricas, radiaciones X, radiaciones UV y arcos voltaicos

1.6.5 Material Particulado en Suspensión

El material particulado en suspensión (PM) como un contaminante del aire incluye una amplia clase de sustancias líquidas o sólidas con una variedad de propiedades físicas y químicas. Una característica importante es su tamaño, dado que partículas grandes no son colectadas por el sistema respiratorio del ser humano por lo que no son consideradas dañinas a la salud. Las partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a $10 \mu\text{m}$, usualmente mencionada como PM_{10} , pueden penetrar las vías respiratorias y llegar a los pulmones, depositándose en las paredes alveolares.

A causa de su irregularidad en forma, densidad, composición y estructura, el material particulado es caracterizado convenientemente por su **diámetro aerodinámico equivalente**. Partículas teniendo la misma velocidad de caída son definidas como teniendo el mismo diámetro aerodinámico equivalente, el cual por conveniencia se especifica como el diámetro de una esfera con densidad unidad que tiene esa velocidad de caída. Cuando son considerados los efectos de las partículas sobre la visibilidad o la dispersión de la luz, puede ser necesario emplear una definición más relacionada con el tamaño físico real de las mismas.

El principal daño a la salud del material particulado es por su deposición en el sistema respiratorio. Los aerosoles atmosféricos que contienen material con diámetro hasta $10 \mu\text{m}$ varían en distribución de tamaño y composición química. Se puede considerar tres tamaños:

- a) Las partículas más pequeñas, con diámetro $< 0,1 \mu\text{m}$, tienen vida corta y frecuentemente se observan como una clase distinta cerca de la fuente de combustión; se denominan modo núcleo. El modo núcleo pequeño (Aitken) crece rápidamente por coagulación en la clase superior.
- b) Las partículas de tamaño medio (diámetro de $0,1$ a $2,5 \mu\text{m}$) son formadas principalmente por coagulación y condensación de vapor sobre las partículas modo núcleo.
- c) Las partículas más grandes de modo tamaño grueso (diámetro $>2,5 \mu\text{m}$) generalmente forman la mayoría de la masa e incluye partículas formadas por procesos antropogénicos y partículas de superficie.

Las dos primeras se denominan partículas finas y las mayores partículas gruesas. Las partículas finas resultan principalmente de procesos de combustión, incluyendo



la condensación y transformación atmosférica de gases de escape para formar PM. Procesos mecánicos y erosión del viento producen partículas gruesas.

Las partículas finas típicamente consisten de sulfatos, nitratos, carbonatos orgánicos, amonio y plomo, mientras que las partículas gruesas están constituidas típicamente de óxidos de silicio, hierro, aluminio, sal del mar, partículas de cubiertas de automotores, y partículas de plantas.

Las fuentes naturales de emisión de partículas son pulverización del mar, incendios, emanaciones biogenéticas, y volcanes. La mayoría de las emisiones producidas por el hombre son fugas desde rutas o calles (pavimentadas o no), actividades de construcción, agricultura, actividades mineras e industrial. La mitad del material particulado urbano está formado por negro de grafito procedente de la combustión de carburantes fósiles, principalmente en automotores, sobre todo los que funcionan con motor Diesel. También contribuyen a su formación los calefactores domiciliarios, las centrales térmicas y las industrias que operan con fuel oil o carbón.

Como mencionamos, las PM_{10} pueden penetrar las vías respiratorias y llegar a los pulmones. La distinta solubilidad de las partículas, según su carga química, determinará su transferencia a la sangre. La deposición de partículas en el sistema respiratorio depende de tres fuerzas física:

- a) *Fuerzas inerciales*: Son las causales de deposición en la nasofaringe. La inercia es muy importante en los grandes conductos del sistema respiratorio, especialmente cuando se requiere respiración rápida forzada. Su importancia decrece mientras más adentro del sistema respiratorio se encuentren las partículas.
- b) *Sedimentación gravitacional*: Es proporcional a la velocidad de deposición de la partícula y al tiempo disponible para sedimentar. Como la velocidad decrece en los conductos estrechos del sistema, el efecto gravitacional se ve aumentado.
- c) *Difusión*: En el caso de partículas finas, la fuerza más importante es la de difusión y conduce a una sedimentación o depósito en las paredes de los ductos finos del sistema, como es el espacio alveolar. Esta fuerza es una magnitud significativa para partículas de diámetro superior a $0,5 \mu\text{m}$.

La acidez inherente a las partículas urbanas puede provocar la irritación de las membranas mucosa y conducir a una constricción bronquial. La función irritante de las partículas no es función sólo de la naturaleza de las mismas, sino también de la facilidad de absorber o adsorber otras sustancias en la superficie de ellas, que en ciertas ocasiones da lugar al denominado sinergismo ⁽³⁾. Un ejemplo típico se observa cuando las partículas se encuentran en presencia de SO_2 en el aire. Otro ejemplo lo presenta los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) que en algunos casos no son agentes mutagénicos, pero se comportan como tales cuando están en presencia de otros HAP.

(3) Efecto sinérgico es el fenómeno que presentan algunas sustancias que al encontrarse en presencia de otras incrementan su agresividad frente al medio que los rodea.



Otras sustancias que están presentes en el material particulado son el plomo, arsénico, cadmio, mercurio, ácido sulfúrico y sulfatos. El plomo, emitido a causa de la combustión de gasolina que incorporan como aditivo tetraetilplomo u otros compuestos orgánicos de plomo, es una de las partículas metálicas que más presente se encuentra en la atmósfera urbana. El plomo en el interior del organismo interfiere en el proceso de maduración de las células rojas de la sangre, así como también induce la excreción, a través de la orina, de porfirinas, que son sustancias precursoras de la hemoglobina. Se acumula en los huesos y tejidos, produciendo alteraciones nerviosas y reducción de la función renal. Por esa razón se suele medir su concentración en aire por separado.

Las partículas sólidas en suspensión actúan de agentes de condensación del vapor de agua presente en la atmósfera. Por ello, el material particulado puede participar en procesos químicos que ocurren en la atmósfera urbana, actuando incluso de catalizadores. Por ejemplo, los óxidos de azufre y nitrógeno se transforman rápidamente a ácidos sulfúrico y nítrico, respectivamente, en la superficie de las partículas, las cuales actúan de catalizador del proceso. El material particulado favorece así la formación de nieblas ácidas que acostumbran a estar presente en los núcleos urbanos muy contaminados.

Actualmente la concentración de MP10 es empleada como indicador de calidad de aire ambiente, en reemplazo del material particulado en suspensión total que se empleaba anteriormente.

1.6.6 Metales Pesados

Distintos metales han sido detectados en concentraciones pequeñas en la atmósfera. Los más abundantes son calcio, aluminio, plomo y hierro. En proporciones más pequeñas se encuentran sodio, potasio, vanadio, magnesio, cobre, cromo y manganeso.

1.6.7 Contaminantes Peligrosos del Aire

Los contaminantes peligrosos son compuestos cancerígenos que pueden causar efectos serios e irreversibles en la salud.

Se tiene al asbesto, cloruro de vinilo, benceno, arsénico, berilio, mercurio, radón y radionucleidos diferentes al radón.

1.6.8 Emisión e Inmisión de los contaminantes

Emisión

Es la totalidad de sustancias que pasan a la atmósfera después de dejar las fuentes que las producen, como: gases de escape de los automóviles, los humos de las chimeneas, vapores de diversos productos industriales.

