

**FUNDAMENTOS AMBIENTALES EN INGENIERÍA**

**UNIDAD III:**

**EL AIRE COMO FACTOR  
AMBIENTAL. CONTAMINACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**

**DR. ING. JOSÉ FLORES**

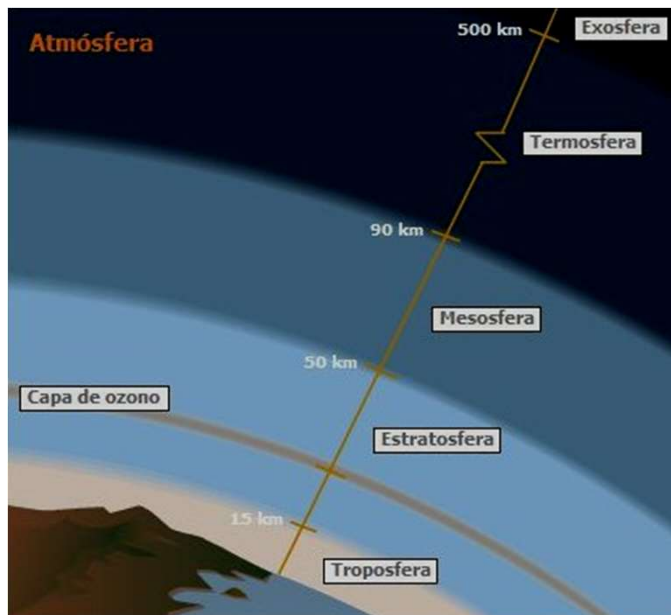
- **FUNDAMENTOS AMBIENTALES EN INGENIERÍA**

# **3A ATMÓSFERA**

## 3.A ATMÓSFERA

### Atmósfera y biósfera

La **atmósfera** es la capa gaseosa que rodea al planeta tierra, y que puede dividirse en estratos, cada uno con características diferentes entre sí.



COMPONENTE	PORCENTAJE EN VOLUMEN
Nitrógeno	78
Oxígeno	20
Argón	0.3
Dióxido de Carbono	1.6
Neón	0.002
Helio	0.001
Criptón	0.0001
Xenón	0.00001
Metano	0.0002

## 3.A ATMÓSFERA

### Composición y estructura de la atmósfera

**Tropósfera:** Es la capa que se encuentra en contacto con la tierra, siendo la capa más densa de la atmósfera y en ella se generan los fenómenos atmosféricos.

**Estratósfera:** Es una capa protectora para la tierra, ya que es la encargada de evitar el paso de los rayos ultravioleta, también llamada ozonósfera.

**Mesosfera:** En esta capa se producen las reacciones químicas y diversas transformaciones energéticas. Es la encargada de quemar cuerpos espaciales externos (meteoritos) cuando se acercan a la misma.

## 3.A ATMÓSFERA

### Composición y estructura de la atmósfera

**Ionósfera:** Está compuesta por partes de mesósfera, termósfera y exósfera, se distingue por ser ionizada. Desempeña un papel importante en la electricidad atmosférica.

**Exósfera:** Es la zona de tránsito entre la atmósfera terrestre y el espacio. En ésta los gases van perdiendo sus propiedades físico químicas.



## 3.A ATMÓSFERA

La **biosfera** es el sistema formado por el conjunto de seres vivos del planeta tierra y sus interrelaciones (influyen tanto los microorganismos en el medio, como el medio sobre los organismos).



## 3.A ATMÓSFERA

### Composición del aire

El aire en la troposfera, cercano a la superficie de la tierra y al que **llamaremos Aire Ambiente** también está sujeto a estas acciones naturales y será el objeto de nuestro estudio. El aire ambiente es un gas, o mejor, una mezcla de gases que en la troposfera resulta ser un recurso natural esencial para el desarrollo de numerosas formas de vida. La composición de esta mezcla de gases es mas o menos constante en los siguientes compuestos:

**Nitrógeno: 78.08 %**

**Oxígeno: 20.95 %**

**Dióxido de Carbono: 0.035 %**

**Argón: 0.934 %**

**Otros gases nobles: 0.00246 %**

### **3.A ATMÓSFERA**

Pudiendo contener, en concentraciones variables, otros compuestos como:

**Hidrógeno, Vapor de agua, Metano,  
Oxidos de Nitrógeno, Dióxido de Azufre,  
Ozono, Material Particulado Suspendido, ...**

Muchos de estos últimos forman parte del aire ambiente debido a la acción antropogénica, es decir se incorporaron a la atmósfera por diferentes actividades humanas, provocando la Contaminación del Aire Ambiente.



## 3.A ATMÓSFERA

### Presión atmosférica

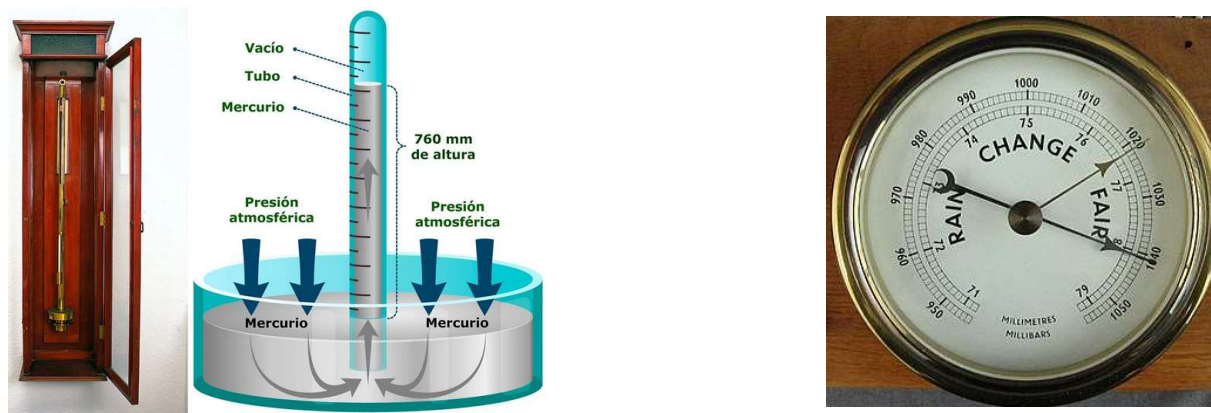
La **presión atmosférica** es la fuerza por unidad de superficie que ejerce la atmósfera en un punto específico. Es la consecuencia de la acción de la fuerza de la gravedad sobre la columna de aire situada por encima de este punto.

En un nivel determinado, la presión atmosférica es igual al peso de la columna de aire existente encima de dicho nivel, hasta el límite superior de la atmósfera. Por tanto, cuanto mayor sea la altitud menor será la presión atmosférica. A mayor altura, menor cantidad de aire queda por encima, que por tanto pesa menos y ejerce menos presión.

### 3.A ATMÓSFERA

Las unidades habituales de medida en meteorología son los milibares (mbar) o hectopascales (hPa). Otras unidades de medida son las atmósferas (atm) y los milímetros de mercurio (mmHg). Tradicionalmente se medía en mmHg, es decir, la altura de la columna de mercurio en equilibrio con la columna de aire atmosférico.

Normalmente se toma como referencia la **presión atmosférica que existe a nivel del mar**. En dicho nivel su valor normal se considera de **1013 hPa** (1013 mbar, 1 atm o 760 mmHg). Disminuyendo de media en 1 hPa por cada 8 metros de altura.



## 3.A ATMÓSFERA

### Agua en la atmósfera

- **La humedad relativa:** es el contenido de vapor de agua presente en el aire.

La humedad juega un papel negativo en la evolución de los contaminantes ya que favorece la acumulación de humos y polvo. Además, ciertos compuestos son afectados por la presencia de vapor de agua y se convierten en otros que tienen efectos más nocivos sobre los seres vivos y los materiales.

- **Las precipitaciones:** Las lluvias y las nevadas tienen un efecto beneficioso sobre la eliminación de las sustancias contaminantes. Pero este efecto es solamente parcial ya que los contaminantes son eliminados del aire para caer en la tierra o las aguas.

## 3.A ATMÓSFERA

### Clima

**Síntesis de las condiciones meteorológicas en un lugar determinado, caracterizada por estadísticas a largo plazo (valores medios, varianzas, probabilidades de valores extremos, etc.) de los elementos meteorológicos en dicho lugar.**

El clima de una ubicación está afectado por su latitud, terreno y altitud, así como cuerpos de agua cercanos y sus corrientes. Los climas pueden clasificarse según la media y las gamas típicas de diferentes variables, generalmente temperatura y precipitación. El esquema de clasificación más utilizado la clasificación climática de Köppen.



## 3.A ATMÓSFERA

### Oxígeno y dióxido de carbono

#### *Oxígeno*

Elemento químico gaseoso, de número atómico 8, incoloro, inodoro, insípido y muy reactivo, presente en todos los seres vivos, esencial para la respiración y para los procesos de combustión, que forma parte del agua, de los óxidos y de casi todos los ácidos y sustancias orgánicas, y constituye casi una quinta parte del aire atmosférico en su forma molecular O<sub>2</sub>. (Símbolo O).



## 3.A ATMÓSFERA

### *Dióxido de carbono*

Gas más pesado que el aire, formado por la combinación de un átomo de carbono y dos de oxígeno ( $\text{CO}_2$ ), que se produce en las combustiones y que es uno de los principales causantes del efecto invernadero.



- **FUNDAMENTOS AMBIENTALES EN INGENIERÍA**

## **3B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS**

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### Fuentes y efectos de los contaminantes

Las fuentes de los principales contaminantes atmosféricos incluyen las actividades individuales, como conducir o manejar un coche, y las actividades industriales, como la fabricación de productos o la generación de electricidad.

Monóxido de carbono (CO)	Gases de escape de vehículos de motor; algunos procesos industriales	Máximo permitido: 10 mg/m <sup>3</sup> (9 ppm) en 8 hr; 40 mg/m <sup>3</sup> en 1 hr (35 ppm)
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Instalaciones generadoras de calor y electricidad que utilizan petróleo o carbón con contenido sulfuroso; plantas de ácido sulfúrico	Máximo permitido: 80 µg/m <sup>3</sup> (0,03 ppm) en un año; 365 µg/m <sup>3</sup> en 24 hr (0,14 ppm)
Partículas en suspensión	Gases de escape de vehículos de motor; procesos industriales; incineración de residuos; generación de calor y electricidad; reacción de gases contaminantes en la atmósfera	Máximo permitido: 75 µg/m <sup>3</sup> en un año; 260 µg/m <sup>3</sup> en 24 hr; compuesto de carbón, nitratos, sulfatos y numerosos metales, como el plomo, el cobre, el hierro y el cinc
Plomo (Pb)	Gases de escape de vehículos de motor, fundiciones de plomo; fábricas de baterías	Máximo permitido: 1,5 µg/m <sup>3</sup> en 3 meses; la mayor parte del plomo contenido en partículas en suspensión
Óxidos de nitrógeno (NO, NO <sub>2</sub> )	Gases de escape de vehículos de motor; generación de calor y electricidad; ácido nítrico; explosivos; fábricas de fertilizantes	Máximo permitido: 100 µg/m <sup>3</sup> (0,05 ppm) en un año para el NO <sub>2</sub> ; reacciona con hidrocarburos y luz solar para formar oxidantes fotoquímicos
Oxidantes fotoquímicos (fundamentalmente ozono [O <sub>3</sub> ]; también nitrato peroxiacetílico [PAN] y aldehídos)	Se forman en la atmósfera como reacción a los óxidos de nitrógenos, hidrocarburos y luz solar	Máximo permitido: 235 µg/m <sup>3</sup> (0,12 ppm) en 1 hr
Hidrocarburos no metánicos (incluye etano, etileno, propano, butanos, pentanos, acetileno)	Gases de escape de vehículos de motor; evaporación de disolventes; procesos industriales; eliminación de residuos sólidos; combustión de combustibles	Reacciona con los óxidos de nitrógeno y la luz solar para formar oxidantes fotoquímicos
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Todas las fuentes de combustión	Posiblemente perjudicial para la salud en concentraciones superiores a 5000 ppm en 2-8 hr; los niveles atmosféricos se han incrementado desde unas 280 ppm hace un siglo a más de 350 ppm en la actualidad; probablemente esta tendencia esté contribuyendo a la generación del efecto invernadero