Inmisión

Es la permanencia de los compuestos de forma continua o temporal en la atmósfera a nivel del suelo. La idea de inmisión coincide con la de concentración



de los contaminantes en el ambiente gaseoso, en puntos suficientemente alejados de las fuentes como para no poder discernir cuál de ellas es la causante de los niveles de contaminación alcanzados, salvo casos de una sola fuente.

1.7 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN

Existe evidencia real que la contaminación del aire afecta la salud de las personas, animales, daña la vegetación, ensucia y deteriora los materiales, afecta el clima, reduce la visibilidad y la radiación solar, perjudica los procesos de producción, aumenta los riesgos, en general dificulta el disfrute de la vida y de las cosas.

Los contaminantes del aire pueden afectar las propiedades atmosféricas de las maneras siguientes:

- Reducción de la visibilidad
- Formación y precipitación de neblina
- Reducción de la radiación solar

1.7.1 Sobre los materiales:

Los contaminantes atmosféricos pueden afectar los materiales, ensuciándolos o deteriorando su composición química. Elevadas concentraciones de humo y partículas están asociadas con el ensuciamiento de la ropa y de las estructuras, y partículas ácidas que contengan azufre corroen materiales tales como la pintura, los contactos eléctricos y los tejidos. El ozono es particularmente eficaz en deteriorar el caucho.

1.7.2 Sobre la vegetación:

Los contaminantes conocidos como fitotóxicos son el dióxido de azufre, el nitrato de peroxiacetileno y el etileno. En general, los contaminantes gaseosos penetran en la planta por el estoma, junto con el aire necesario durante el proceso normal de respiración de la planta. Una vez en la hoja de la planta, los contaminantes destruyen la clorofila e interrumpen la fotosíntesis. Los daños pueden variar desde una reducción en la velocidad de crecimiento hasta su muerte por completo.

1.7.3 En los animales:

Los animales domésticos más afectados son el ganado vacuno, animales de corral y pájaros.

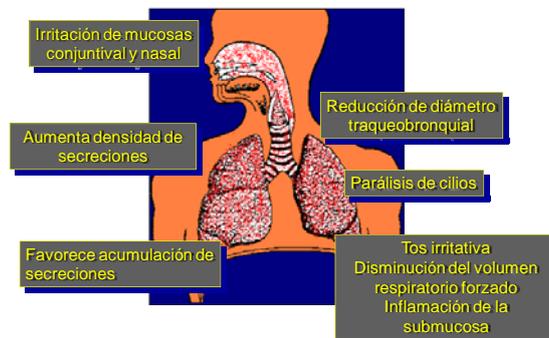
El mecanismo de acción de los contaminantes es doble: un determinado número de animales soportan una agresión directa por inhalación de productos tóxicos, por ingerir vegetales impregnados de diferentes contaminantes, pudiendo llegar a influir en su fecundidad o productividad

1.7.4 Sobre la salud Humana:

Los contaminantes penetran en el cuerpo humano a través del sistema respiratorio:

- Las partículas grandes son filtradas por los pelos del conducto nasal y la tráquea, la otras se precipitan hacia los pulmones.
- Otras partículas son interceptadas también por los pelitos finos que tapizan las paredes de todo el sistema respiratorio, ahí son retenidas hacia la garganta, donde son eliminadas por deglución.
- La mayoría de las partículas de tamaño superior a 5 micras son eliminadas por el sistema respiratorio superior.
- Las partículas de radio inferior y mayores a 1 micra, se depositan en las paredes de los bronquios inmediatamente después de la bifurcación del árbol bronquial.
- Las partículas de radio inferior a 1 micra están influidas por el movimiento browniano (movimiento rápido e irregular causado por las colisiones de la partícula con moléculas de aire). Cuando las partículas son demasiado grandes para ser afectadas por este movimiento y demasiado pequeñas para ser retenidas en la parte superior del pulmón, pueden penetrar profundamente en el pulmón.

Efectos de los Contaminantes en el Aire



1.8 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE





1.9 FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Se define como fuente contaminante a cualquier dispositivo o instalación, estática o móvil, que vierte de forma continua o discontinua sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, que generan una modificación del medio natural

Las fuentes de contaminación se clasifican según:

1.9.1 Origen

Las fuentes de contaminación **según su origen** pueden clasificarse en:

- **Fuentes Naturales**

Su origen está vinculado al dinamismo de la Naturaleza.

- Erosión del Suelo.
- Descomposición de Materia Orgánica.
- Radiación Natural.
- Sal Marina.
- Erupciones Volcánicas.
- Incendios Forestales, etc

- **Fuentes Antropogénicas**

Tienen su origen en las actividades desarrolladas por el hombre.

- Residuos Gaseosos Domésticos.
- Residuos Industriales.
- Residuos del Parque Automotor.
- Costumbres.
- Residuos Radiactivos.

1.9.2 Localización

Las fuentes de contaminación **según su localización** pueden clasificarse en:

- **Fuentes estacionarias:**

El foco o zona emisora es estático. Ej. Cualquier industria contaminante.

- **Fuentes móviles:**

La fuente no está localizada en un lugar concreto, sino que su situación va cambiando constantemente. Ej. Los automóviles



1.9.3 Extensión

Considerando **la extensión** que abarca a todos los puntos de emisión, se puede dividir en tres grupos:

- Fuentes puntuales:

La emisión es localizada en un lugar muy preciso, de dimensiones no muy grandes.

- Fuentes lineales:

Todos los puntos emisores describen una línea, que vendría a ser una sucesión de fuentes puntuales. Ej. Una autopista.

- Fuentes superficiales:

Cuando las fuentes puntuales están repartidas en zonas algo extensas, la contaminación de la atmósfera no puede atribuirse a un solo foco, sino a una distribución regular de los puntos emisores. Ej. Las grandes ciudades.

1.10 FACTORES METEOROLÓGICOS

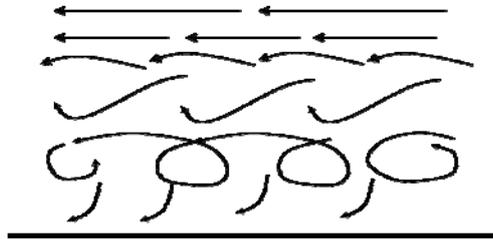
La contaminación del aire es un fenómeno que está sujeto totalmente a las corrientes atmosféricas. El viento puede transportar a los contaminantes a muchos kilómetros de su punto emisor, extendiéndose por amplias regiones. Asimismo las condiciones de radiación solar y humedad, pueden favorecer o desfavorecer la formación de contaminantes secundarios.

1.10.1 Vientos y características

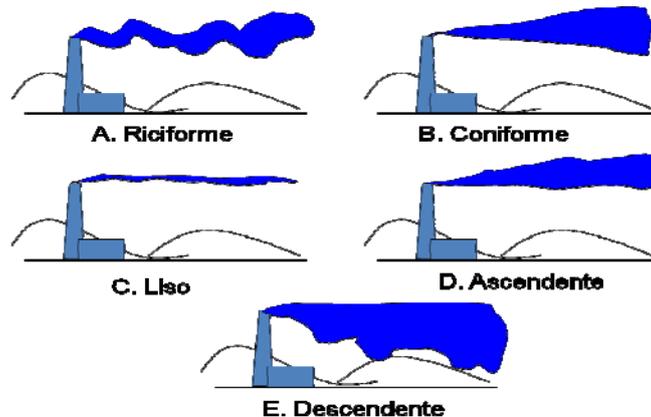
Se define al viento como el aire en movimiento prácticamente horizontal; con este movimiento tienden a igualarse las diferencias laterales de temperatura, humedad y presión que pueden producirse en la atmósfera, aunque tal igualación nunca se alcanza, el viento logra mantener tales diferencias en un estado promedio. El viento es un factor regulador de la atmósfera.