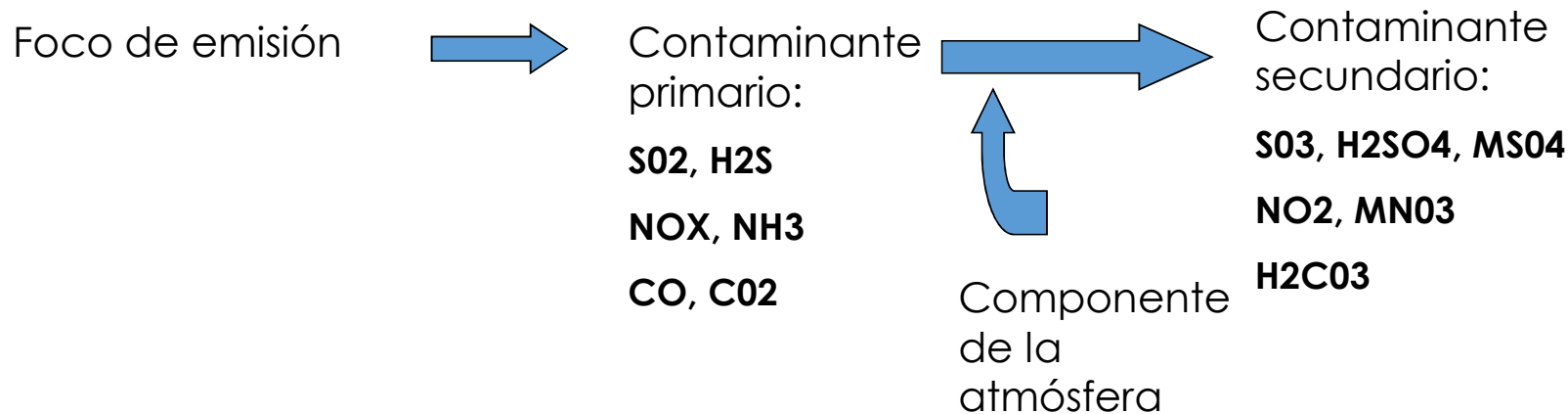


## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### Contaminantes primarios y secundarios

#### *Gases y vapores:*

- **Contaminantes primarios:** son aquellos que proceden directamente de la fuente de emisión.
- **Contaminantes secundarios:** son los originados por interacción química entre los primarios y los componentes de la atmósfera



## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### Conceptos de emisión – inmisión

Cuando se habla de **EMISIÓN** se refiere a los gases que se liberan directamente desde el conducto final de su proceso de producción (por ejemplo una chimenea o un escape). Para estos casos, se fijan *normas de emisión* que establecen las cantidades de gases que pueden liberarse, y no se habla de concentración sino de **Caudal**, en general expresado como **gramos/segundo; Kg/hora; Ton/día**; etc., es decir masa de contaminante por unidad de tiempo.

Esta liberación de gases a la atmósfera sufre una difusión o mezcla con el aire ambiente, y a pocos metros del punto de escape existe solo una pequeña cantidad de los contaminantes liberados, mezclada con el aire. Esta cantidad va disminuyendo a medida que nos alejamos del punto de escape. A esta situación se la define como **INMISIÓN** y es la que determina la calidad del aire y que se evalúa en los términos de concentración definidos anteriormente.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### Dispersión de gases

Los contaminantes emitidos por una fuente tienden a difundirse y por tanto se dispersan. Para el estudio de la dispersión, en una zona determinada, interesa conocer los factores topográficos y meteorológico y las características de la emisión.

Los factores topográficos influyen, por cuanto están modificando localmente el movimiento de la masa de aire y la distribución de temperaturas. Cuando un emisor se encuentra próximo a un obstáculo notable y el viento se dirige hacia la zona del obstáculo, se producen turbulencias en el penacho de humo, que se aproxima más rápidamente al suelo.

En nuestra zona tienen influencia los vientos catabáticos ( fríos que descienden desde zonas elevadas a los valles) y los vientos de valle. Estos vientos son totalmente locales y su registro o no por estaciones meteorológicas dependen de dichas estaciones. Por ello, es importante para la localización de una nueva planta industrial el estudio de las condiciones in situ.

Con respecto a la influencia y condiciones de los factores meteorológicos que hacen a la dispersión, se debe indicar que los mismos interesan en cuanto influyen sobre las emisiones y el hábitat humano. Es sumamente importante la variación de temperatura que se produce con la altura en la atmósfera, por cuanto es uno de los factores que más influyen en las fuerzas ascensionales de un penacho.

También es muy importante en la difusión de contaminantes el viento. En días calmos los penachos ascienden a alturas considerables, en tanto que si hay viento el penacho se inclina en mayor o menor grado de acuerdo a la intensidad del viento.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### **CHIMENEAS**

Con el objeto de facilitar la dispersión de los contaminantes producidos por una fuente fija, se recurre al uso de chimeneas. Para mejorar la distribución de los mismos es fundamental la altura efectiva de penacho que se consiga, la que es función de la altura, la temperatura y la velocidad de emisión, además de las condiciones meteorológicas.



### **Altura de Emisión:**

Al aumentar la altura de emisión, además de conseguir una mayor altura efectiva del penacho, se consigue disminuir la influencia de los factores topográficos superficiales, realizándose al mismo tiempo la emisión en una zona con mayor velocidad del viento y disminuyendo el problema de la capa de inversión, que es más frecuente en las zonas inferiores.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### ***Velocidad de Emisión:***

A mayor velocidad de emisión, es menos probable que se presente el fenómeno de proyección de penacho hacia el suelo. Existe una relación estrecha entre la velocidad de emisión y la velocidad del viento. Es aconsejable que la velocidad de emisión sea mayor que la del viento.

### ***Temperatura de Emisión:***

La temperatura provoca una fuerza ascensional que es mayor cuanto mayor sea la diferencia existente con el medio, este efecto se va diluyendo a medida que se produce un enfriamiento de la masa por mezcla con el ambiente.

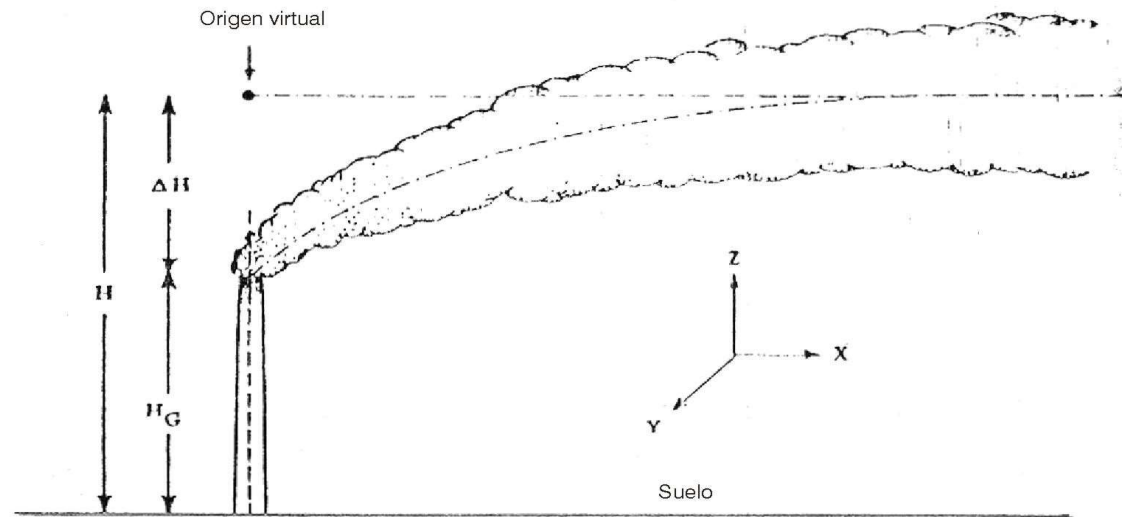
### ***Sobre elevación del Penacho:***

La altura efectiva de la chimenea es:

$$H = h + \Delta h$$

Donde  $h$  es la altura geométrica de la chimenea y  $\Delta h$  es la altura sobre elevación del penacho, la cual es función de la energía térmica, la energía cinética y las condiciones meteorológicas. El penacho de humos, una vez emitido, asciende como consecuencia de la energía que posee y se dobla por la acción del viento. Progresivamente en su evolución pierde energía, y llega un momento en que se estabiliza, produciendo un máximo en la sobre elevación.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS



### **MODELOS:**

El establecimiento de un modelo permite relacionar la emisión de contaminantes con la concentración y estado de dichos contaminantes en la atmósfera en función de las características propias de la emisión, las condiciones meteorológicas y las posibles transformaciones que sufre el contaminante en su evolución.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

- **Modelos Físicos**

- En ellos se trata a escala reducida la situación planteada en problemas de contaminación, generalmente reproducciones a escala de zonas urbanas en túnel de viento. Su aplicación es muy limitada por las dificultades de reproducción de las situaciones reales y el mantenimiento de las semejanzas geométricas, dinámicas y térmicas. Son bastante utilizados los modelos físicos tendientes a investigar las reacciones químicas que se producen en la atmósfera. El más usado es el llamado cámara de smog, que es un reactor de laboratorio en el cual se introducen contaminantes primarios y se someten a diferentes condiciones térmicas, de radiación, de presión y simulando las situaciones que se producen en la atmósfera.

- **Modelos Matemáticos:**

- Relacionan las emisiones con las condiciones meteorológicas y los niveles de contaminación.
- Los *Modelos Matemáticos Teóricos* están basados en ecuaciones de conservación de masa para los diferentes contaminantes. Estos modelos requieren para su formulación informaciones sobre las condiciones de emisión, meteorología, química, radiación, etc.
- Los *Modelos Matemáticos Estadísticos* se basan en el rastreo sistemático de emisiones, calidad de aire y condiciones meteorológicas y se utilizan para prever el comportamiento del sistema en determinadas condiciones e introducir factores correctivos que permitan mantener un nivel de calidad de aire.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### *El Modelo Gaussiano*

- Es la técnica empleada para la estimación de contaminantes no reactivos. Este modelo se encuentra lejos de ser exacto ya que algunas de las suposiciones del mismo comprometen a la exactitud. Entre estas suposiciones se incluye:
  1. No existe variación ni en la velocidad ni en la dirección del viento entre el foco y el receptor.
  2. Todo el vertido permanece en la atmosfera de manera que no reacciona ni se deposita en forma de lluvia o partículas. Cualquier penacho que impacta en el terreno rebota en su totalidad.
  3. La dispersión no ocurre en la dirección descendente del viento. Únicamente tiene lugar en las direcciones verticales y horizontales del viento. La dispersión es estocástica y describe exactamente una distribución del Gauss.



## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### ECUACIÓN DE LA DIFUSIÓN

- La concentración de un contaminante en un penacho en cualquier punto  $x$ ,  $y$  o  $z$  puede calcularse con la ecuación de difusión siguiente:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (8.13)$$

Para el sistema de coordenadas:  $x = 0$  en el foco (chimenea)  
 $y = 0$  en la línea central del penacho  
 $z = 0$  en el terreno

- Si la altura efectiva del foco emisor es  $H$ , entonces la coordenada  $z$  en la línea central del penacho es  $(z-H)$ , donde  $z$  se mide a partir de la cota del terreno:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (8.14)$$

- En el supuesto de conservación de masa, de que todo el contacto del penacho con el terreno es completamente reflejado, debe añadirse un segundo término para tener esto en cuenta. La ecuación se convierte:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (8.15)$$

Las unidades apropiadas son:

$Q$  = cualquier propiedad por unidad de tiempo, por ejemplo,  $\text{kg/s}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$

$C$  = cualquier propiedad por unidad de volumen, por ejemplo,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $\text{m}^3/\text{m}^3$  o ppb

$\sigma_y, \sigma_z$  = coeficientes de difusión, en m, en función de la distancia  $x$  aguas abajo

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

- En la figura 8.23 se muestra la curva Pasquill-Gifford para los coeficientes  $\sigma$ . A partir de esta grafica se obtiene el valor de estos parámetros conociendo la distancia aguas abajo  $x$  y el criterio de estabilidad.
- El mayor interés radica en el conocimiento de la concentración a nivel del terreno ( $z=0$ ), la ecuación se reduce a:

$$C(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (8.16)$$

- La concentración máxima a nivel de terreno se encuentra en la línea central del penacho,  $y=0$ , de manera que:

$$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (8.17)$$

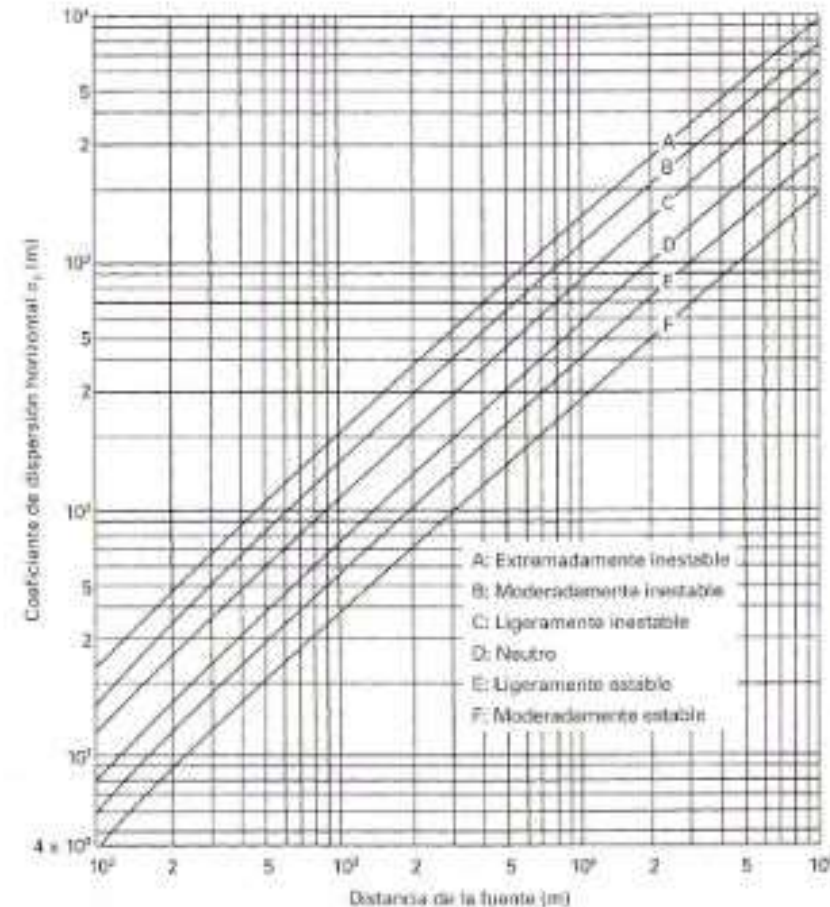


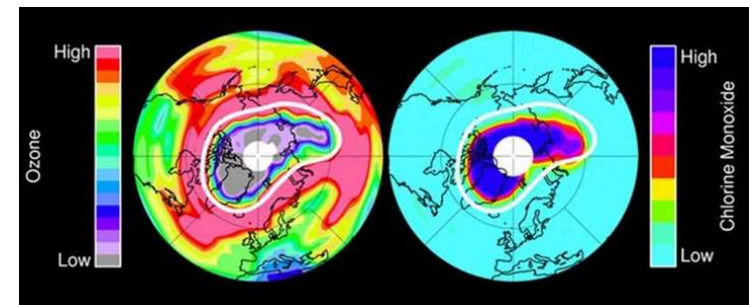
Figura 8.23. Correlaciones para  $\sigma_y$  basadas en las clases de estabilidad A-F de Pasquill (Gifford, 1961). Éstas son las denominadas curvas de Pasquill-Gifford.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### Disminución del ozono estratosférico

Hasta hace poco, los clorofluorocarbonos (CFC, por sus siglas en inglés) se usaban ampliamente en aplicaciones industriales como refrigerantes, espumas aislantes y disolventes. Los clorofluorocarbonos son transportados por fuertes vientos hacia la estratosfera, en un proceso que puede tardar de 2 a 5 años. Los clorofluorocarbonos se descomponen en la estratosfera y liberan cloro, el cual ataca al ozono. Cada átomo de cloro actúa como catalizador, combinándose y descomponiendo repetidamente hasta 100.000 moléculas de ozono durante el tiempo que permanece en la estratosfera.

Otras sustancias que destruyen el ozono son los pesticidas como el bromuro de metilo, el halón usado en los extintores de incendios y el cloroformo de metilo utilizado en procesos industriales

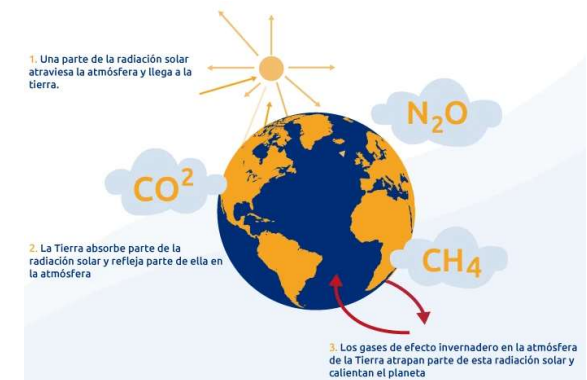


## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### Efecto invernadero

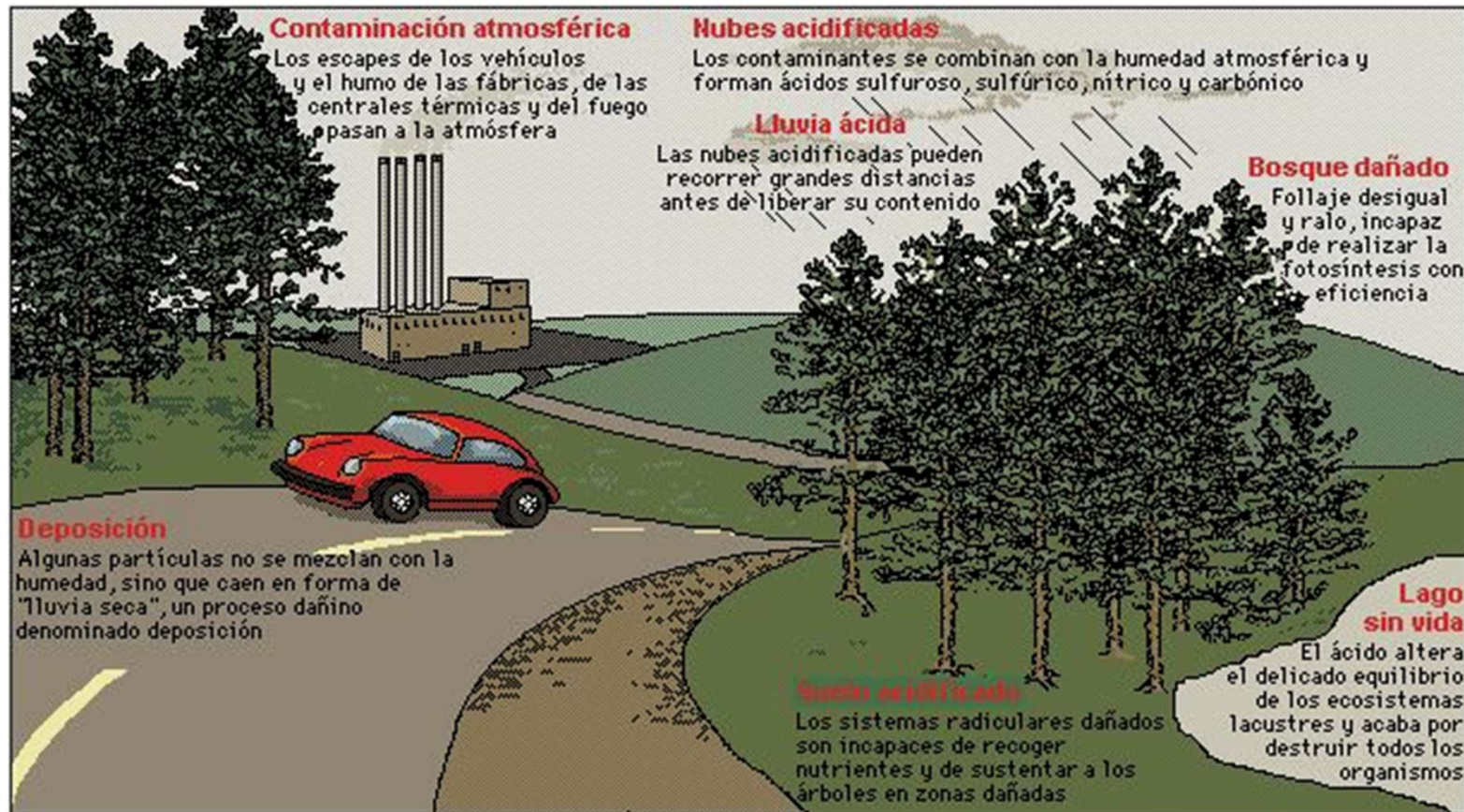
La atmósfera es prácticamente transparente a la radiación solar de onda corta, absorbida por la superficie de la Tierra. Gran parte de esta radiación se vuelve a emitir hacia el espacio exterior con una longitud de onda correspondiente a los rayos infrarrojos, pero es reflejada de vuelta por gases como el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, los halocarbonos y el ozono, presentes en la atmósfera. Este efecto de calentamiento es la base de las teorías relacionadas con el calentamiento global.

El aumento global de la temperatura estimado es de 2 a 6 °C en los próximos 100 años. Un calentamiento de esta magnitud alteraría el clima en todo el mundo, afectaría a las cosechas y haría que el nivel del mar subiera significativamente.



# 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

## Precipitación ácida y sedimentación



## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### Óxidos de carbono, de azufre y de nitrógeno

<b>Contaminante</b>	<b>Efecto sobre la salud</b>
<i>Monóxido de Carbono</i>	Se une a la hemoglobina de la sangre perturbando el suministro de oxígeno a los tejidos corporales. Sus efectos incluyen cefaleas, mareos, somnolencia, náuseas, vómitos, coma y muerte.
<i>Ozono</i>	Produce alteraciones pulmonares, agravamiento de afecciones respiratorias preexistentes y mayor susceptibilidad a las infecciones respiratorias. Parece acelerar el envejecimiento.
<i>Óxidos de Azufre</i>	Provocan daños temporales o permanentes al sistema respiratorio. Los efectos aumentan si hay exposición simultánea a material particulado.
<i>Partículas Respirables</i>	Provocan irritaciones y enfermedades respiratorias, disminuyen el funcionamiento pulmonar, aumentan la mortalidad humana, por intoxicación crónica.
<i>Dióxido de Nitrógeno</i>	Afecta la salud humana, la vegetación, los materiales y la visibilidad. En especial afecta las defensas contra las infecciones pulmonares.
<i>Plomo</i>	Perturba la hemosíntesis en las células. Causa daño al sistema nervioso y a los riñones, y afecta las funciones normales del sistema reproductivo, endocrino, cardio-vascular, inmunológico y gastrointestinal.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### Partículas y aerosoles

- **Polvos:** partículas sólidas dispersas en un gas originadas por la desintegración mecánica de algún material.
- **Humos:** pequeñas partículas originadas por condensación de un vapor supersaturado, conteniendo concentraciones relativamente elevadas de sustancias con baja presión de vapor.
- **Nieblas:** suspensión de pequeñas gotas líquidas formadas por la condensación de un vapor.
- **Aerosoles:** nube de partículas microscópicas y submicroscópicas en el aire.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### Mediciones en aire

El Gobierno federal de Estados Unidos, a través de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha identificado seis contaminantes de consideración especial: ozono, material particulado, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y plomo.

Se les conoce como **indicadores de contaminación** con base en criterios referentes a efectos específicos en la salud y el medioambiente.

Los indicadores de contaminación se encuentran en esta lista por dos razones principales: 1) son muy comunes, de manera que la mayoría de la gente y el medioambiente están expuestos a ellos y, 2) pueden causar un gran daño.

Para minimizar el impacto a la salud o al medioambiente, la EPA y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han fijado la *máxima concentración atmosférica recomendable* para los indicadores de contaminación.



## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### Estándares de calidad del aire para indicadores de contaminación

Indicador de contaminación	Organización Mundial de la Salud (OMS)*	Agencia de Protección Ambiental (EPA)	Junta de Recursos del Aire de California (CARB)
Ozono (O <sub>3</sub> )	0.05 ppm <sub>v</sub> (promedio de 8 h)	0.075 ppm <sub>v</sub> (promedio de 8 h)	0.07 ppm <sub>v</sub> (promedio de 8 h)
Monóxido de carbono (CO)	9 ppm <sub>v</sub> (promedio de 8 h) 26 ppm <sub>v</sub> (promedio de 1 h)	9 ppm <sub>v</sub> (promedio de 8 h) 35 ppm <sub>v</sub> (promedio de 1 h)	9 ppm <sub>v</sub> (promedio de 8 h) 20 ppm <sub>v</sub> (promedio de 1 h)
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	0.023 ppm <sub>v</sub> (promedio anual)	0.053 ppm <sub>v</sub> (promedio anual)	0.030 ppm <sub>v</sub> (promedio anual)
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0.007 ppm <sub>v</sub> (24 hr average)	0.14 ppm <sub>v</sub> (24 hr average)	0.04 ppm <sub>v</sub> (24 hr average)
Plomo (Pb)	0.5 µg/m <sup>3</sup> (promedio anual)	1.5 µg/m <sup>3</sup> (promedio trimestral)	1.5 µg/m <sup>3</sup> (promedio mensual)
Material particulado respirable (PM <sub>10</sub> )	50 µg/m <sup>3</sup> (promedio de 24 h)	150 µg/m <sup>3</sup> (promedio de 24 h)	50 µg/m <sup>3</sup> (promedio de 24 h)
Material particulado fino (PM <sub>2.5</sub> )	25 µg/m <sup>3</sup> (promedio de 24 h) 10 µg/m <sup>3</sup> (promedio anual)	35 µg/m <sup>3</sup> (promedio de 24 h) 15 µg/m <sup>3</sup> (promedio anual)	35 µg/m <sup>3</sup> (promedio de 24 h) 12 µg/m <sup>3</sup> (promedio anual)

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

Se utilizan cuatro métodos para cuantificar la magnitud de las emisiones de contaminantes de aire: 1) medición directa, 2) el enfoque de balance de masa, 3) modelado de proceso y, 4) modelado por factor de emisión.