Características de movimiento de los vientos

- El movimiento es prácticamente horizontal.
- Las columnas de aire en movimiento vertical se denominan corrientes.
- La cantidad de aire que se desplaza verticalmente es despreciable frente a la que transporta el viento.
- A bajos niveles, el viento es notablemente afectado por el rozamiento que experimenta en superficie inferior, así como por la convección térmica, cuando la superficie está más caliente que el aire. Este fenómeno provoca turbulencias con remolinos.
- La turbulencia aumenta con al rugosidad del suelo.



1.10.2 Comportamiento de Penachos



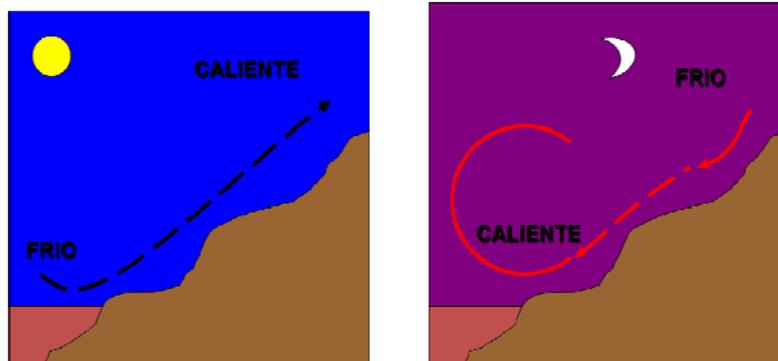
- A. Riciforme
La Estela o penacho adopta una forma de rizo. El flujo es muy turbulento. Es propio de los días soleados y dispersa bien los contaminantes
- B. Coniforme
El penacho tiene forma de cono. Condiciones de flujo moderadamente turbulento. Puede alcanzar mayores distancias que el anterior, pero su grado de difusión de contaminantes es menor. Se suele dar con vientos moderados o intensos.
- C. Liso
Movimiento laminar del viento. Cuando se da en una zona de inversión térmica, el penacho queda confinado en ella y, cuando se rompe dicha inversión, se puede producir la precipitación del contaminante.
- D. Ascendente
La turbulencia se manifiesta por encima del punto emisor. Este movimiento es muy característico a la puesta del sol. Ofrece buena dispersión.
- E. Descendente
La turbulencia se desarrolla de manera inversa que en el caso ascendente, llegando a entrar en contacto con el suelo. Movimiento muy característico al amanecer.

Topografía

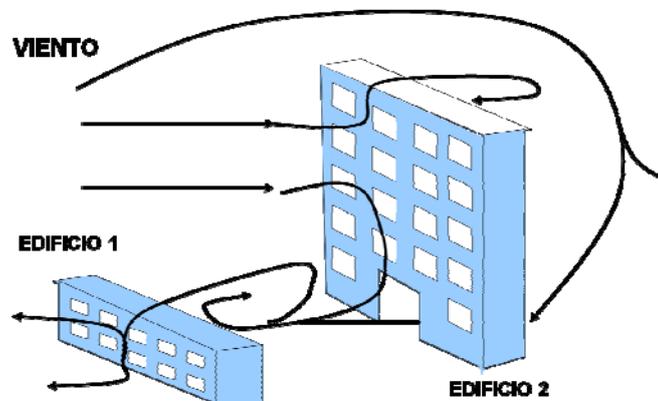
Las condiciones del suelo son determinantes en la difusión de contaminantes en la atmósfera, pues canalizan y dirigen las corrientes de aire superficiales que transportan los poluentes.

Asimismo es importante conocer la presencia de obstáculos artificiales como edificios altos o el conocimiento de la rugosidad del suelo.

Movimiento de masas de aire en el día y en la noche

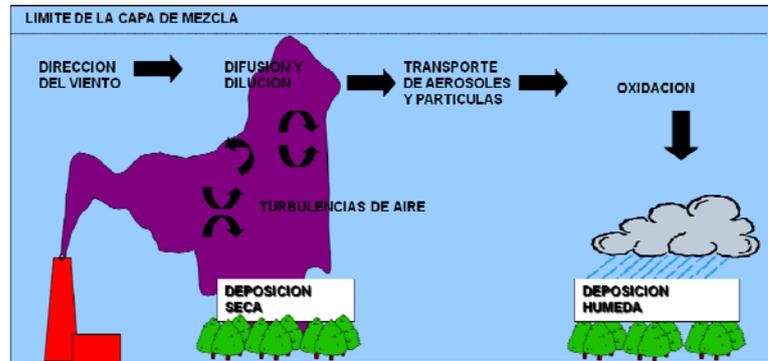


Topografía



1.10.3 Precipitación

Las precipitaciones ejercen, en principio, un efecto beneficioso para la calidad del aire al disolver gases y precipitar partículas en suspensión, sin embargo al variar la concentración de ciertas sustancias en la atmósfera, llega a producir un efecto contraproducente aumentando la acidez de la lluvia.



1.10.4 Radiación Solar

La cantidad real de energía solar recibida por un área de superficie es una función compleja de la posición, la estación climática, la hora del día y de la composición de la atmósfera sobre la superficie. La energía solar que llega a la tierra es irradiada por este al espacio, gran parte de esta irradiación es absorbida por el vapor de agua y el CO_2 .

1.10.5 Temperatura

La temperatura constituye un elemento fundamental del tiempo; a consecuencia de la irregular distribución de la energía solar (insolación), la temperatura del aire presenta grandes variaciones, y estas, a su vez determinan otros significativos cambios de tiempo.

La variación de la temperatura se presenta de tres formas:

- Variaciones Diurnas y Estacionales
- Variación Horizontal
- Variación Vertical

En las Variaciones Diurnas y Estacionales, la temperatura máxima tiene lugar en las primeras horas de la tarde, y la mínima un poco antes de la salida del sol.

La variación horizontal de la temperatura se presenta del ecuador a los polos. La temperatura desciende conforme se aumenta la latitud, debido a la creciente inclinación de los rayos solares motivada por la curvatura de la tierra.

Al ascender a alturas cada vez mayores se van registrando temperaturas cada vez más bajas. Este descenso de temperatura por la altura se denomina gradiente térmico vertical.

Existen tres razones fundamentales:

- El mayor foco de calor, para el aire, es la superficie terrestre, por lo que al aumentar la distancia, disminuye el calor.
- La densidad del vapor de agua disminuye con la altura, por lo que se tiene menor capacidad de retención de calor.



- El descenso de temperatura del aire resulta como consecuencia de la expansión del aire ascendente desde el suelo

Inversión de Temperatura

Ocasionalmente, en alguna cota de la atmósfera, la temperatura experimenta un brusco aumento, en lugar de disminuir. Esto ocurre solamente cuando una capa de aire caliente se extiende por encima de otra de aire más frío. La condición en que dicho brusco aumento se presenta se denomina Inversión Térmica.

La inversión se puede presentar por los siguientes motivos:

- Si el aire junto al suelo se enfría más rápidamente que el que está por encima, en virtud de que cede calor al suelo que está más frío.
- Cuando una capa de aire caliente se desliza por encima de otra capa de aire más frío.
- En virtud de la turbulencia.

2. NORMATIVA NACIONAL

2.1 NORMAS DE ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL.

- D.S. N° 003-2008-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire.
- D.S. N° 010-2005-PCM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Radiaciones No Ionizantes
- D.S. N° 009-2005-CONAM/CD, Reglamento para la Aplicación de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Radiaciones No Ionizantes.
- D.S. N° 085-2003-PCM, Aprueban Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido.
- D.S. N° 069-2003-PCM, Establecen Valor Anual de Concentración de Plomo.
- D.S. N° 074-2001-PCM. Aprueban el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aire.