**Medición Directa:** El muestreo ocurre en la corriente de aire de descarga de la pila. Además de ser un lugar difícil para obtener dichas muestras, el medioambiente en estas corrientes de aire puede ser extremo con respecto a la temperatura, humedad y velocidad de descarga. Esto requiere equipo especializado y caro. Los sensores en dicho equipo son específicos para la instalación de la fuente y los contaminantes emitidos.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

**Enfoque de balance de masa:** El enfoque del balance de masa se puede utilizar para determinar indirectamente la tasa de emisión de algunas fuentes. En su forma más básica, esta medición indirecta es una herramienta de contabilización simple pero útil para el rastreo de contaminantes. También puede ser la manera más fácil para identificar la existencia de emisiones fugitivas o accidentales.

**Modelado de proceso:** Los **modelados de proceso** intentan describir las emisiones como funciones matemáticas o información de proceso relevante. En general, los modelados de proceso tratan de incorporar la física y la química de un proceso que crea los contaminantes específicos. La producción típica son tasas de emisión de contaminantes específicos. Mientras que algunos modelados de proceso están públicamente disponibles, la mayoría son creados dentro de casa por procesos de los dueños o investigadores y por lo tanto son propietarios.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

**Modelado por factor de emisión:** El modelado por factor de emisión se relaciona con la contaminación del aire liberada por una actividad de fuente hacia la magnitud de esa actividad. La proporcionalidad entre las emisiones y la actividad se llama **factor de emisión**. Los factores de emisión son los mejores estimados de los valores más parecidos basados en las revisiones de literatura de mediciones de procesos de emisión de calidad aceptable. Estos factores están expresados como la masa de contaminantes emitidas por peso de unidad, volumen, distancia o duración de la actividad de fuente. Entonces estas mediciones se utilizan para crear los factores de emisión, los cuales pueden ser implementados en los modelados por factor de emisión para predecir las emisiones parecidas de una nueva actividad de fuente.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### Contaminación atmosférica urbana

Existen múltiples fuentes, en su mayoría de origen antropogénico, que contribuyen a contaminar el aire de nuestras ciudades. Algunas de las principales son:

#### ❖ **Emisiones procedentes del tráfico de vehículos**

**Los vehículos que cada día circulan por las ciudades son una de las principales fuentes de contaminación.** En el caso de Europa, se estima que el transporte por carretera genera casi el 40 % de las emisiones de óxidos de nitrógeno. El tráfico también es una fuente significativa de partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> y plomo.

#### ❖ **Consumo de energía**

El **consumo de energía en viviendas, comercios y edificios administrativos** genera un gran volumen de partículas en suspensión. Esta actividad estaría detrás de casi el 60 % de las partículas.

El sector residencial, comercial e institucional también es una de las principales fuentes de monóxido de carbono (CO) y carbono negro.

#### ❖ **Zonas industriales**

Gran parte de las ciudades se encuentran rodeadas por zonas industriales. **Estas áreas concentran empresas más o menos contaminantes que también contribuyen a deteriorar la calidad del aire** en zonas urbanas.

Además de los gases que genera la quema de combustibles fósiles, la industria es responsable de liberar metales pesados tales como el níquel y el arsénico.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### Prevención

#### EQUIPO DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES GASEOSOS:

##### 1- Absorción:

Los equipos están constituidos por elementos que permiten una gran superficie de contacto entre el gas y el líquido, a los efectos de conseguir una buena transferencia. Generalmente, se dispone en formas de columnas con diferentes rellenos.

##### 2- Adsorción:

En este caso se produce un intercambio sólido-gas, y por lo tanto debe conseguirse una gran superficie de contacto entre las dos fases.

**Compuestos Polares:** la adsorción se realiza por combinaciones de tipo químico (bauxita, resina)

**Sólidos o Compuestos No Polares:** la adsorción es de tipo físico (carbón).

Reactivos Químicos: (cal)

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### 3- Reacción Química:

**a- Combustión:** La combustión se realiza para obtener la eliminación de algunos contaminantes combustibles. Se utilizan mecheros de quema, hornos y reactores catalíticos.

**b- Reacciones Específicas:** Existe una serie de reacciones químicas específicas de combustiones especiales para diferentes contaminantes, las que se utilizan de acuerdo a las necesidades.

### **Eliminación del SO<sub>2</sub>:**

La manera más sencilla para eliminar el SO<sub>2</sub> en los efluentes, es sustituyendo el combustible, o procediendo a la desulfuración del mismo. Los principales métodos son:

- 1- Absorción en agua fría y posterior desorción por calentamiento.
- 2- Adsorción en agente alcalino. Existe una serie de adsorbentes que permiten su recuperación y separan el SO<sub>2</sub> de los gases.
- 3- Aditivo en la combustión. En este caso el reactivo se introduce en el horno y el producto sulfatado queda detenido con las cenizas o es captado como partículas en los gases.
- 4- Catálisis. El SO<sub>2</sub> es oxidado a SO<sub>3</sub> recuperado en forma de ácido sulfúrico.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### ***Eliminación del NO<sub>x</sub>:***

Se consigue la disminución en las emisiones de los óxidos de nitrógeno mediante la utilización de combustibles que no contengan nitrógeno orgánico. Igualmente, se mejoran las condiciones con una correcta graduación de la relación aire-combustible, diseño de la cámara, condiciones de mezcla del carburante combustible, temperatura de combustión y ciclo térmico de los gases.

La eliminación de los óxidos de nitrógeno en la misma emisión es compleja, por cuanto el NO, que es el principal óxido presente, es poco reactivo y se presentan interferencias por la presencia conjunta de agua, anhídrido carbónico y anhídrido sulfuroso.

### **Separación de Partículas:**

Existen procedimientos clásicos para la separación de partículas en las emisiones, y la utilización de uno u otro método depende del tamaño de las partículas, del volumen del efluente, de la concentración de las partículas, del rendimiento requerido (o nivel de emisión permitido) y del costo de instalación y operación.

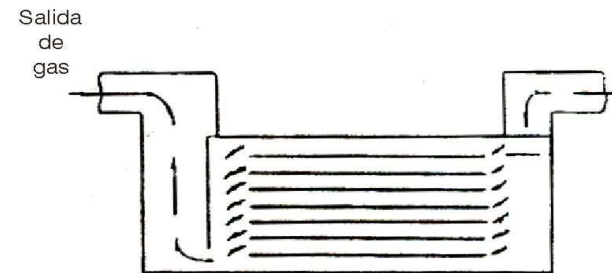
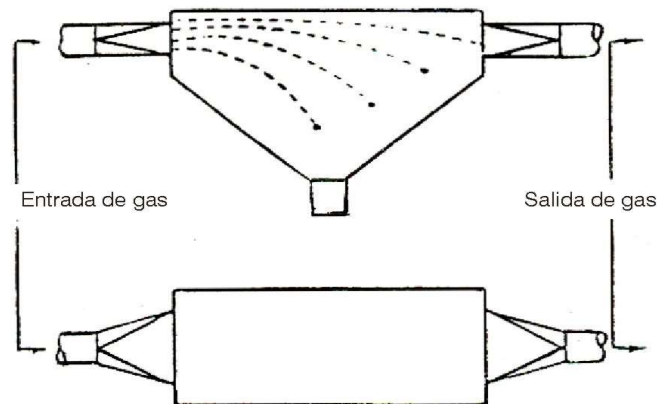
Los principales equipos utilizados para el control son:



## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### 1- Cámaras de Sedimentación:

Consisten en un recipiente a través del cual pasa la corriente de aire, produciéndose una disminución de la velocidad, de forma tal que las partículas pierdan sustentación y sedimenten. Dadas las limitaciones de espacio, se utilizan para separar partículas gruesas y generalmente combinadas con otro sistema de separación



## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

Son utilizados para la captura de partículas de diámetro mayor de 10  $\mu\text{m}$ , aunque sólo atrapan de manera efectiva a partículas de más de 50  $\mu\text{m}$ .

### **Ventajas:**

- Los bajos costos de mantenimiento (no tienen partes móviles) y de operación (pérdidas de presión mínimas).
- La baja velocidad del gas no produce abrasión y muy pocas limitaciones en temperatura de operación y carga residual del efluente.

### **Desventajas:**

- Son equipos de un volumen considerable, no pueden manejar materiales pegajosos, y la baja eficiencia que presentan para partículas medianas y pequeñas.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

De esta manera el dimensionamiento de una cámara de sedimentación dependerá del caudal de gas a tratar (a más caudal mayor sección para que la velocidad se encuentre entre 3 y 0,1 m/s) y de la eficiencia y el tamaño de partícula que queremos separar (una mayor longitud conseguirá las mayores eficiencias). Como normalmente son usados como un pretratamiento para el enfriamiento del gas y la eliminación de las partículas más gruesas, no se usarán longitudes descomunales para mejorar la eficiencia con partículas pequeñas.

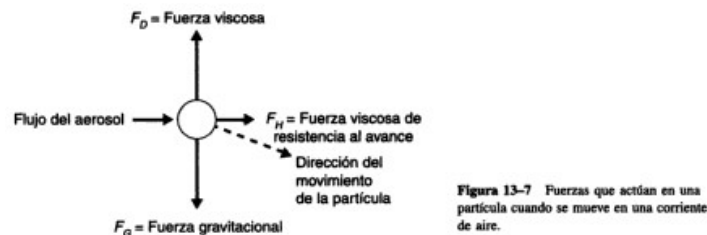


Figura 13-7 Fuerzas que actúan en una partícula cuando se mueve en una corriente de aire.

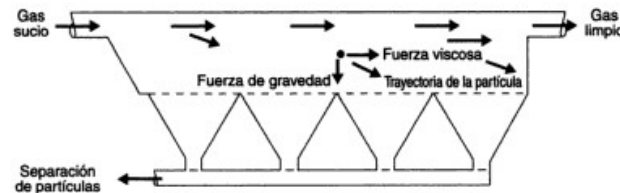
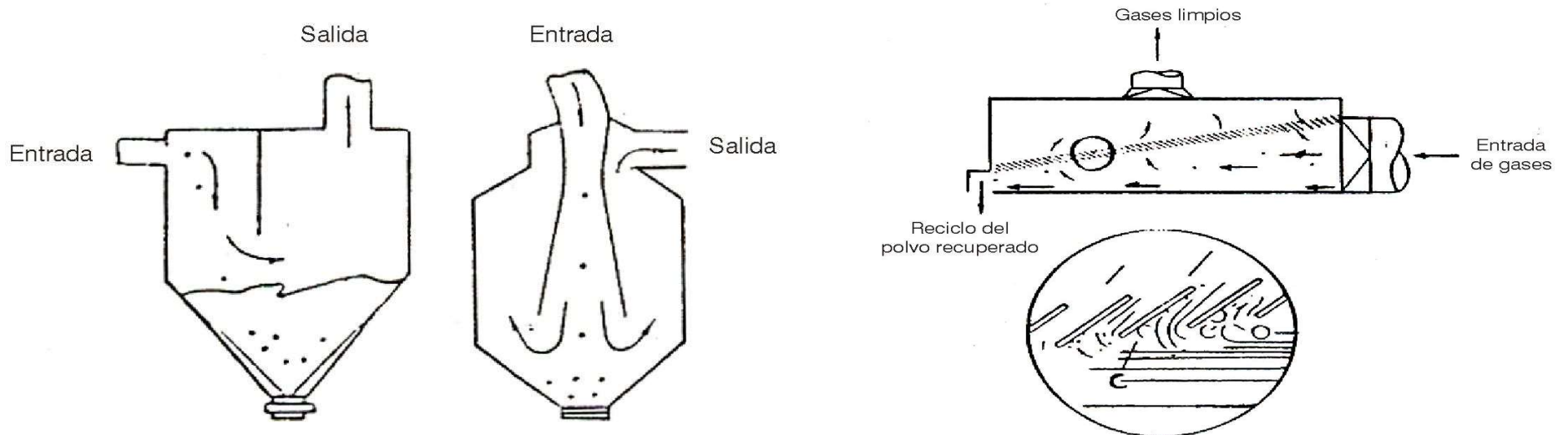


Figura 13-8 Cámara de sedimentación por gravedad.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

**2- Separadores Inerciales:** El principio de funcionamiento de estos equipos se basa en la inercia de partículas, las cuales tienden a seguir el movimiento que poseían, al producirse un cambio de dirección se produce, de esta manera, un desplazamiento de la partícula hacia los bordes del vector y la consiguiente pérdida de velocidad y choque contra las paredes.



## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### 2- Separadores Inerciales:

Las cámaras de sedimentación por gravedad y los separadores inerciales simples no contienen partes móviles. Estos equipos se pueden fabricar con materiales capaces de soportar temperaturas altas y resistir el ataque corrosivo de las partículas o gases, y su eficacia es la misma para partículas sólidas o líquidas.

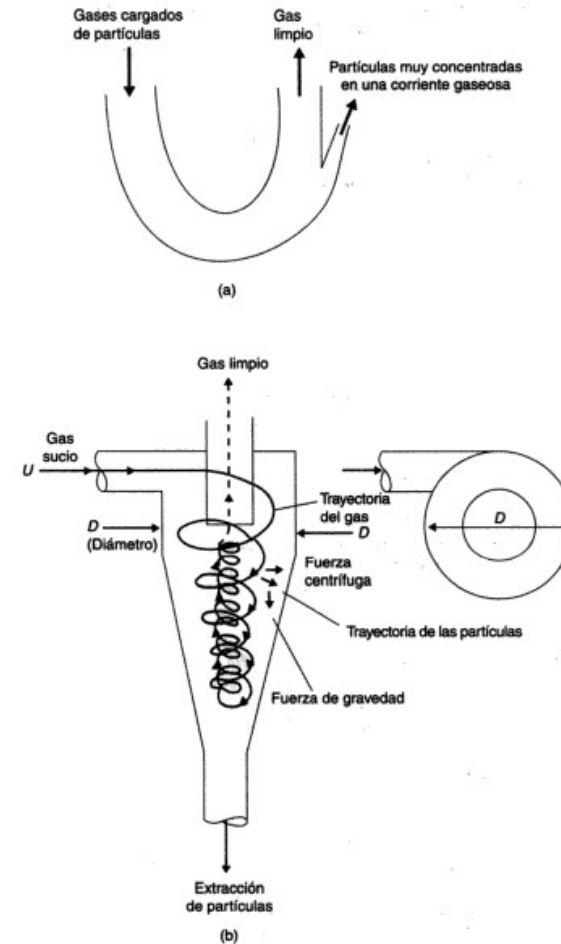
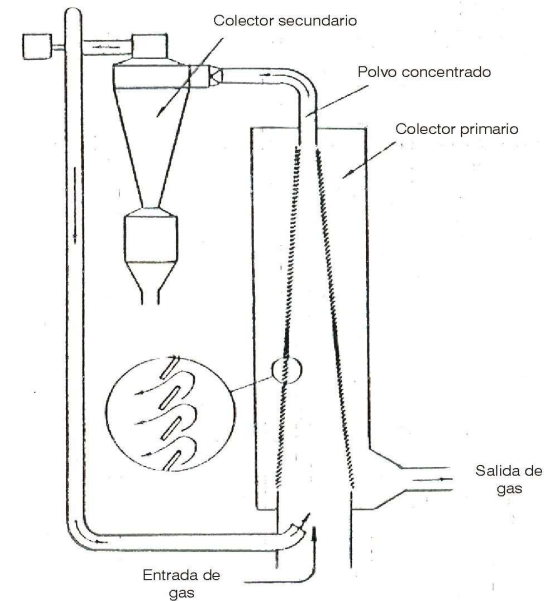
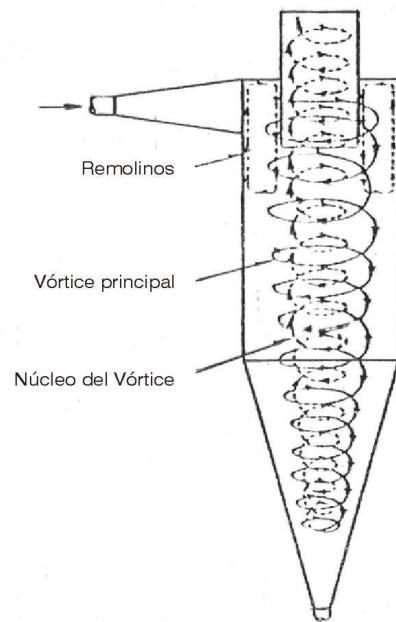


Figura 13-9 Colectores inerciales simples de partículas: (a) sencillo recogedor centrífugo de partículas; (b) colector de ciclón.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

**3- Separadores Centrífugos:** En este tipo de separadores el gas vector se hace entrar tangencialmente en un cilindro y sigue una trayectoria en forma de hélice combinada que imprime a las partículas una elevada fuerza centrífuga que provoca un desplazamiento hacia las paredes, y la consiguiente pérdida de velocidad y deposición.



## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

El principio de funcionamiento es la fuerza centrífuga para separar las partículas mas pesadas de las moléculas de gas que son mas ligeras.

En el ciclón los gases cargados de partículas entran en dirección tangencial respecto a la parte superior y, en teoría, descienden en espiral a lo largo de la carcasa en una rotación de cuerpo sólido, a la velocidad de entrada  $\mu$ . Las partículas emigran hacia el exterior del espiral, donde se deslizan hacia abajo por la carcasa hasta la tolva del fondo. La única salida del ciclón para los gases es en sentido vertical, y para salir, la espiral debe contraerse hasta un diámetro mas pequeño.

La reducción del radio de la trayectoria de las partículas da por resultado una fuerza centrífuga mayor conforme las partículas se mueven hacia el espiral interior.

$$F_c = m_p \times \frac{\mu_T^2}{r}$$

$$F_c = \frac{\pi \times d_p^3}{6} \times \rho_p \times \frac{\mu_T^2}{r}$$

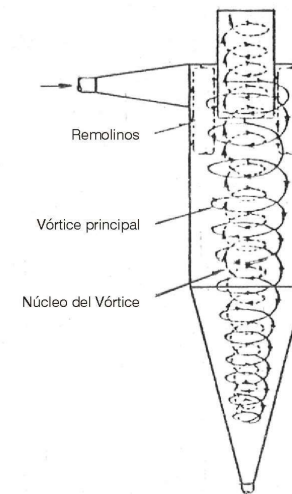
La eficiencia de los colectores centrífugos aumenta:

Directamente con el cubo del diámetro de la partícula.

Directamente con la densidad de la partícula.

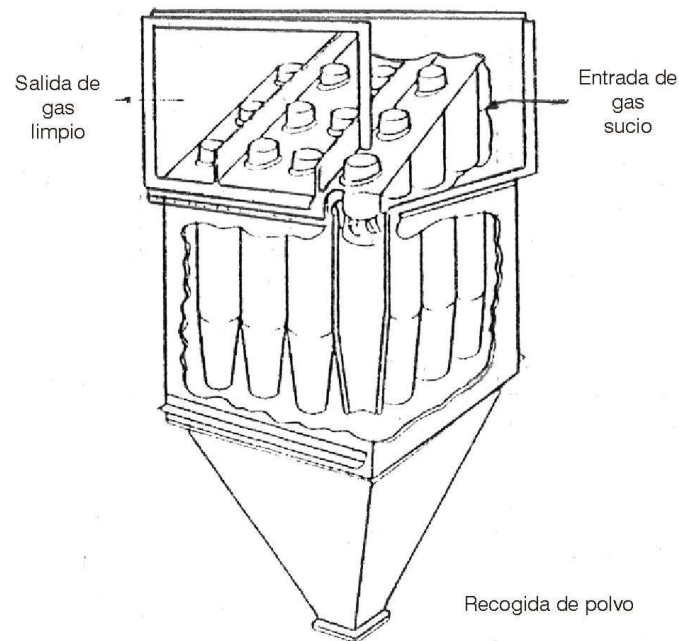
Directamente con el cuadrado de la velocidad tangencial  $\mu_T$  de la partícula del colector.

Inversamente con el radio  $r$  de la trayectoria de la partícula.



## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

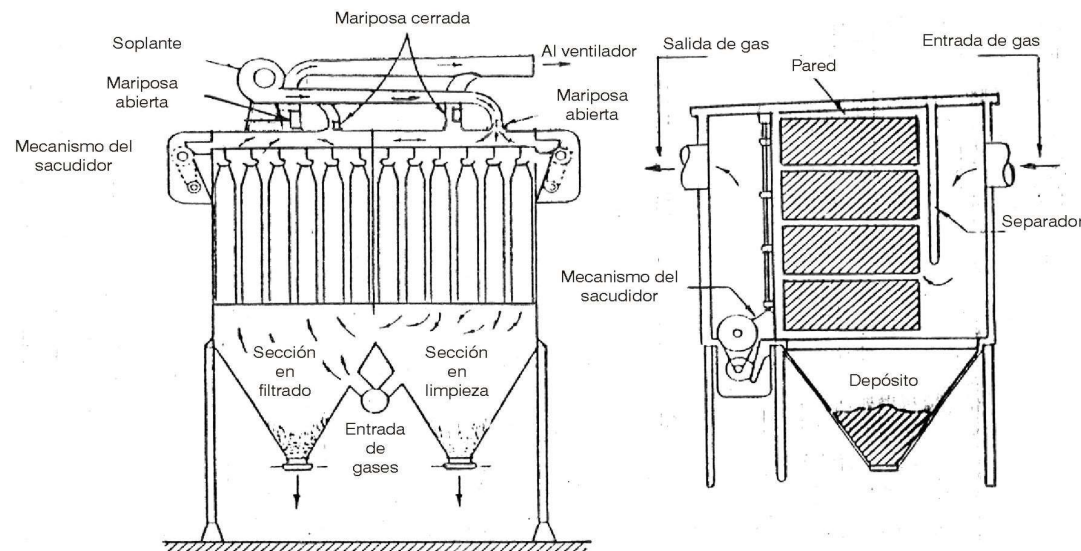
Para mejorar la eficiencia y obtener una mejor colección de partículas de menor diámetro, sin incrementar excesivamente las pérdidas de carga del equipo, se utiliza el multiciclón.





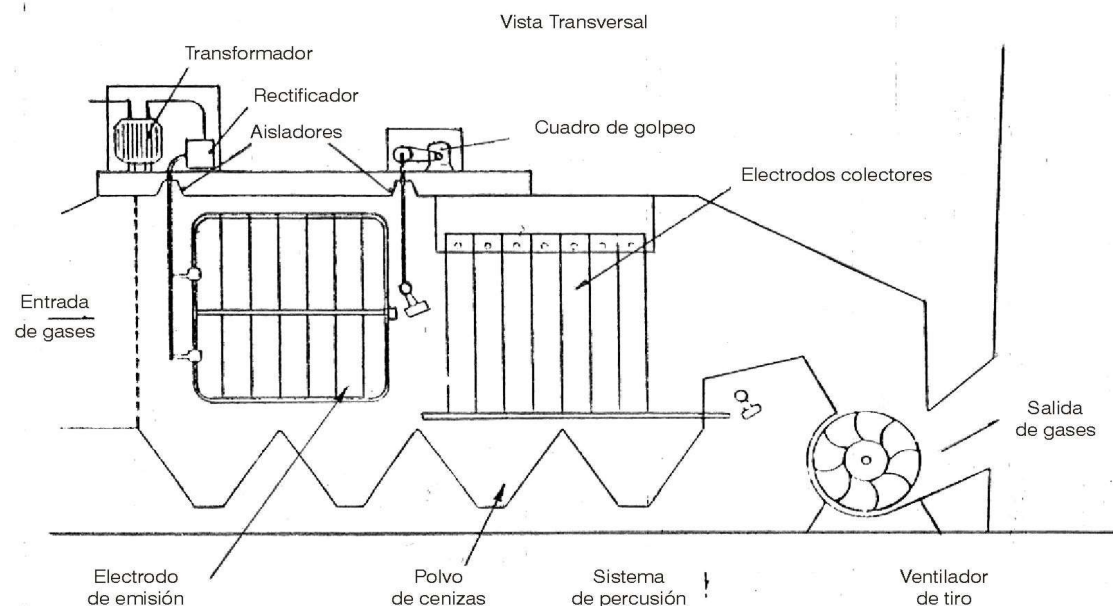
## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

**4- Separadores de Capa Porosa:** Filtros Manga. En estos separadores la retención de las partículas es realizada por una capa de espesor variable. Se adoptan diferentes disposiciones del material poroso a los efectos de obtener máximas superficies con mínimo volúmenes. Como elemento filtrante se utilizan telas de diferentes materiales. El principio de la separación se basa en efectos de tamizado, efectos de impacto, coagulación y retención electrostática.



## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

**5- Precipitación Electrostática:** Es un sistema de captación de polvo de muy alto rendimiento para partículas pequeñas. Básicamente, se hace pasar la partícula por campos eléctricos de elevado potencial, produciéndose una ionización del polvo y una atracción del mismo por los electrodos donde se descarga y se deposita. Posteriormente se elimina por medios mecánicos.



## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

En la figura se muestra un modelo de Precipitador electrostático (PES). La diferencia de voltaje (Intensidad de campo) entre el electrodo y las placas colectoras se mantiene a un nivel tan alto como es posible, aunque por debajo de la intensidad de campo a la cual se produce la chispa. Se desprenden electrones en el electrodo en una descarga en corona, los cuales se adhieren a las partículas y las dotan de carga. Las partículas o moléculas con cargas (iones) de la misma polaridad que el electrodo emigran hacia las superficies conectadas a tierra en virtud de fuerzas electrostáticas. Se pueden utilizar electrodos con carga positiva o negativa. La corona negativa genera una cantidad un poco mayor de O<sub>2</sub> y es algo más eficaz para operaciones industriales.

Los iones que migran o chocan con las partículas líquidas o sólidas de la corriente gaseosa y les confieren una carga que origina el movimiento de las partículas hacia las placas colectoras. La fuerza que actúa sobre la partícula es:

$$F_E = q_p \times E_c$$

Donde:

$F_E$ : Fuerza electrostática que actúa sobre la partícula.