2.2 NORMAS DE LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL SECTOR ENERGÍA Y MINAS

- Decreto Supremo N° 025-2005-EM, Aprueban Cronograma de Reducción Progresiva del Contenido de Azufre en el Combustible Diesel N° 1 y 2.
- D.S. N° 041-2005-EM, Modificación del D.S. N° 025-2005-EM que aprueba el Cronograma de Reducción Progresiva del contenido de Azufre en el Combustible Diesel N° 1 y 2.
- R.M. N° 315-96-EM/VMM, Aprueban Niveles Máximos Permisibles de elementos y Compuestos presentes en Emisiones Gaseosas provenientes de las Unidades Minero Metalúrgicas.
- Decreto Supremo N° 013-2005-EM, Aprueban Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles.



2.3 NORMAS DE LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL SECTOR TRANSPORTE Y COMUNICACIONES

- D.S. N° 038-2003-MTC, Establecen Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones.
- D.S. N° 047-2001-MTC, Establecen Límites Máximos Permisibles de Emisiones Contaminantes para Vehículos Automotores que Circulen en la red Vial.

2.4 NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE DEL SECTOR SALUD.

- Decreto Supremo N° 009-2003-SA, Aprueban el Reglamento de los Niveles de Estados de Alerta Nacionales para Contaminantes del Aire.

2.5 NORMAS DE LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL MINISTERIO DE PRODUCCIÓN.

- Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE, Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las Actividades Industriales de Cemento, Cerveza, Curtiembre y Papel.

2.6 NORMAS AMBIENTALES DE LA PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS – PCM

- Decreto Supremo N° 012-2005-PCM, Dejan en Suspenso Aplicación del Acápite II del Anexo N° 1 del D.S. N° 047-2001-MTC.

2.7 NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL DEL CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE

- Decreto de Consejo Directivo N° 015-2005-CONAM/CD, Aprueban la Directiva para la Aplicación del Reglamento de los Niveles de Estado de Alerta Nacionales para Contaminación del Aire.
- Resolución Presidencial N° 089-2005-CONAM/PCD, Programa Anual Mayo 2005-Abril 2006, para Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles.

3. RED DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE

3.1 DEFINICIÓN

La vigilancia de la calidad del aire se efectúa a través del Monitoreo Atmosférico, mediante el cual se muestrea, analiza y procesa en forma continua las concentraciones de sustancias o de contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado.

3.2 OBJETIVOS

- Establecer bases científicas para políticas de desarrollo.

- Establecimiento de Estándares de Calidad del Aire.
- Determinar la congruencia con las normas y los criterios legales.
- Evaluación de los Efectos de la Contaminación sobre el hombre y el Medio Ambiente.
- Estudio y Evaluación de las Interacciones y Comportamiento de los Contaminantes.
- Elaboración de Estrategias de Combate a la Contaminación.
- Proporcionar información de fuentes y riesgos de contaminación.
- Informar al público acerca de la calidad del aire.
- Llevar a cabo evaluaciones de tendencias a largo plazo.
- Activación de los Procedimientos de Urgencia para prevenir Episodios Agudos de Contaminación Atmosférica.
- Planificación para el Uso del Terreno para reducir al mínimo los Efectos de la Contaminación.
- Medir los efectos de las medidas de control de la calidad del aire.
- Calibrar y evaluar modelos de dispersión de contaminantes en la atmósfera.

3.3 ESCALA ESPACIAL – EPA

Microescala	Define concentraciones en volúmenes de aire asociados con dimensiones de área de algunos metros hasta 100 m.
Escala Media	Define concentraciones típicas de áreas que pueden comprender dimensiones desde 100m, hasta 0.5 Km.
Escala Local	Define concentraciones en un área con uso de suelo relativamente uniforme, cuyas dimensiones abarcan de 0.5 a 4 Km.
Escala Urbana	Define todas las condiciones de una ciudad con dimensiones en un rango de 4 a 50Km.
Escala Regional	Define generalmente un área rural de geografía razonablemente homogénea y se extiende desde decenas hasta cientos de Kilómetros.
Escala Nacional y Global	Las mediciones que corresponden a esta escala representan concentraciones características de la nación y del mundo como un todo

3.4 CLASIFICACIÓN

- Vigilancia Continua.
- Vigilancia de Estudios Específicos.

**VIGILANCIA FIJA****VIGILANCIA MOVIL****3.5 ETAPAS DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA**

- Selección de los Contaminantes a Vigilar.
- Determinación del Número y Ubicación de las Estaciones de Muestreo.
- Selección de los Instrumentos y Técnicas Analíticas.
- Definición de las Frecuencias de Muestreo.
- Elaboración de Procedimientos para el Tratamiento y Análisis de los Datos.

3.6 SELECCIÓN DE CONTAMINANTES

- En la atmósfera se han identificado más de 100 elementos contaminantes, considerándose como Indicadores de la Contaminación sólo a los más abundantes. Estos contaminantes principales son :
 - Partículas Suspendidas (PTS, PM₁₀, PM_{2.5})
 - Bióxido de Azufre (SO₂)
 - Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
 - Monóxido de Carbono (CO)
 - Ozono (O₃)
 - Hidrocarburos (HC)
 - Metales Pesados (Plomo, Cadmio ,Arsénico)
 - También es importante señalar que esta selección dependerá de las características de emisión de cada región, pudiéndose obviar los contaminantes antes señalados e incluir otros más específicos.

3.7 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ESTACIONES

- Una vez definidos los objetivos del monitoreo, delimitadas las localidades o áreas de estudio y los parámetros que se necesitan monitorear, el paso siguiente es determinar el número de estaciones de muestreo, de manera tal que sean representativos de la calidad del aire de un lugar determinado para poder compararlos con los Estándares de calidad del aire, normas, etc
- Criterios para determinar el Número de Estaciones:
 - La población que habita en el área que se pretende vigilar.
 - La problemática existente en el área y la representatividad de la estación.



- Los recursos económicos, humanos y tecnológicos disponibles.
- El número y ubicación de zonas de alta contaminación (Hot spots)

3.8 NÚMERO DE ESTACIONES EN FUNCIÓN A LA DENSIDAD POBLACIONAL – OMS

Promedio de Estaciones por Contaminante						
Población urbana (millones)	Parámetros de Monitoreo					
	Partículas	SO ₂	NO ₂	Oxidantes	CO	P.Met.
Menos de 1	2	2	1	1	1	1
1 – 4	5	5	2	2	2	2
4 – 8	8	8	4	3	4	2
Más de 8	10	10	5	4	5	3

Modificándose a su vez, estos valores, con los siguientes criterios:

- En ciudades con alta densidad industrial deben de instalarse más estaciones para medir partículas y dióxido de azufre.
- En zonas en donde se utilicen combustibles pesados se deben incrementar las estaciones de dióxido de azufre.
- En zonas con tránsito intenso se duplican las estaciones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y oxidantes.
- En ciudades con población mayor a 4 millones de habitantes, con tráfico ligero, se pueden reducir las estaciones de monóxido de carbono.
- En regiones con terreno accidentado, puede ser necesario incrementar el número de estaciones.

3.9 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES

- Microgeografía del Área.
- Microclima.
- Estructura Urbana.
- Focos Contaminantes.
- Características y Densidad Demográfica.
- Consideraciones Para la ubicación de las estaciones:
 - Accesibilidad.
 - Seguridad contra vandalismo.
 - Infraestructura. (electricidad, teléfono, etc)
 - Libre de Obstáculos y fuentes de emisión cercanas.