$q_p$ : Carga de la partícula (Coulomb).

$E_c$ : Intensidad de campo eléctrico (V/cm).

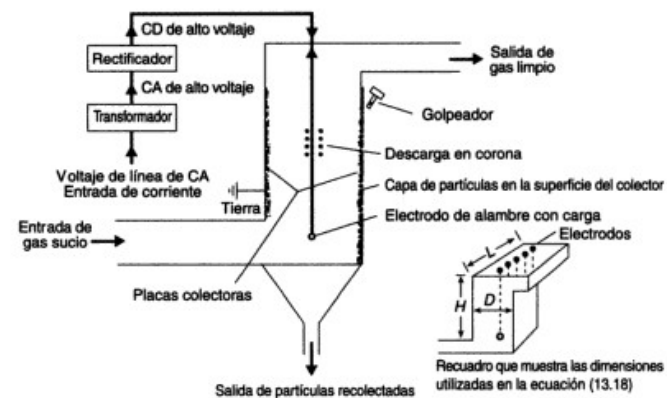


Figura 13-13 Precipitador electrostático elemental.

donde  $F_E$  = fuerza electrostática que actúa sobre la partícula

$q_p$  = carga de la partícula [un valor representativo es  $0.3 \times 10^{-15}$  coulombs (C)]

$E_c$  = intensidad del campo eléctrico (un valor representativo es 10,000 V/cm)

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

Cuando las partículas tocan las placas se adhieren a ellas. Con el tiempo se acumula una capa de partículas que actúan como un manto aislante, y la magnitud de la carga superficial del manto puede aproximarse en efecto a la del electrodo. Este manto se debe retirar de manera continua golpeando las placas verticales para que la capa de partículas se deslice hacia abajo, enjuagando las placas con un líquido, o, si las partículas recolectadas son líquidas, haciendo que escurran por la superficie de las placas como el agua que se condensa en una ventana. Las partículas que caen de la parte inferior de la placa se recogen en tolvas para eliminarlas.

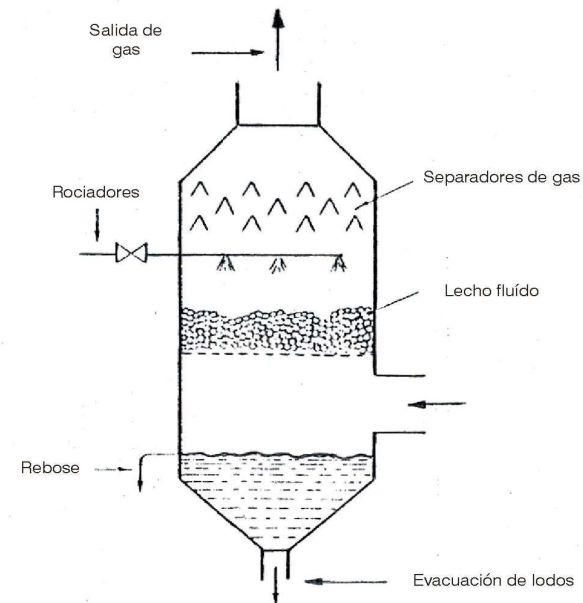
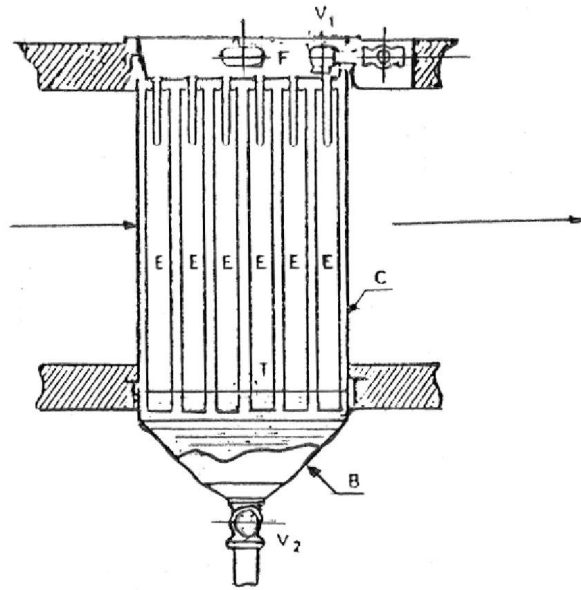
Unas placas representativas pueden tener un tamaño de 13 m x 20 m, con una separación entre placas de 30 a 40 cm.

Las eficiencias de recolección de los precipitadores electrostáticos son hasta un 99 % para partículas mayores de 2 micras a pérdidas de presión de 5 cm de agua mas o menos. Las unidades pueden construirse enteramente de metal, y se utilizan de manera casi exclusiva en procesos que descargan grandes volúmenes de gases corrosivos con un alto porcentaje de partículas mayores de 1 micras.

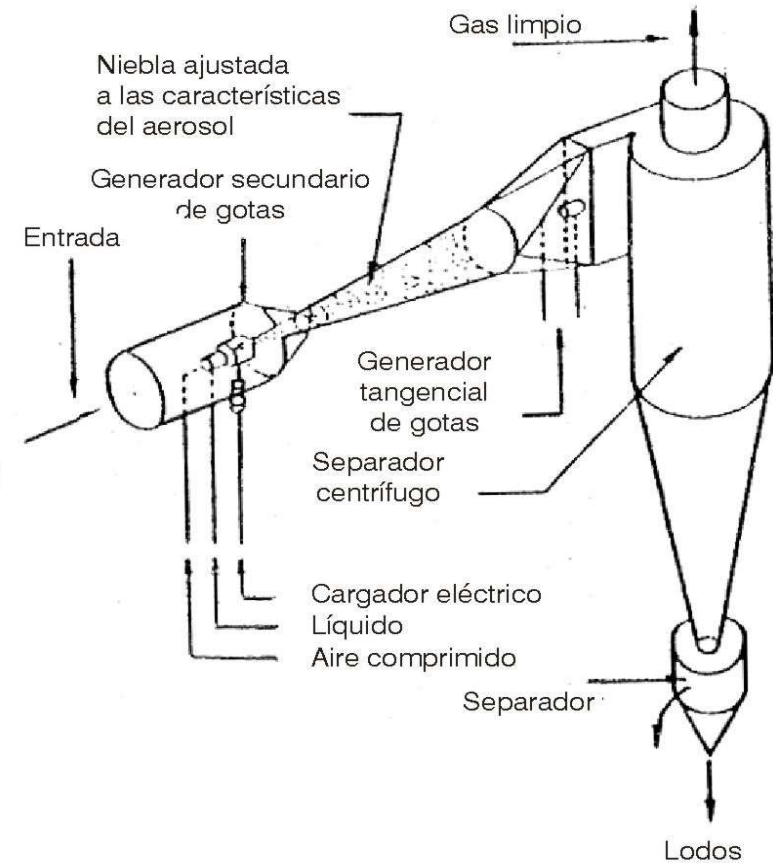
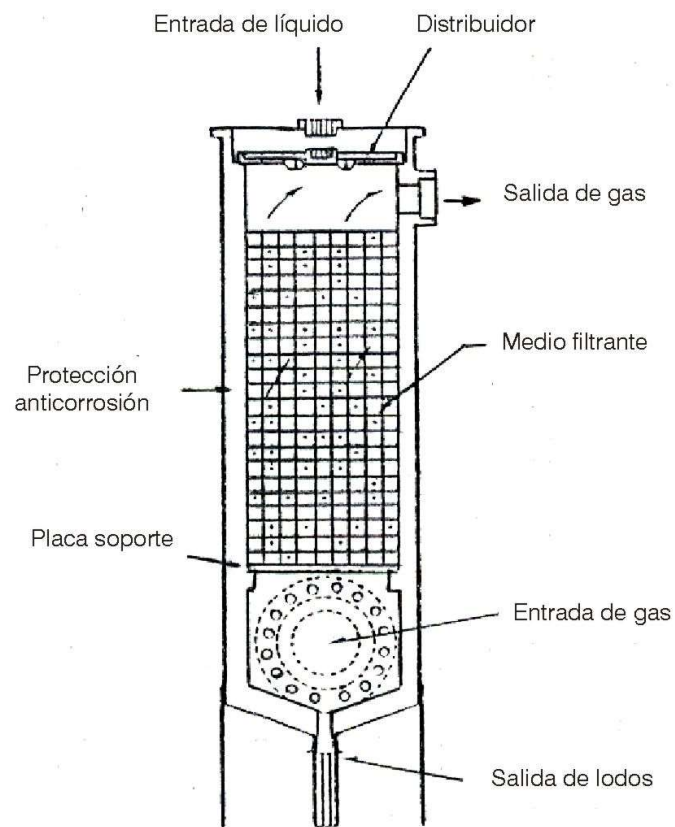
El peligro de incendio y explosión está presente siempre cuando se recolectan partículas combustibles en colectores secos. Estas partículas son especialmente peligrosas en los precipitadores electrostáticos a causa del riesgo de ignición por salto de chispa.

## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

**6- Separadores por Vía Húmeda:** En este tipo de separadores, las partículas son separadas del gas vector mediante la utilización de líquidos, permitiendo a veces combinar separación de gases y partículas. Podemos indicar los aspectos de burbujas, aparatos de condensación y los equipos que combinan el lavado con otros sistemas de separación.



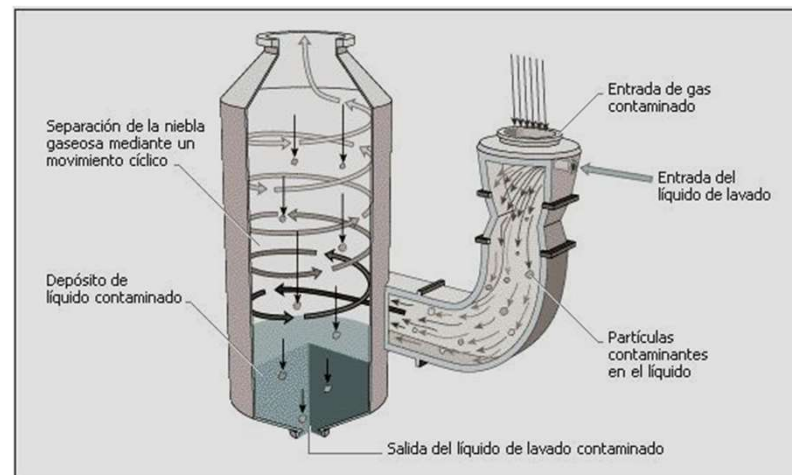
## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS



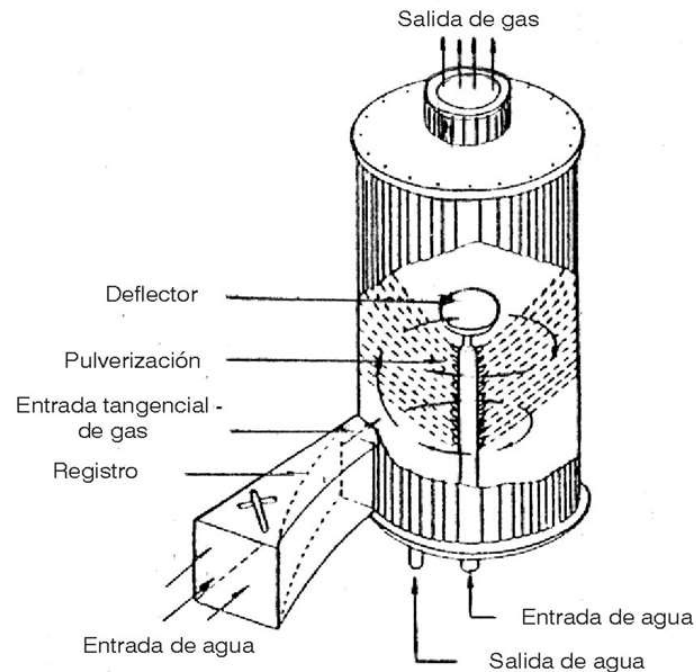
## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS

### Depurador de aire

En un depurador de aire, las partículas contaminantes de las emisiones de gas se separan mediante la pulverización de un líquido de lavado. Este líquido rodea las partículas contaminantes, que son conducidas junto con el gas al interior de un cilindro separador. Mientras el gas se mueve de forma cíclica ascendente a través del cilindro, las partículas cubiertas de líquido caen en un depósito inferior contenido en el mismo cilindro.



## 3.B CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES Y PARTÍCULAS



La selección de uno u otro tipo de separador depende de un balance técnico-económico, el que debe tener en cuenta el tamaño de las partículas a retener, el rendimiento necesario de separación, el costo de instalación y el costo operativo.



# FUNDAMENTOS DEL AMBIENTE EN INGENIERÍA

## 3C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### Propiedades físicas del sonido

#### Ondas Sonoras

El sonido se define como cualquier variación de presión que pueda detectar el oído humano. La variación de presión de sonido más simple (Causada por un tono puro) produce la formación de la onda sinusoidal mostrada en la Figura 1. Algunos de los conceptos elementales del ruido son:

- ❖ **Amplitud (A):** la presión máxima o mínima.
- ❖ **Longitud de onda ( $\lambda$ ):** la distancia entre crestas o senos sucesivos.
- ❖ **Período (P):** el tiempo entre picos o senos sucesivos.



### 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

El periodo y la frecuencia se relacionan mediante:

$$P = \frac{1}{f}$$

La longitud de onda y la frecuencia se relacionan mediante:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

La velocidad del sonido del aire al nivel del mar a 20°C es aproximadamente de 340 m/s. Las ondas sonoras se producen por la vibración de objetos sólidos o por la separación de fluidos cuando éstos pasan sobre, alrededor o a través de agujeros en objetos sólidos. Las vibraciones se caracterizan por su frecuencia, su amplitud y su fase.

La gama auditiva se extiende desde una frecuencia de alrededor de 20 hasta 20000 Hz (1 Hz = 1 ciclo/seg.)

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### El ruido y las personas

El oído se divide anatómicamente en 3 secciones : El oído externo, el medio y el interno.

El oído externo y el medio convierten las variaciones de presión de sonido en vibraciones, además de proteger al oído interno. La percepción del sonido se realiza por las fibras nerviosas del oído interno.

#### ❖ Sonoridad

La sonoridad es la percepción personal de la fuerza de un sonido y en cierta medida es subjetiva. Varía tanto con la magnitud (nivel de presión del sonido) como con el tono (frecuencia).

Además de variar con la frecuencia, la sonoridad varía con el nivel de presión del sonido de modo alineal.

Un incremento de 10 dB equivale a duplicar la sonoridad subjetiva y una disminución de 10 dB se considera como una reducción del sonido a la mitad.

### **3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

La menor diferencia discernible entre dos sonidos idénticos en frecuencia y carácter es de 1 dB, pero se necesitaría una diferencia de 2 a 3 dB para que las personas pudieran notar las diferencias.

Dos sonidos con el mismo nivel de presión de sonidos en decibelios, pero a diferentes frecuencias, se percibirán con diferentes niveles de sonoridad.

El oído es más sensible a las frecuencias en la gama de 1 a 5 kHz. Por lo tanto un sonido a esta frecuencia se calificaría como mucho más que alto que otro al mismo nivel de presión sonora pero a una frecuencia, por ej: de 50 Hz a 10 kHz.

Para compensar la dependencia que la sensibilidad tiene de la frecuencia, los sonómetros incorporan redes de ponderación electrónicas que se corresponden con la respuesta del oído. Se han considerado dos redes principales de ponderación A y C .

La más importante es la A donde es adecuado medir sonidos de frecuencias superiores de 1 a 5 kHz (Escala dBA). La red C incorporan poca modificación por frecuencia, es decir, casi ningún filtrado.

### 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

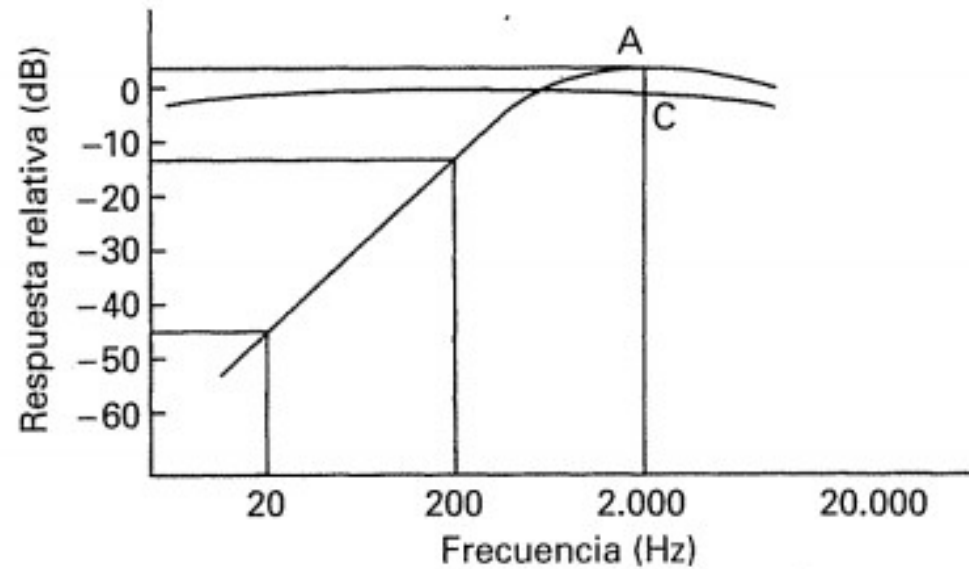


Fig.2: Respuestas de frecuencia de la redes de ponderación A y C

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### ❖ Daño Auditivo

El potencial de daño auditivo de una fuente concreta de ruido no sólo depende de su nivel sino también de su duración. Generalmente se acepta que un medio ambiente sonoro por debajo de 75 dB no es dañino (aunque niveles muchos más bajos puedan causar molestias y alteraciones del sueño), mientras que un sonido simple superior a 140 dB puede causar un daño auditivo permanente.

Entre estos dos niveles, la cantidad de daño auditivo varía con el nivel de sonido, el tiempo de exposición y la sensibilidad individual al ruido.

Otros factores contribuyentes son el número y duración de los periodos de tranquilidad entre exposiciones, el tipo de sonido (continuo, intermitente o impulsivo) y su distribución de frecuencia.

La normativa de la UE (86/188/CEE), especifica que se deben tomar determinadas medidas cuando la exposición personal diaria (equivalente a 8 hrs) de un trabajador al ruido pueda exceder los 85 dBA o cuando el valor máximo de la presión de sonido instantáneo no ponderado pueda ser mayor a 200 pa, el equivalente a 140 dB.



## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### ❖ Interferencia en el habla

La calidad de la comunicación oral depende del nivel de ruido y de la distancia. También puede variar con los individuos involucrados.

Para una conversación normal aproximadamente a 1m de distancia, el ruido de fondo no debería exceder los 70 dBA.

Las conversaciones a gritos a la misma distancia son viables hasta aproximadamente los 85 dBA.

Para permitir una conversación normal a distancias de alrededor de 5 metros, se necesitaría un nivel de ruido de fondo por debajo de los 50 dBA.

Las conversaciones telefónicas satisfactorias necesitan unos niveles de fondo inferiores a 80 dBA aproximadamente.

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### ❖ Interferencia en el trabajo

Cuando el trabajo no implica comunicación oral, es difícil determinar los efectos de los niveles de ruido en el cumplimiento de aquel.

Unos niveles más altos de ruido pueden reducir la precisión más que la cantidad de trabajo llevado a cabo.

Los ruidos constantes parece que tienen poco efecto en el cumplimiento laboral a menos que el nivel de ruido ponderado en A exceda los 90 dB aproximadamente (Davies y Cornwell, 1991).

No obstante, los ruidos irregulares, como golpes secos o estallidos, pueden interferir con el cumplimiento a niveles más bajos de ruido. Por lo tanto, es aconsejable separar dichos ruidos del de fondo.

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### ❖ Molestias

Las molestias causadas por el ruido varían enormemente entre las personas. El alcance de la molestia de un sonido dado depende no sólo del nivel del sonido y de su duración sino también del oyente y de la actividad llevada a cabo en ese momento.

No es posible establecer niveles de ruido por debajo de los que nadie se molestará y por encima de los que todo el mundo se molestará. De acuerdo con un grupo de trabajo de la OMS, los niveles de ruido diurno de menos de 50 dBA al aire libre pueden conllevar molestias poco o nada serias en la comunidad (OCDE 1986).

Sin embargo, Herbert et al. (1989) han constatado unos umbrales de queja más bajos y un porcentaje significativo de la comunidad puede molestarse con niveles inferiores a 50 dBA.

A causa de las diferencias entre personas y lugares, es difícil calcular el nivel de ruido por debajo del cual no se producirá interferencia en el sueño.

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### Estándares de ruido

#### ❖ Niveles permisibles de exposición al ruido del Departamento de Trabajo de EEUU.

El departamento de Trabajo de EEUU (1971 a 1979) definió la duración máxima permisible de exposición a los niveles de ruido que se reproduce en la siguiente tabla.

Nivel del sonido (dBA)	Duración (h/día)
90	8
92	6
95	4
97	3
100	2
102	1,5
105	1
110	0,5
115	<0,25

**Tabla 2: Niveles permisibles de ruido ocupacional del Departamento de Trabajo de EEUU.**

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### Contaminación sonora

El **ruido** se define como un sonido no deseado , por lo que se puede considerar como el sonido inadecuado en el lugar inadecuado en el momento inadecuado.

El **grado de indeseabilidad** es, con frecuencia, una cuestión psicológica puesto que los efectos del ruido pueden variar desde una molestia moderada a la pérdida permanente de la audición y pueden valorarse de manera diferente por diferentes observadores. Por tanto, los beneficios de reducir un ruido específico con frecuencia son difíciles de determinar.

El ruido afecta a los habitantes, seres humanos, fauna, etc., en el medio natural. Aunque el impacto de una fuente de ruido concreta se limita a un área específica, el ruido es tan penetrante que es casi imposible evitarlo.

Las **fuentes habituales de ruido** incluyen el tráfico, la industria y los vecinos, siendo generalmente estos últimos los más molestos, si bien el ruido industrial es habitualmente el origen de la mayoría de las quejas acústicas.

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### Efectos sobre la salud humana, sobre los animales, la vegetación y los materiales

#### **Efectos sobre salud humana**

Los impactos a la salud del ser humano provocadas por el Ruido pueden observarse desde lesiones permanentes sobre el sistema auditivo hasta efectos permanentes o transitorios sobre el sueño, funciones fisiológicas, conducta, rendimiento o combinación de éstos.

En ambiente laboral, estos efectos pueden magnificarse en función a su presencia permanente en ese ambiente a niveles no recomendados, lo que resulta con el tiempo, en una enfermedad laboral. En tal sentido, la observación de este tipo de situaciones sobre el personal expuesto a ese tipo de ambientes condujo a la elaboración de una Legislación Laboral que estableció niveles y tiempos de exposición a ruidos, exigiendo en ciertos casos la protección obligatoria del operario.

En cuanto a similar situación de exposición a ruidos por parte de la población dentro del ambiente público, no se ha logrado todavía una normativa estricta que regule el Ruido Ambiente a fin de que sus niveles impidan efectos sobre la salud

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### Efectos sobre salud humana

<b>Contaminante</b>	<b>Efecto sobre la salud</b>
<i>Asbesto</i>	Provoca asbestosis, cáncer pulmonar y pleural y un tipo de cáncer a cavidad torácica o abdominal.
<i>Berilio</i>	Causa beriliosis, caracterizada por dolores de pecho, pérdida de peso, baja presión sanguínea y abultamiento de los órganos. Provoca cáncer en los animales.
<i>Mercurio</i>	Origina enfermedades del sistema nervioso central y daño cerebral y la muerte. El Hg orgánico produce pérdida de sensibilidad, pérdida de coordinación, habla confusa, etc.
<i>Cloruro de Vinilo</i>	Causa una rara forma de cáncer, el angiosarcoma y otras forma de cáncer, al menos en los animales.
<i>Benceno</i>	Produce leucemia y otros males sanguíneos. Produce daño neurológico.
<i>Arsénico Inorgánico</i>	Causa daño a la piel y al pulmón.
<i>Emanaciones de hornos de Coque</i>	Produce cáncer al pulmón, a la próstata y los riñones.

## **3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

### **Efectos sobre animales**

Se han realizado estudios de laboratorio tendientes a determinar los efectos de diferentes contaminantes sobre animales pequeños.

La susceptibilidad varía con las diferentes especies para los diversos contaminantes (derivados del azufre, oxidantes, fluor, compuestos del nitrógeno, combinaciones de hidrocarburos y sílice).

### **Efectos sobre los vegetales**

Normalmente los contaminantes son absorbidos en el proceso de respiración de la planta y actúan en forma directa como inhibidores de la fotosíntesis. Estos contaminantes se deben a la alta actividad de smog fotoquímico, del cloro, el anhídrido sulfuroso y compuestos orgánicos oxigenados.



## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### Efecto sobre los materiales

<b>Material</b>	<b>Daños</b>
<i>Metales</i>	Se produce la corrosión de los metales cuando hay atmósferas contaminadas y mucha humedad.
<i>Pinturas</i>	El $\text{SO}_2$ y el $\text{H}_2\text{S}$ actúan sobre la pigmentación de las pinturas, cambiando el color de las mismas.
<i>Materiales de Construcción</i>	Las partículas sólidas de gran tamaño producen abrasión y sedimentación. Los contaminantes de carácter ácido, como $\text{SO}_2$ y $\text{SO}_3$ , son capaces de reaccionar con la piedra caliza en ambientes húmedos, para formar sulfatos hidratados solubles en agua.
<i>Cauchos y Elastómeros</i>	Los oxidantes, que contaminan el aire, actúan sobre los enlaces dobles, lo cual produce roturas de uniones moleculares.
<i>Textiles</i>	Los óxidos de azufre son compuestos capaces de atacar fibras textiles naturales y sintéticas, se producen roturas con gran facilidad cuando las telas se encuentran sometidas a tensiones.