Obstáculo	Distancia
Arboles y Edificios	Se recomienda radio libre de 10m., alrededor del sitio de muestreo
Fuentes de Emisión: Industriales, Comerciales o móviles	Se recomienda 20m., de distancia del sitio de muestreo

Altura de toma de muestra	Tipo de Estudio
1.5 a 2.5 m.	Para estudios epidemiológicos o de tráfico vehicular.
2.5 a 4 m y hasta 8m.	Estudios de calidad del aire de fuentes fijas.
10m.	Determinación de Parámetros meteorológicos

3.10 CRITERIOS DE UBICACIÓN DE ESTACIONES

- Ser representativas del área donde se ubican
- Proporcionar datos comparables con las demás estaciones.
- Ser útiles por lo menos durante todo el periodo de tiempo del estudio.
- Ser accesibles permanentemente.
- Contar con energía eléctrica segura.
- Estar acondicionadas para resistir condiciones extremas de temperatura.

3.11 DETERMINACIÓN DE TIEMPOS DE MUESTREO

Duración del Programa:

- Es el periodo de Tiempo de evaluación en que se llevan a cabo las mediciones para recopilar la base de datos necesaria para cumplir con los objetivos del programa. Para mediciones permanentes de calidad del aire, se considera la duración del programa de muestreo de 12 meses.

Frecuencia de Muestras:

- Señala el número de muestras que se tomarán o llevarán a cabo en un intervalo de tiempo, en un punto de muestreo, y se aplica en programas de muestreo discontinuo. Es importante ya que los valores de calidad del aire dependen de las variaciones temporales: condiciones climáticas, cambios estacionales, día de la semana, horas en el día, etc.



- Para establecer valores medios anuales se recomiendan muestreos individuales con una frecuencia de 1 a 2 veces por semana dependiendo de las concentraciones y variando el día de la semana.
- Para promedios diarios se deben realizar por lo menos 5 mediciones por mes, durante un año o por lo menos durante 6 meses.

Tiempo de Toma de Muestra:

- Es el periodo de tiempo en que se lleva a cabo la determinación de las concentraciones de los contaminantes. Mientras mas corto es el tiempo de toma de muestra, más altos serán los valores esperados.
- Este tiempo dependerá de los límites de detección del método de muestreo utilizado y de los criterios establecidos en las normas oficiales de cada país.
- La OMS recomienda lo siguiente:
 - Deben ser medidas concentraciones promedio de 24 horas.
 - El monitoreo anual se recomienda para determinar las variaciones estacionales y para obtener promedio anuales.
 - El muestreo diario se recomienda si se necesitan realizar comparaciones significativas a corto plazo.
 - Se requiere de monitoreo con resolución horaria cuando existan condiciones de episodios de contaminación

3.12 CRITERIOS DE UBICACIÓN DE TOMAS DE MUESTRA

Contaminante	Escalas	Altura (m) sobre el piso	Otros Criterios
SO ₂	Todas	3-15	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. De la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia de la toma del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre la toma de muestra. 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra, o 180° si la toma se coloca a un lado de un edificio. 4. No podrá haber flujos de hornos o incineración cercanos.
CO	Micro	3 ± 1/2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 10 m. de intersecciones y ubicarse a mitad de la cuadra. 2. Deberá estar 2-10 m. del borde de la línea de tráfico más cercana. 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 180° alrededor de la toma de muestra.
	Media Local	3 - 15	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra, o 180° si la toma se coloca a un lado de un edificio. 2. La distancia a las carreteras/caminos estará en función del tráfico (Ver tabla 1 del Apéndice E, parte 58 del CFR 40).



Contaminante	Escalas	Altura (m) sobre el piso	Otros Criterios
O3	Todas	3 - 15	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m de la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m, si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre la toma de muestra. 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra, o 180° si la toma se coloca a un lado de un edificio. 4. La distancia a las carreteras/caminos estará en función del tráfico.
NO2	Todas	3 - 15	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. De la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre la toma de muestra. 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra, o 180° si la toma se coloca a un lado de un edificio. 4. La distancia a las carreteras/caminos estará en función del tráfico (Ver tabla 3 del Apéndice E, parte 58 del CFR 40).
Pb	Micro	2 - 7	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. De la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre el muestreador. 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra a excepción de los sitios en el cañón de la calle. 4. No podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos. 5. Deberá estar 5 a 15 metros de las principales carreteras.
	Media, Local, Urbana y Regional	2 - 15	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. De la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre el muestreador. 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra. 4. No podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos. 5. La distancia a las carreteras/caminos estará en función del tráfico



Contaminante	Escalas	Altura (m) sobre el piso	Otros Criterios
PM10	Micro	2 - 7	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. De la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre el muestreador, a excepción de los sitios en el cañón de la calle. 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra a excepción de los sitios en el cañón de la calle. 4. No podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos. 5. La distancia a las carreteras/caminos estará en función del tráfico (Ver figura 2 del Apéndice E, parte 58 del CFR 40), a excepción de los sitios en el cañón de la calle, en los cuales deberá ser de 2 a 10 metros del borde de la línea de tráfico más cercana.
PM10	Media, Local, Urbana y Regional	2 - 15	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deberá estar alejada > 20 m. De la circunferencia que marca el follaje o las raíces de los árboles y por lo menos 10 m., si los árboles actúan como un obstáculo. 2. La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos del doble de la altura que sobresale el obstáculo sobre el muestreador 3. Deberá tener un flujo de aire sin restricciones 270° alrededor de la toma de muestra. 4. No podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos. 5. La distancia a las carreteras/caminos estará en función del tráfico.

3.13 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN

Cuando se seleccionan monitores para un estudio de calidad de aire se debe tener en cuenta el objetivo del programa a fin de evaluar la economía relativa de los distintos sistemas considerados. Por ejemplo, si el estudio es realizado para determinar tendencias de contaminantes de aire en intervalos de tiempos largos, no hay razón de seleccionar monitores que den salidas continuas si hay otros disponibles. Para ese fin, con los monitores de salida continua, se debe seleccionar algún método para promediar los resultados obtenidos y esto aumenta los costos. Debe ponerse especial atención a las rutinas de calibración y mantenimiento de todos los equipos para asegurar una operación continua tan extensa como sea posible.

En términos generales hay ciertos parámetros técnicos y operacionales que deben ser considerados al evaluar la aptitud y utilidad de una técnica analítica o un equipo de medición.

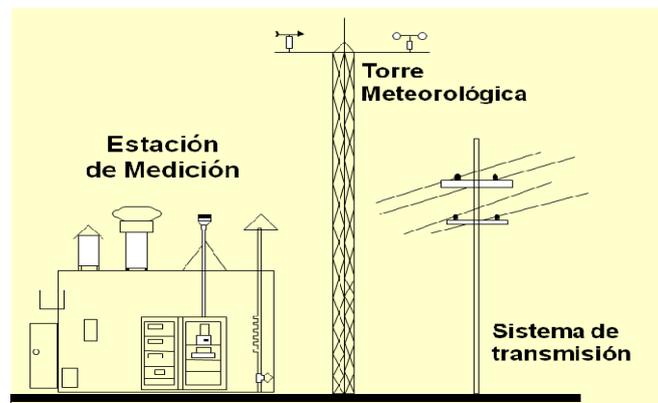
Parámetros técnicos

- **Selectividad**, indica el grado de independencia de interferencias del método.

- **Especificidad:** indica el grado de interferencias en la determinación.
- Límite de detección,
- **Sensibilidad:** Tasa o amplitud del cambio de la lectura del instrumento con respecto a los cambios de los valores característicos de la calidad del aire.
- **Exactitud:** Grado de acuerdo o semejanza entre el valor real o verdadero y el valor medio o medido. Depende tanto de la especificidad del método como de la exactitud de la calibración; esta última dependen de la disponibilidad de estándares primarios y de la forma como es calibrado el equipo. Denota en qué manera están ausentes errores por predisposición o sesgo o por azar.
- **Precisión,** o reproducibilidad de las medidas: grado de acuerdo o semejanza entre los resultados una serie de mediciones aplicando un método bajo condiciones predescritas y el valor medio de las observaciones.
- **Facilidad de calibración del instrumento:** Está asociada a la disponibilidad de gases de calibración en el mercado (estándares primarios) y a su aplicación en el sistema de muestreo, así como a la necesidad de la frecuencia de su empleo.
- **Disponibilidad de gases de calibración.** Gases primarios o secundarios.
- **Volumen de gas necesario para la determinación:** Depende del comportamiento de las concentraciones de sustancias a medir.
- **Tiempo de respuesta del instrumento:** Corresponde al tiempo necesario para que el monitor responda a una señal dada, o sea el período transcurrido desde la entrada del contaminante al instrumento de medición hasta la emisión del valor de la medición. Se suele distinguir dos partes: a) tiempo de retraso, aquel en que se alcanza el 10 % del cambio final en el instrumento de lectura, b) tiempo de crecimiento o caída, durante el cual se pasa del 10 % al 90 % del cambio final en el instrumento de lectura.

Parámetros operacionales

- Disponibilidad de los sensores.
- Resolución espacial.
- Mantenimiento.
- Porcentaje de intervalo de tiempo fuera de operación.
- Equipamiento adicional necesario.
- Mano de obra especializada requerida para operación y mantenimiento.

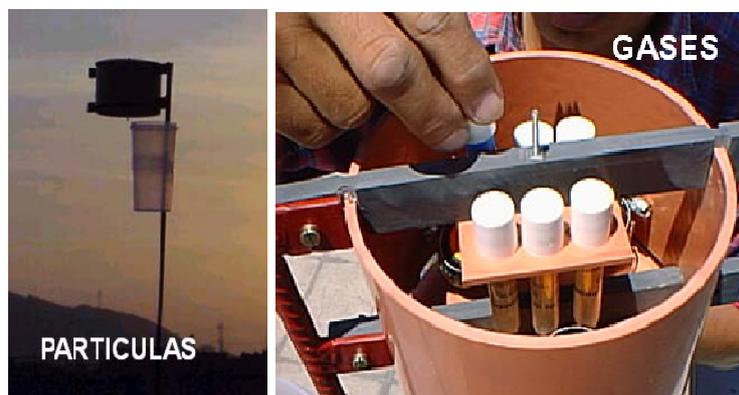




4. MÉTODOS DE MONITOREO

4.1 MÉTODOS PASIVOS

- Se utilizan tanto para la determinación de Partículas como de Gases.
- Requieren tiempos largos de exposición (1 semana a 1mes) debido a que no utilizan bomba de succión.
- Se desconoce el volumen real de aire que circula por la muestra, por lo tanto NO es comparable con un Estándar de Calidad del Aire.



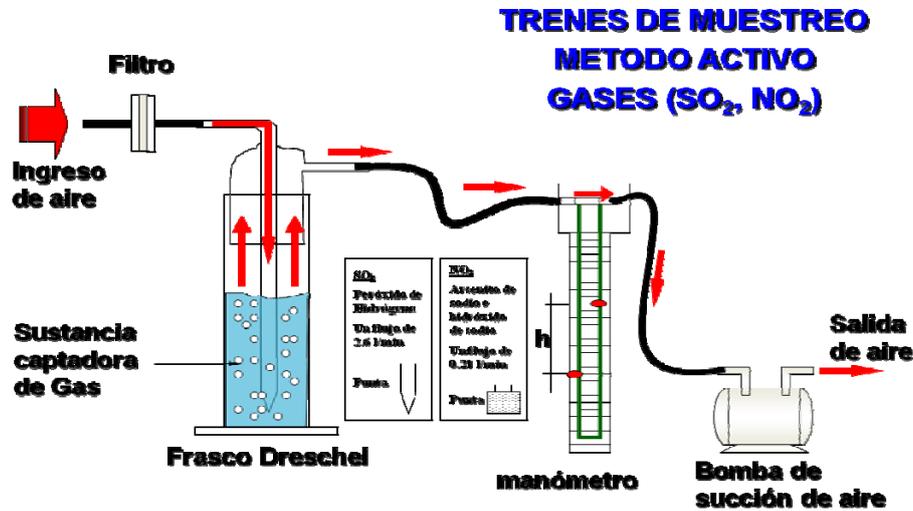
4.2 MÉTODOS ACTIVOS

Se utilizan tanto para la determinación de Gases como de Partículas.

Se utilizan para tiempos de exposición relativamente cortos (normalmente de 24 horas)

Utilizan bomba de succión e indicador de flujo, por lo tanto el volumen real de aire que circula por la muestra SI permite calcular una concentración exacta comparable con un Estándar de Calidad del Aire.

METODOS ACTIVOS



4.2.1 Clasificación de Partículas

En la práctica se ha estandarizado la nomenclatura de las partículas de acuerdo al tamaño de las mismas:

Partículas Sedimentables	PS	aprox. < 100 μ
Partículas Totales en Suspensión	PTS	aprox. < 20 μ
Partículas Menores a 10 Micras	PM10	< 10 μ
Partículas Menores a 2.5 Micras	PM2.5	< 2.5 μ
Partículas Menores a 1 Micra	PM1	< 1 μ

4.2.2 Operación de Equipos de Monitoreo de Partículas

Partículas Totales en Suspensión (PTS)

Las partículas totales en suspensión se determinan principalmente con métodos activos utilizando muestreadores de Alto Volumen (HI-VOL).

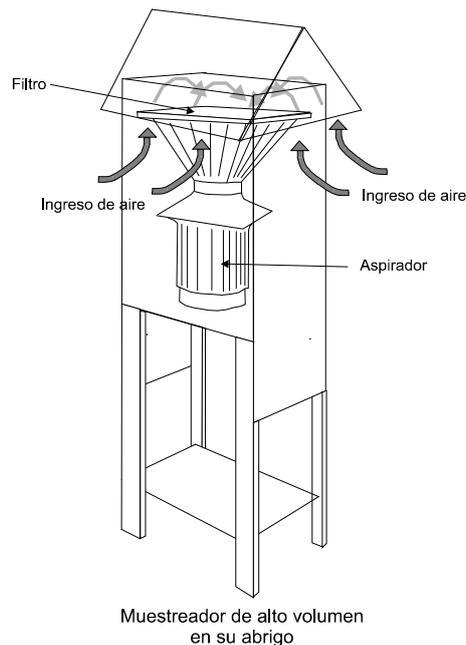
Un HI-VOL consta básicamente de:

- 1 bomba de vacío,
- 1 marco de sujeción del filtro,
- Empaques,
- 1 adaptador del marco,
- 1 registrador de flujo y
- 1 controlador de tiempo

Principios de Operación de Equipos de Monitoreo de Partículas

En el Hi-Vol el aire es obligado a pasar con un flujo aproximado de $1.5 \text{ m}^3/\text{min}$ (aprox. $2000 \text{ m}^3/\text{día}$), por un filtro de baja resistencia (generalmente de fibra de vidrio o celulosa) el cual retiene las partículas de hasta 0.3 micras de diámetro.

La concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de las partículas suspendidas totales, se calcula determinando el peso de la masa recolectada y el volumen de aire muestreado.



Partículas Menores a 10 micras (PM_{10})

El muestreador de alto volumen para PM_{10} opera de manera similar al muestreador de PTS, con la diferencia de que la toma de muestra (CABEZAL) está diseñada de manera tal que segrega todas aquellas partículas con tamaño superior a 10 micras.

Es el método de referencia para la determinación de PM_{10} en US-EPA, así como el método de referencia para la determinación de metales en la Comunidad Europea.

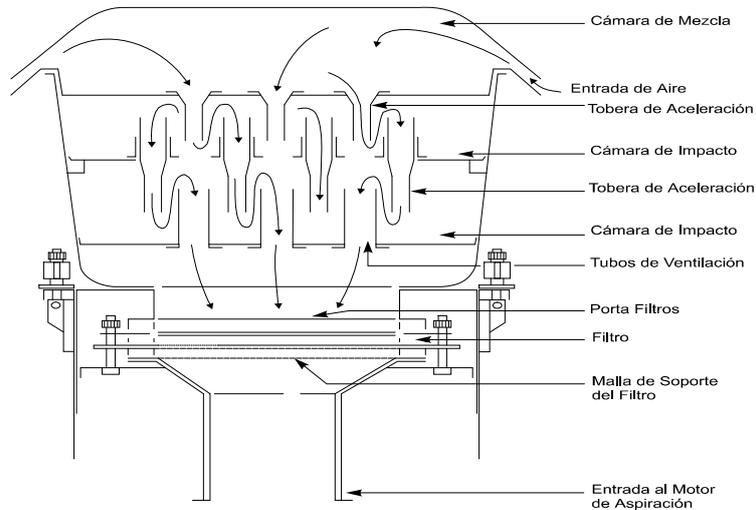
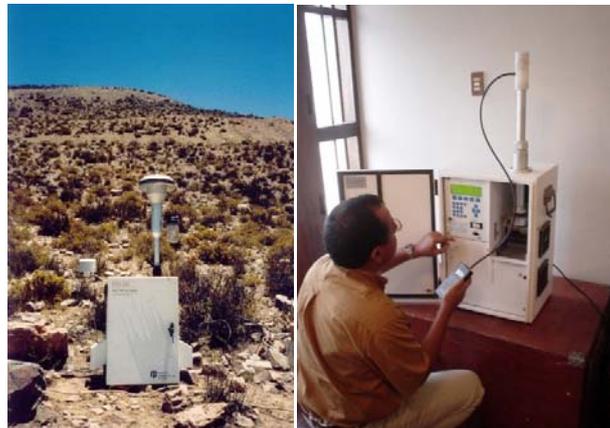


Figura: Toma de muestra partículas con $\phi < 10\mu\text{m}$ con separador por impacto

Muestreadores de bajo Volumen

El muestreador de bajo volumen para PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$, opera de manera similar al muestreador de alto volumen pero con un volumen de flujo muy inferior (aprox. $2\text{m}^3/\text{día}$) que lo hace poco recomendable para aplicaciones gravimétricas.

Debido a su poco peso y pequeñas dimensiones, es utilizado principalmente para estudios de campo en donde se requiere identificar la concentración de PM_{10} en varios puntos de una ciudad.



4.3 MÉTODOS AUTOMÁTICOS

Se utilizan tanto para la determinación de Gases como de Partículas a tiempo real.



Tanto el monitoreo como el análisis del contaminante, se realiza de manera automática dentro de una cámara de reacción, en donde el método de análisis depende del tipo de contaminante a ser identificado.

Las concentraciones son comparables con Estándares de Calidad del Aire



Monitor de Partículas en Suspensión

Microbalanza Oscilatoria TEOM (PM10 / PM2.5)

El principio se basa en la colección de partículas en un filtro montado en la punta de un elemento de vidrio hueco, el cual oscila en un campo eléctrico (frecuencia).

El aire succionado pasa a través del filtro y del elemento de vidrio, en donde la frecuencia de resonancia del mismo decrece a medida que la masa de partículas se deposita en el filtro.



4.4 SENSORES REMOTOS

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

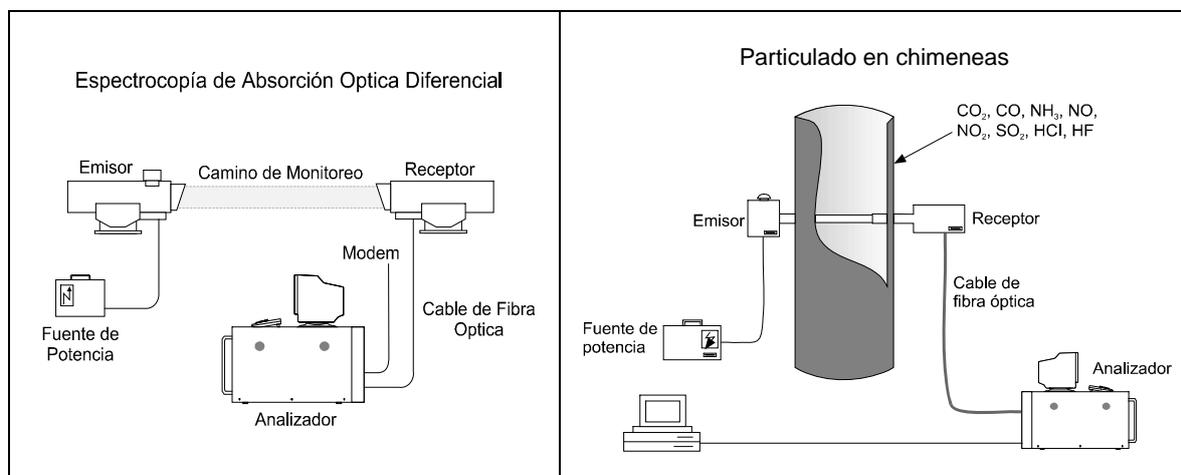
Método de espectroscopia de absorción óptica diferencial.

Se aplica a la determinación de concentración de monóxido y dióxido de nitrógeno (NO y NO₂).

Basado en la ley de absorción de Beer-Lambert que establece la relación entre la cantidad de luz absorbida y el número de moléculas en el camino que atraviesa la luz. Se emplea una fuente especial, lámpara de xenón a alta presión que emite luz de longitudes de onda en el espectro visible, ultravioleta, e infrarrojo. El haz de luz atraviesa un camino de longitud determinada donde se produce la absorción molecular. La luz es luego capturada por un receptor y conducida por fibras óptica hasta el analizador, un espectrómetro de elevada calidad. Usando un programa de cómputo se puede evaluar y analizar la pérdida de luz debido a la absorción molecular que se produjo en el camino recorrido, y en función de dicha longitud obtener la concentración por unidad de volumen.

Dado los bajos niveles de concentración en atmósfera, el sistema es sensible para recorrido de la luz como mínimo de 300 m. Se puede acortar esta longitud introduciendo reflexión del haz con lo que se lo obliga a pasar tres veces por el mismo camino, con lo que se puede llegar a valores de 100 m. La distancia máxima es de 1.500 m.

Dado que cada tipo de molécula tiene propiedades únicas del espectro de absorción, es posible identificar y determinar la concentración de diferentes gases simultáneamente con un sólo equipo a lo largo de un dado recorrido de luz. Hasta el momento EPA tiene homologado el equipo solamente para SO_2 , NO_2 , y O_3



5. BIBLIOGRAFIA

- Environmental Protection Agency (EPA) - 40 CFR Part 50 National Primary and secondary ambient air quality standards
- Guidelines for air quality. World Health Organization (WHO). 2005
- ATSDR. Agency for Toxic Substances & Disease Registry. El aire.2007



- W Strauss. "Contaminación del Aire. Causas, efectos y soluciones". Ed. Trillas.2000
- J Héctor Gutiérrez, Isabelle Romieu. Germán Corey, Teresa Fortoul. "Contaminación del aire. Riesgos para la salud". Ed. El Manual Moderno S.A. 2002
- Noel de Nevers. "Ingeniería de control de la contaminación del Aire." McGraw – Hill. 1998
- Documento Técnico de referencia sobre Monitoreo Atmosférico. Fundación Suiza de cooperación para el Desarrollo Técnico.2004
- L. Dawidowski, D Gómez y S. Reich. "Guía Metodológica para La Evaluación Del Impacto Ambiental Atmosférico". Unidad de Actividad Química, CNEA, 2001
- U.S Environmental Protection Agency (EPA). Guideline on Air Quality Model. 2002
- Ana Patricia Martínez, Isabelle Romieu. "Introducción al Monitoreo Atmosférico". CEPIS-OPS-OMS. 1997
- Instituto de Estudios Medioambientales. "Formación Ambiental. Contaminación Atmosférica".
- OPS. "Plan Regional sobre Calidad del Aire Urbano y Salud para el Período 2000-2009"
- Marcelo E. Kork. "Monitoreo de la Calidad del Aire en America Latina"
- Gierard Kiely. "Ingeniería Ambiental"
- David Hunt. "Sistemas de Gestión Medio Ambiental"
- DENU/PNUMA. "Cuestionario 2004 Estadísticas Ambientales". División de Estadística de las Naciones Unidas y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
- OMS. Guía para la Calidad del Aire
- Raymundo Carranza Noriega. "Gestión de la Calidad del Aire: Causas, Efectos y Soluciones". UNMSM.



ANEXO - 1

ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL - AIRE

Elemento	Periodo	Organismos			Países						
		OMS (*)	EPA	NAAQS California	PERU ECA (3)	Perú	Argentina	USA	México	UE	Japón
SO ₂	Anual	50	80				80	80	80		
	Mensual										
	24 h.	125			80 ⁽⁴⁾		365	365	341	125	105
	1 h.	350								350	260
	10 min	500								500	
PTS	Anual		75					75	75		
	24 h.	120	260	260				260	260		100
PM ₁₀	Anual				50		50	50	50		
	24 h.				150		150	150	150	50	
PM _{2.5}	Anual				15			15			
	24 h.				65			65			
CO	8 h.	10 000			10000		10000	10000	13000	10000	22800
	1 h.	30 000			30000		40000	40000			
NO ₂	Anual	40	100		100		100	100		40	
	24 h.	150							113		75
	1 h.	200			200		367		395	200	
Ozono	8 h.	120			120			160		120	
	1 h.						235		216		118
Plomo	Anual	0.5								0.5	
	Trimestral		1.5				1.5	1.5	1.5		
	Mensual				1.5						
H ₂ S	24 h.	150			150 ⁽⁴⁾						
	1h			42							
Arsénico (As)	24h					6 ⁽¹⁾					
Mercurio (Hg)	24h							0.3 ⁽²⁾			

Nota: Todos los valores están en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

(*) Estándares OMS correspondientes a la revisión 1999^a.

PS = Partículas Sedimentables = 0.5 mg/cm²/mes Lineamientos OMS

(1) R.M. N°315-96-EM/VMM

(2) LMP Estado de Washintong – USA

(3) DS 074-2001-PCM, Reglamento Nacional de Estándares de Calidad Ambiental de Aire

(4) DS 003-2008-MINAM Estándares de Calidad Ambiental para Aire



ANEXO 02

PARÁMETROS CONTAMINANTES EVALUADOS

Parámetro	Tiempo de Muestreo	Metodología	Principio
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	Método de Muestreo Activo presentado por Thorin NILU, 1977; ISO 4221, 1983/1990	Es determinado por absorción del gas en solución de captación de peróxido de hidrógeno a razón de flujo de 2.3 a 2.5 litros por minuto, en un período de muestreo de 24 horas. El análisis químico se efectúa por turbidimetría, expresándose los resultados en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
Dióxido de Azufre (SO ₂)	Horario	Automático Método de Referencia # EQSA - 0495 - 100	El método de monitoreo empleado en este equipo automático, es el de la Fluorescencia Ultravioleta. Las concentraciones son determinadas en partes por billón (ppb).
Monóxido de Carbono (CO)	Horario	Automático RFCA-1093-093 EPA 40 CFR Pt. 50 App. C	El método de Monitoreo empleado en este equipo, es el de Infrarrojo no Dispersivo. Las concentraciones se expresan en partes por millón (ppm).
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Horario	Automático RFNA-1194-099 EPA 40 CFR Pt. 50 App. F	El método de Monitoreo empleado en este equipo, es el de quimioluminiscencia en fase gaseosa (NO, NO ₂ , NO _x). Las concentraciones se expresan en partes por billón (ppb).
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	24 horas	Método de Referencia Activo de la EPA Capítulo N°1, CFR 40 Parte 53 Apéndice F	Se determina por el método del Arsenito de sodio. Las muestras de aire contaminado son atrapadas en una solución de arsenito de sodio más hidróxido de sodio, a una razón de flujo de 0.2 a 0.3 litros por minuto, por períodos usuales de muestreo de 24 horas. El análisis se efectúa por Colorimetría, los resultados son expresados en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
Partículas Totales en Suspensión (PTS)	24 horas	Método de Referencia Activo de la EPA Capítulo N°1, CFR 40 Parte 50 Apéndice B	Para el muestreo de las Partículas Totales en Suspensión, se emplea un equipo muestreador de alto volumen con un motor de aspersión de alto flujo (1.5 m ³ /min), el cual succiona el aire del ambiente haciéndolo pasar a través de un filtro de fibra de vidrio, el cual retiene partículas de hasta 0.3 μm de diámetro. La concentración de las partículas suspendidas totales, se calcula determinando el peso de la masa recolectada y el volumen de aire muestreado.
Metales: Cobre, Plomo, Manganeso, Cromo, Hierro y Zinc.	24 horas	Método de Referencia Activo de la EPA Capítulo N°1, CFR 40 Parte 50 Apéndice G	Son obtenidos del filtro empleado en el muestreo de PTS, del cual se hace un tratamiento químico con ácido nítrico y luego de filtrar, evaporar y concentrar la prueba, se lee en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.
Partículas Menores a 10 micrones (PM ₁₀)	24 horas	Método de Referencia Activo de la EPA Capítulo N°1, CFR 40 Parte 50 Apéndice J	Para el muestreo de las partículas menores a 10 micras, se emplea un equipo Muestreador de Alto Volumen tipo PM-10, el cual mediante un motor de aspersión de flujo (1.13 m ³ /min) succiona aire del ambiente haciéndolo pasar a través de un filtro de fibra de cuarzo, el cual retiene partículas menores a 10 micras de diámetro. La concentración se calcula determinando el peso de la masa recolectada y el volumen de aire muestreado.
Partículas Menores a 2.5 micrones (PM _{2.5})	24 horas	Método de Referencia Activo de la EPA Capítulo N°1, CFR 40 Parte 50 Apéndice J	El principio de funcionamiento de este equipo es similar al del muestreador de partículas totales en suspensión, con la excepción de que trabaja a solo 5 l/min y está diseñado para seleccionar y capturar únicamente las partículas menores a 2.5 micrones.