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Otros contaminantes: por vibraciones, radiación electromagnética y radioactividad

### *Contaminación electromagnética*

Se llama contaminación electromagnética a la **presencia excesiva de radiación de cualquier espectro electromagnético**. La contaminación electromagnética se produce cuando cualquier organismo vivo pasa un largo período de tiempo en contacto, tanto de forma directa como indirecta, con cualquier fuente de radiación capaz de producir un campo electromagnético.

No existe un consenso acerca de la existencia de la contaminación electromagnética, pero sí que hay teorías que afirman que los campos electromagnéticos pueden afectar al bienestar y a la reproducción de los seres vivos. Según estas hipótesis, los campos electromagnéticos sí que consiguen producir estos efectos de desequilibrio en los seres vivos.

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### Causas de la contaminación electromagnética

Hay varias fuentes que son capaces de generar este tipo de contaminación. La mayoría de estas fuentes proceden de la actividad humana y, sobre todo, cuanto mayor es el **avance tecnológico de la sociedad**, por lo que es una contaminación bastante moderna. Aunque no se conocen todas las fuentes, algunas de las **causas del electrosmog o contaminación electromagnética** son:

- Las antenas de telefonía.
- Las conexiones Wifi.
- Las líneas de alta tensión.
- Las subestaciones eléctricas.
- Los centros de transformación.
- Las conexiones WLAN (inalámbrica).
- Los radares.
- Las conexiones de Bluetooth.

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### Posibles efectos y consecuencias de la contaminación electromagnética

Los efectos que produce este tipo de contaminación aun no se encuentran totalmente definidos. De todos modos, con los estudios ya realizados, por el momento se considera que las consecuencias del electrosmog son:

- Puede provocar distintos problemas neurológicos: algunos ejemplos de estos problemas pueden ser la **astenia, los temblores, la irritabilidad, la migraña y otros.**
- Puede producir algunas **alteraciones cardiovasculares:** se piensa que este tipo de contaminación puede provocar variaciones en la **tensión arterial, frecuencia cardíaca o cambios en la circulación periférica.**
- Puede provocar **problemas reproductivos:** ya que puede modificar los ciclos menstruales en la mujer, lo que puede producir problemas de infertilidad y problemas en la gestación. Además, es posible que disminuyan la libido sexual.
- Puede estar entre los factores que **predispongan al desarrollo de cáncer o tumores: sabemos que la radiación es uno de los factores que afectan al ADN de las células, por tanto, la exposición a elevadas radiaciones, puede afectar a la hora de predisponer al desarrollo de tumores.**

### 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

- Puede producir **problemas hormonales**: es posible que la radiación produzca cambios en la producción de hormonas sexuales. Además, los seres vivos son capaces de adaptar sus ciclos biológicos al momento del día, a través de la hormona melatonina y la radiación puede afectar a la producción de esta hormona, produciendo alteraciones asociadas.
- Puede producir **problemas dermatológicos**: como dermatitis o alergias cutáneas.
- Puede provocar **problemas en el sistema inmune**: estos problemas pueden predisponer al desarrollo de enfermedades infecciosas o tumorales.
- Puede producir **fuertes dolores de cabeza, cefaleas o migrañas**.

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### *Contaminación radiactiva*

Se denomina contaminación radiactiva a la contaminación que se produce en el aire, el agua, el suelo y otros materiales debido a sustancias radiactivas. Estas sustancias radiactivas pueden ser de:

**Origen natural:** los elementos radiactivos se producen en el medio ambiente.

**Origen artificial:** tienen la capacidad de emitir radiactividad, es decir, de emitir protones, rayos gamma y electrones desde sus núcleos.

Profundizando un poco más, **la radiactividad se trata de un fenómeno físico que se basa en la capacidad que tienen los núcleos de algunos elementos químicos de producir radiaciones. Entre sus principales características destaca que son capaces de ionizar gases, producir fluorescencia (capacidad de reflejar la luz), imprimirse en placas radiográficas o atravesar cuerpos opacos.**

**En cuanto a las radiaciones de origen natural, o radiaciones de fondo, son aquellas en las que están implicados los rayos cósmicos, radiaciones procedentes del espacio exterior de gran energía, y que incluye elementos como el radio, uranio, torio, radón, potasio o carbono.**

**Por otro lado, las radiaciones artificiales hacen referencia a las que se producen de forma artificial por la actividad del hombre, como pueden ser los procesos de extracción y refinamiento del plutonio o el torio y de las que hablaremos más adelante, pues son una de las principales causas de contaminación radiactiva.**

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### Causas de la contaminación radiactiva

**Las causas de la contaminación radiactiva, en general, hacen referencia a la radiación artificial.** En el caso de las radiaciones naturales, los gases y partículas que se producen por los materiales que emiten radiactividad son transportados a través del viento y caen con la lluvia hasta el suelo por un fenómeno denominado precipitación nuclear.

Las **principales causas de la contaminación radiactiva** por radiaciones artificiales son la utilización de estos materiales radiactivos y la exposición de residuos liberados sin su correcto almacenaje, aunque también destacan causas como:

- **Ensayos militares** con materiales radiactivos realizados al aire libre en los que los gases que se producen van a parar a la atmósfera, donde quedan retenidos. Por otro lado, los restos sólidos son susceptibles de terminar en masas de agua, donde producen la alteración de éstas. Aunque en ocasiones se emplea uranio empobrecido debido a su menor radiactividad, no deja de ser una potencial fuente de contaminación.

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

- **Prácticas médicas habituales** que generan residuos radiactivos a través de la medicina nuclear y la radioterapia. Algunos de estos residuos engloban material de laboratorio, instrumentos que han sido expuestos a estas radiaciones, aguas residuales...
- **Actividades industriales para la producción de energía nuclear, como la fabricación de combustibles nucleares o el uso de reactores nucleares en potencia que aprovechan la energía térmica generada mediante el proceso de fisión.** Obviamente es una causa muy importante de este tipo de contaminación pues en las centrales nucleares se emite una gran cantidad de sustancias radiactivas a la atmósfera, aunque estas emisiones se encuentran limitadas por la ley. Por otro lado, no solo son un problema estas emisiones, sino que además **provoca que las personas se encuentren más expuestas a los radioisótopos que se generan de forma natural en estas industrias, como, por ejemplo, en la minería de radón o de uranio.**
- **Vertido de desechos nucleares en el medio ambiente. Por ejemplo, a través de la refrigeración de los reactores nucleares con agua, que tras ser utilizada se devuelve al mar o al río con su correspondiente contaminación.**
- **Accidentes humanos** durante la producción de radioisótopos, como ocurrió en Chernóbil, con la fuga de estroncio-90 que afecta al calcio y a los huesos, o el terremoto y tsunami del Japón 2011. En estos accidentes los elementos radiactivos se esparcieron a través del mar, el suelo y la atmósfera.



## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### Efectos sobre el organismo

Estos efectos varían en función del organismo y, como dijimos, del nivel de radiación, así como de los tejidos y órganos afectados. En cualquier caso, es seguro que **las partículas radiactivas destruyen progresivamente las células del cuerpo humano, llegando a dañar su ADN**. Todo ello desemboca en:

- Defectos genéticos.
- **Cáncer**. El cáncer de tiroides es muy frecuente debido a que dicha glándula absorbe las partículas de yodo radiactivas. Además, otros cánceres comunes son el cáncer de huesos y los tumores cerebrales.
- Problemas en **la médula ósea**. Ésta se ve muchas veces afectada, pudiendo la persona presentar anemia y leucemia.
- **Infertilidad y malformaciones en el feto**, así como problemas en la descendencia asociados al crecimiento y aprendizaje, pudiendo presentar cerebros y cráneos pequeños.
- **Sistema inmunitario debilitado**, lo cual aumenta el riesgo por infecciones bacterianas y otras patologías.
- **Alteraciones gastrointestinales**.
- **Problemas de salud mental**, como la angustia emocional y psicológica ante emergencias que involucran peligros de radiación.
- **En exposiciones prolongadas o de alto nivel, puede ocasionar la muerte**.

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### Efectos sobre el medio ambiente

Aunque la naturaleza emite radiactividad de forma natural la corteza terrestre retiene las emisiones para que éstas no se extiendan y produzcan daños. **El problema llega cuando estas partículas producidas en centrales nucleares sobrepasan los muros y llegan a la atmósfera, agua, o suelo, siendo altamente susceptibles de expandirse y contaminar los alrededores rápidamente.**

### Soluciones de la contaminación radiactiva

Para la prevención y el control de la contaminación radiactiva la principal medida que se toma ante los residuos radiactivos es su aislamiento y **almacenaje en contenedores especializados**, pues la radiactividad se va reduciendo con el paso del tiempo. Dependiendo del tipo de residuo estarán más o menos tiempo aislado.

De forma complementaria a la medida anterior, se debe de garantizar una **eliminación adecuada de estos residuos radiactivos**. Una de las formas sugeridas es almacenar estos residuos y enterrarlos bajo el mar, pues se ha sugerido que el movimiento de las olas a esta profundidad ayuda a desactivar estos residuos de manera más rápida.

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Otras medidas más enfocadas al **ámbito preventivo de este tipo de contaminación** serían:

- Buscar otras fuentes de energía para reducir el número de plantas de energía nuclear y los riesgos asociados que conllevan.
- Mantener las centrales nucleares a un radio mínimo de 300 kilómetros de los centros urbanos.
- Utilizar la mínima cantidad posible de material radiactivo.
- Aunque puede resultar ambicioso, es obvio que una de las medidas cruciales es deshacerse de las armas nucleares para eliminar los riesgos que conllevan.
- Advertir claramente a la población y a los trabajadores que estén en contacto con estas fuentes de contaminación sobre los efectos que pueden producir. Estos materiales radiactivos pueden contaminar la piel o la ropa y a través de ella expandirse y contaminar lo que se encuentre a su paso. Además, los empleados de estas plantas nucleares deben estar informados de las graves consecuencias que puede producir un error humano en este entorno.
- Educar a la población próxima a zonas de peligro radiactivo para prevenir posibles accidentes.
- Mantener una vigilancia ambiental y personal, para asegurar la protección.

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### *Contaminación por vibraciones Mecánicas*

Las vibraciones penetran en el organismo por las extremidades (vibraciones mano-brazo) o por el resto del cuerpo (vibraciones de cuerpo entero) por las extremidades inferiores o por estar sentado sobre una superficie que emite vibraciones pudiendo producir daños a la salud de los trabajadores expuestos a ellas.

### **Vibraciones**

Se puede definir la vibración como el movimiento oscilante de un sistema mecánico elástico, respecto a una posición de referencia, movimiento de un cuerpo sólido alrededor de su posición de equilibrio sin que exista desplazamiento neto del objeto que vibra.

La frecuencia de vibración, que se expresa en ciclos por segundo, es decir, hertzios (Hz), afecta a la extensión con que se transmiten las vibraciones al cuerpo, tanto a las propias extremidades como al resto del organismo.

Podemos diferenciar las vibraciones en las de frecuencias altas que se observan en las herramientas que transmiten la vibración a mano-brazo (alta frecuencia), de las de las vibraciones que se transmiten a cuerpo entero (bajas frecuencias).

## 3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

### **Población de riesgo**

Trabajadores expuestos de forma continuada a riesgos derivados de vibraciones mecánicas y/o a niveles de vibraciones que superen los niveles de acción establecidos. La Evaluación de riesgos será la que determine la existencia o no de la exposición y su intensidad.

### **Afecciones vasculares (Síndrome de afectación vascular):**

- o Trabajos en los que se produzcan vibraciones transmitidas a la mano y al brazo por gran número de máquinas o por objetos mantenidos sobre una superficie vibrante (Frecuencia de 25 a 250 Hz.) como manejo de martillos neumáticos, punzones, taladros, taladros a percusión, perforadoras pulidoras, esmeriles, sierras mecánicas, desbrozadoras.

- o Utilización de remachadoras y pistolas de sellado.

- o Trabajos que exponen al apoyo del talón de la mano de forma reiterativa, percutiendo sobre un plano fijo y rígido, así como los choques transmitidos a la eminencia hipotecar por una herramienta percutante.

## **3.C OTRAS FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

### **Alteraciones osteoarticulares**

Las actividades que exponen a vibraciones de cuerpo entero están ligadas principalmente a la conducción de vehículos y máquinas o a plataformas o pisos sometidos a vibración, indicadas en el Anexo II del RD 1299/2006, como enfermedades provocadas por vibraciones verticales repetitivas: discopatías de la columna dorsolumbar causadas por vibraciones verticales de todo el cuerpo.

**FUNDAMENTOS AMBIENTALES EN INGENIERÍA**

**FIN**

**MUCHAS GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN**