

## V. MANEJO DE LA CONTAMINACION DEL AIRE PRODUCIDA POR FUENTES ESTACIONARIAS

### 5.1 CONTAMINACION AMBIENTAL

#### 5.1.1 DEFINICION

Se entiende como contaminación el conjunto de efectos que alteran la pureza del aire, de las aguas o de la tierra, o dicho de otra forma, del ambiente en el que se desarrolla toda forma de vida.

#### 5.1.2 CAUSAS

Las causas de la contaminación son muy variadas, pero podemos decir que el ser humano es el causante principal de la contaminación, ya que éste se encarga de llevar a cabo acciones dirigidas a satisfacer sus necesidades, en ocasiones, aún a costa de la alteración y consecuente daño ecológico del lugar. Las actividades realizadas por el hombre que causan contaminación son de tipo:

##### 1. Productivas

- Industria
- Agricultura
- Explotación de recursos renovables
- Explotación de recursos no renovables

##### 2. No productivas

- Transporte
- Domésticas
- De servicios

#### 5.1.3 EFECTOS

Los efectos de la contaminación están clasificados en:

##### 1. Biológicos

- Ecológicos
- Toxicológicos

## **2. No biológicos**

Estéticos

Físicos

Económicos

## **5.2 CONTAMINACION DEL AIRE**

De acuerdo al Consejo de Europa, (Enc. Hispánica, v. 4, p. 256; 1990), existe contaminación del aire cuando la presencia de una sustancia extraña o la variación importante en la proporción de los constituyentes del mismo es susceptible de provocar efectos perjudiciales o de crear molestias. Estas sustancias extrañas se conocen como agentes contaminantes, que pueden ser monóxido de carbono, partículas, óxidos de azufre, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno.

Entre las causas más comunes de contaminación del aire se tiene a: las actividades industriales, las combustiones, la emisión de residuos de combustibles procedentes de vehículos de motor y el desecho de productos químicos, con frecuencia tóxicos, por fábricas y laboratorios.

### **5.2.1 CLASIFICACION**

#### **De acuerdo a la fuente**

Los contaminantes del aire se pueden clasificar en dos categorías:

- 1) los naturales y
- 2) los creados por el hombre.

Las fuentes naturales de contaminantes del aire incluyen:

- \* Polvo arrastrado por el viento
- \* Cenizas y gases volcánicos
- \* Ozono producido por las descargas eléctricas y presente en la capa de ozono
- \* Esteres y terpenos de la vegetación
- \* Humo, gases y ceniza flotante de los incendios forestales
- \* Pólenes y otros aeroalergenos
- \* Gases y olores producto de la descomposición natural
- \* Radiactividad natural

Estas fuentes son las que constituyen la contaminación de fondo y son la parte del problema de contaminación sobre la cual las actividades de control tienen poco o ningún efecto.

Las fuentes de contaminantes creadas por el hombre están relacionadas con un amplio espectro de actividades físicas y químicas, y son los principales factores de contaminación del aire urbano. De ahí que exista una marcada proporcionalidad entre el grado de desarrollo de una región y su nivel de contaminación.

### **Según el origen y el estado de la materia**

Según el origen y el estado de la materia, los contaminantes del aire se clasifican en:

#### **1. Origen:**

##### **a) Primario**

Emitido directamente del proceso a la atmósfera

##### **b) Secundario**

Formado en la atmósfera, como resultado de una reacción química.

#### **2. Estado de la materia:**

##### **a) Gaseoso**

Gases verdaderos como bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono, etc.; o vapores de gasolina, disolventes de pinturas, etc.

##### **b) Partículas**

Sólidos o líquidos finamente divididos; sólidos como polvo y humo; líquidos como gotitas, nieblas y vapores.

### **Contaminantes gaseosos**

Los contaminantes gaseosos pueden a su vez clasificarse como orgánicos o inorgánicos.

Los contaminantes inorgánicos incluyen:

1. Gases de azufre (bióxido y trióxido de azufre, ácido sulfúrico)
2. Oxidos de carbono (monóxido y bióxido de carbono)
3. Gases de nitrógeno (Óxidos nitroso y nítrico, bióxido de nitrógeno y otros óxidos nitrosos)
4. Halógenos y haluros (cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno, cloro, flúor, y tetrafluoruro de silicio)
5. Productos fotoquímicos (ozono, oxidantes)

6. Cianuros (cianuro de hidrógeno)
7. Compuestos de amonio (amoniaco)

Mientras que los contaminantes orgánicos incluyen:

1. Hidrocarburos
  - a) Parafinas (metano, etano, octano)
  - b) Acetileno
  - c) Olefinas (etileno, butadieno)
  - d) Aromáticos (benceno, tolueno, benzopireno)
2. Compuestos alifáticos oxigenados
  - a) Aldehídos (formaldehído)
  - b) Cetonas (acetona)
  - c) Ácidos orgánicos
  - d) Alcoholes
  - e) Haluros orgánicos (cloruro de cianógeno, cianuro de bromobencilo)
  - f) Sulfuros orgánicos (sulfuro de dimetilo)
  - g) Hidroperóxidos orgánicos (nitrato o nitrilo de peroxiacilo)

#### **Contaminantes en partículas**

Se entiende como partícula a aquella materia sólida o líquida cuyo diámetro efectivo es mayor que el de una molécula, pero menor a 1000 micras. Los aerosoles son, en conjunto, las partículas que se dispersan en un medio gaseoso. Los términos humo, niebla, bruma y polvo se emplean para describir el tipo particular de aerosol, dependiendo del tamaño, forma y comportamiento de las partículas en dispersión.

Es difícil clasificar a los aerosoles desde una base científica, es decir, de acuerdo a sus propiedades fundamentales; pero, en general, el tamaño de partícula y la velocidad de asentamiento han sido las propiedades más características. Aún cuando el empleo de los esquemas de clasificación científica sería más conveniente, la utilización de los términos populares de humo, polvo y niebla basados esencialmente en el modo de formación, ha resultado un método de clasificación satisfactorio; además de que sería difícil de cambiar, pues este método está bien establecido.

El polvo se forma por la pulverización o desintegración mecánica de la materia sólida en partículas más pequeñas, debido a operaciones como molienda, trituración y perforación. El tamaño de las partículas de polvo va desde 1 hasta 100 o 200 micras. El tamaño de la partícula se refiere a una dimensión promedio, ya que las partículas de polvo no poseen forma regular. Como ejemplos de polvos tenemos a los polvos de roca, a la ceniza volátil y a la harina.

El humo es producto de la combustión de materia orgánica e implica un cierto grado de densidad óptica. Las partículas de humo son muy finas y su magnitud varía desde menos de 0.01 micra hasta 1 micra. Generalmente, tienen forma esférica, si su composición es líquida o alquitranada, e irregular, si su composición es sólida. Es debido a su minúsculo tamaño, que las partículas de humo pueden permanecer suspendidas durante largo tiempo.

Las emanaciones se forman como resultado de procesos como sublimación, condensación o combustión; a temperaturas relativamente elevadas. Su tamaño de partícula varía desde menos de 0.1 hasta 1 micra y en forma similar al humo, se asientan muy lentamente.

Las nieblas o neblinas se forman por la atomización de los líquidos o por la condensación del agua u otros vapores sobre núcleos adecuados, lo que produce la suspensión de pequeñas gotas líquidas. El tamaño de las nieblas o neblinas naturales varía entre 2 a 200 micras. Una clasificación más adecuada para las gotas de más de 200 micras sería llovizna o lluvia.

Al pasar una sustancia a la atmósfera como materia en forma de partícula, pueden cambiar sus propiedades y efectos. A medida que la sustancia se divide en partículas cada vez de menor tamaño, tiende a combinarse, independientemente de su constitución química, en forma física o química con otras partículas o gases presentes en la atmósfera. Los aerosoles presentan una actividad superficial muy elevada, por lo que pueden facilitar las reacciones químicas. Así, sustancias que en su estado masivo se oxidan lentamente, se oxidarán rápidamente al dispersarse en el aire. Los fenómenos catalíticos y de adsorción también son muy importantes para el análisis y la comprensión de los problemas de contaminación por partículas. Por otra parte, los aerosoles absorben energía radiante y conducen rápidamente el calor a los gases circundantes de la atmósfera que son incapaces de absorber energía radiante por sí mismos, lo cual ocasiona que el aire que entra en contacto con los aerosoles se torna más caliente. Por último, las partículas con un tamaño menor a 2 o 3 micras (que son la mitad en peso de las partículas suspendidas en el aire en las ciudades), pueden resultar nocivas para la salud, ya que penetran la membrana mucosa y pueden atraer y transportar sustancias químicas peligrosas como el bióxido de azufre.

#### 5.2.2 ESTIMACION DE LAS EMISIONES DE LAS FUENTES

El conocimiento de los tipos y velocidades de las emisiones es básica para la evaluación de los problemas de contaminación del aire. Por lo general, un balance de materia del proceso es de gran ayuda en esta determinación, aunque también se pueden estimar las velocidades de descarga de los contaminantes producidos mediante los factores de emisión publicados por la U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). El factor de emisión es un promedio estadístico de la velocidad a la que se emiten los contaminantes, como producto de una combustión o del procesamiento de una

cantidad determinada de materia, o con base a otro parámetro significativo. Los factores de emisión se ven afectados por la técnica utilizada en las operaciones de procesamiento, manejo o combustión, por la calidad del material utilizado y por el control de la contaminación del aire. Una combinación de estos factores hace a la fuente específica, por lo que los factores de emisión para una fuente pueden no ser convenientes para otra. Por lo tanto, se necesita cuidado y buen juicio para la identificación de los factores adecuados de emisión. Si estos factores no se pueden identificar, o si se va a diseñar el equipo de contaminación del aire, entonces es necesario realizar un muestreo de la fuente específica.

Las licencias para descarga de cualquier tipo de contaminante no son para "dar permiso" de contaminar el ambiente sino para controlar el tipo y la cantidad del efluente en cada fuente.

En nuestro país, la Norma Oficial Mexicana NOM-085-ECOL-1994, "sobre contaminación atmosférica para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones", establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión" (Diario Oficial, Dic. 2 de 1994).

Tabla 5-1 Contaminantes y sus métodos de evaluación para fuentes fijas y métodos equivalentes\*

Contaminantes	Método de evaluación	Método equivalente
Densidad de humo	* huella o mancha de hollín * opacidad	----
Partículas suspendidas	* isocinético	----
Oxidos de nitrógeno	* quimiluminiscencia	* Infrarrojo no dispersivo
Oxidos de carbono	* infrarrojo no dispersivo * Celdas electroquímicas * orsat (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO)	----
Oxígeno	* celdas electroquímicas * paramagnéticos	* orsat (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO) * óxidos de zirconio (celdas electroquímicas)
SO <sub>2</sub>	* Medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	Capacidad del equipo de combustión, MJ/h : Hasta 5,250: * vía húmeda * infrarrojo no disperso * celdas electroquímicas Mayores de 5,250: * vía húmeda * infrarrojo no dispersivo

\* Tomado del Diario Oficial, 1a. secc., p. 18; Dic 2 de 1994.

En la Tabla 5-1 se muestra la clasificación de los contaminantes, hecha por la Secretaría de Desarrollo Social en 1994, y los métodos de evaluación para fuentes fijas y métodos equivalentes.

### 5.2.3 EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE

Es indudable que el aire contaminado afecta significativamente la salud, durante los fenómenos de contaminación más graves. Hay evidencia considerable de que la contaminación del aire representa una amenaza crónica para la salud de los seres humanos, que va desde un aumento veloz de la enfisema pulmonar hasta una evidencia estadística que señala que aquellas personas expuestas a atmósferas contaminadas durante períodos prolongados, padecen varias enfermedades y se reduce su longevidad.

#### EFECTOS EN LOS SERES HUMANOS

La contaminación del aire es un factor que contribuye a incrementar la mortalidad y morbilidad y ocasiona un inicio prematuro de las enfermedades respiratorias crónicas. Existe evidencia de una relación entre la intensidad de la contaminación y la gravedad de los efectos sobre la salud, así como una correspondencia de la relación existente entre la contaminación y las enfermedades de los órganos afectados. Los contaminantes del aire pueden ocasionar y agravar enfermedades respiratorias tales como el asma.

Los efectos de los contaminantes del aire sobre las funciones sensoriales y nerviosas en los seres humanos varían considerablemente. Los contaminantes olorosos sólo causan molestias menores, pero si persisten, pueden ocasionar irritación, malestar emocional y depresión mental. Los aerosoles solubles en los lípidos (fosfatos orgánicos y aerosoles que contienen plomo, mercurio o cadmio) pueden entrar al cuerpo y absorberse en los lípidos del sistema nervioso central, con un efecto crónico a largo plazo.

Los efectos toxicológicos agudos de la mayor parte de los contaminantes del aire están bien identificados, pero los efectos producidos por la exposición a mezclas heterogéneas de gases y partículas a muy bajas concentraciones apenas empiezan a entenderse.

#### EFECTOS EN LOS ANIMALES

El mecanismo por el cual se pueden envenenar los animales es, en algunos casos, distinto al seguido en los seres humanos. La exposición más común para los animales herbívoros que pastan en una zona contaminada, es la ingestión de alimento afectado por

los contaminantes del aire, mientras que la inhalación tiene una importancia secundaria. Entre los contaminantes que causan daño a los animales están el arsénico, los flúoruros, el plomo y el molibdeno.

### EFFECTOS SOBRE LA VEGETACION

Los efectos de la contaminación del aire sobre la vegetación pueden ser la muerte, la falta de crecimiento, la reducción en el rendimiento de la cosecha y la degradación del color. Debido a que la vegetación es más sensible que los animales a muchos de los contaminantes del aire, se han desarrollado métodos que utilizan la respuesta de las plantas para medir e identificar los contaminantes. Entre los contaminantes dañinos para las plantas se tienen el bióxido de azufre, el fluoruro de hidrógeno y el etileno.

### EFFECTOS EN LOS MATERIALES

Entre los daños que los contaminantes del aire pueden producir en algunos materiales, se tienen que: el ozono del smog fotoquímico agrieta el hule, debilita las telas y desvanece las tinturas; el sulfuro de hidrógeno ennegrece la plata; el humo ensucia la ropa lavada, los aerosoles ácidos arruinan las mangueras de nylon. Entre los efectos más importantes están la decoloración, corrosión, ensuciamiento de las mercancías y deterioro de la visibilidad.

1. Decoloración. Una gran variedad de los contaminantes del aire decoloran los edificios y se acumulan sobre ellos, desfigurando las estructuras y reduciendo su apariencia estética. Otro efecto es la decoloración de la pintura, producida por gases ácidos.

2. Corrosión. Es un efecto grave y de elevada importancia económica, la acción corrosiva de los gases ácidos sobre los materiales de las construcciones. Estos gases ocasionan que aún las superficies de piedra se ampollen y descascaren. Algunos contaminantes también dañan a los metales.

3. Ensuciamiento de las mercancías. Los contaminantes del aire ensucian fácilmente la ropa y los artículos domésticos, lo cual origina una limpieza más frecuente, con el consiguiente desgaste acelerado de las mercancías.

4. Deterioro de la visibilidad. La disminución del campo visual a través de una atmósfera contaminada es resultado de la dispersión de los rayos del sol debida a partículas suspendidas en el aire. Los efectos más importantes de la reducción de la visibilidad son los problemas ocasionados a las operaciones aéreas, terrestres y marítimas. La visibilidad limitada también causa malas impresiones estéticas a un lugar.

#### 5.2.4 METODOS DE CONTROL

Para el control de las emisiones gaseosas, existen cuatro operaciones unitarias de la ingeniería química (Manual del Ing. Químico, secc. 26-26; 1995) ampliamente utilizadas:

1. La absorción,
2. La adsorción,
3. La combustión y
4. La condensación.

##### 5.2.4.1 ABSORCION DE GASES

**Definiciones.** La absorción de gases es una operación unitaria en la cual una mezcla gaseosa se pone en contacto con un líquido, a fin de disolver de manera selectiva uno o más componentes del gas y de obtener una solución de éstos en el líquido. Esta operación requiere la transferencia de masa de una sustancia en la corriente gaseosa al líquido.

En la mayor parte de los procesos que incluyen la absorción de un contaminante gaseoso presente en una corriente de gases de salida, ésta será el fluido procesado, lo cual significa que se conocerán sus condiciones de entrada (tales como velocidad de flujo, composición y temperatura). Es común que se proporcione la temperatura y composición del líquido de entrada y la composición del gas de salida. Por lo tanto, los principales objetivos del diseño de una columna absorbedora son determinar la velocidad de flujo del disolvente y el cálculo de las dimensiones principales del equipo (como la altura y diámetro de la columna requerida para realizar la operación). Estos objetivos se logran al evaluar, para el disolvente seleccionado con una velocidad determinada de flujo, el número de unidades teóricas (platos o etapas) de separación y convertirlas en unidades prácticas de número de platos reales o altura de columna, mediante las correlaciones existentes en la sección 18 del Manual del I. Q; 1995.

El procedimiento general de diseño consta de los siguientes pasos:

1. Selección del disolvente.
2. Evaluación de los datos de equilibrio.
3. Estimación de los datos de operación (balances de materia y energía).
4. Selección de la columna (en el caso de que la selección de la columna no sea obvia, se deben realizar los cálculos para los diferentes tipos de columnas y seleccionar la más conveniente desde el punto de vista económico).
5. Cálculo del diámetro de la columna (se basa, en el caso de las columnas empacadas en condiciones de inundación y para las columnas de platos, en la velocidad óptima del gas).

6. Estimación de la altura de la columna o el número de platos (la altura de la columna empacada se obtiene al multiplicar el número de unidades de transferencia (calculadas a partir de los datos de equilibrio y operación), por la altura de una unidad de transferencia; en el caso de las columnas de platos, el número de platos teóricos se obtiene de la gráfica de la línea de equilibrio y operación, y se divide entre la eficiencia global del plato, para obtener el número real de platos, lo que permite calcular la altura de la columna, basándose en el espaciamiento de los platos).

7. Determinación de la caída de presión a través de la columna.

**Equipo.** Los aparatos utilizados para poner en contacto una corriente gaseosa con una líquida pueden ser una torre empacada (operación continua), rellena con material de empaque sólido regular o irregular, una columna de platos que contiene varios platos perforados o de burbuja y tapón (operación intermitente), una torre o cámara vacía, donde se rocía el líquido, una columna de paredes húmedas o un recipiente con agitación o rocío. Por lo general, las corrientes de gas y líquido se hacen pasar a contracorriente a través del equipo para obtener la máxima velocidad de absorción. De los dispositivos anteriores, la columna empacada es la más empleada para la absorción de contaminantes gaseosos.

En el siguiente capítulo, Teoría de absorción de gases, se hace una revisión más a fondo de este tema.

#### 5.2.4.2 ADSORCION

**Definición.** El diseño del equipo de adsorción de gases es similar al equipo de absorción de gas, con la diferencia de que en lugar de utilizar un disolvente líquido, la primera operación se realiza con un adsorbente sólido. La analogía se presenta en los balances de materia y energía, así como en los métodos de determinación de la altura de la columna. La selección final depende básicamente de los factores económicos del proceso.

**Selección del adsorbente.** Los adsorbentes industriales comúnmente pueden absorber tanto gases como vapores orgánicos e inorgánicos, pero cada adsorbente es específico para una aplicación en particular, de acuerdo a sus características de adsorción preferencial. Por experiencia, se sabe que el carbón activado tiene propiedades superiores para adsorber vapores orgánicos, ya que es selectivo con los hidrocarburos y tiene una alta capacidad de adsorción para los vapores orgánicos. Los adsorbentes inorgánicos, tales como la alúmina activada y gel de sílice pueden absorber materiales orgánicos pero pueden ocasionar problemas durante la regeneración. La alúmina activada, el gel de sílice y las cribas moleculares adsorben selectivamente el vapor de agua con contaminantes orgánicos, lo cual puede ser una desventaja en el caso de que estos adsorbentes se emplean en la eliminación de contaminantes orgánicos.

Una consideración importante es el área superficial del adsorbente, ya que la adsorción se realiza en el límite de la interfase. Por lo general, entre más grande es el área superficial, mayor es la capacidad de adsorción, aunque el área superficial debe estar en un diámetro bien específico de poro, dentro del adsorbente.

**Datos de diseño.** Luego que se ha seleccionado el adsorbente, el siguiente paso es calcular la cantidad necesaria de adsorbente, y en algunos casos, considerar el aumento de temperatura del gas debido a la adsorción, y la vida útil del adsorbente para las condiciones de operación.

Las dimensiones y el diseño global del sistema de adsorción dependen de las propiedades y características del gas a adsorber como del adsorbente. Para fines de diseño debe conocerse la siguiente información:

**1. Para la corriente gaseosa:**

- a) La concentración del adsorbato (compuesto a adsorber).
- b) La temperatura.
- c) El aumento de temperatura durante la adsorción.
- d) La presión.
- e) La velocidad de flujo.
- f) La presencia de material contaminante para el adsorbente.

**2. Para el adsorbente:**

- a) La capacidad de adsorción.
- b) El aumento de temperatura durante la adsorción.
- c) Determinar si se trata de operación isotérmica o adiabática.
- d) La vida útil, si el material contaminante es desfavorable para el adsorbente.
- e) La posibilidad de efectos catalíticos que pudieran ocasionar una reacción química adversa o formación de polimerizantes sólidos.
- f) Densidad masiva.
- g) El tamaño de partícula, por lo general indicado como el diámetro medio equivalente de la partícula. Las dimensiones y forma de las partículas afectan la caída de presión a través del lecho como la velocidad de difusión dentro de las partículas.
- h) Los datos del poro, para eliminar los adsorbentes cuyo diámetro de poro no acepte la molécula del compuesto por adsorber.
- i) La dureza, a fin de conocer qué cuidados tomar en el manejo del adsorbente.
- j) La información requerida para la regeneración.

Las técnicas de diseño contemplan tanto métodos por etapas como de contacto continuo, que pueden aplicarse a operaciones intermitentes, continuas y semicontinuas.

**Fenómenos de la adsorción.** El fenómeno de la adsorción consiste en tres pasos básicos: primero, el fluido debe ponerse en contacto con el adsorbente, a fin de que el compuesto por adsorber se adsorba sobre el adsorbente de manera selectiva. En seguida, se debe separar el fluido no adsorbido de la mezcla adsorbente-adsorbato y, finalmente, el

adsorbente debe regenerarse, ya sea eliminando el adsorbato o bien reemplazando el adsorbente utilizado por material nuevo.

**Equipo de control de la adsorción.** Si una corriente de gas sólo se tratará durante un período corto, por lo general se necesitará una sola unidad de adsorción, siempre que se tenga disponible un intervalo de tiempo que permita la regeneración entre los ciclos de adsorción. Este no es el caso más usual, sino que el tipo más común de sistema de adsorción utilizado para la eliminación de contaminantes en un gas, consiste en varias unidades de lecho fijo, operando en secuencia, de modo que el flujo de gas permanece interrumpido. Se utilizan sistemas con dos o tres lechos, con uno o dos lechos desviados para su regeneración, mientras el otro permanece en operación.

El tipo de sistema más adecuado para una aplicación en particular queda determinado por varios factores como: la cantidad y velocidad de material a adsorber, el tiempo entre ciclos, el tiempo necesario para la regeneración y, en caso de que se requiera, el tiempo de enfriamiento.

#### 5.2.4.3 COMBUSTION

**Introducción.** Gran parte de los compuestos orgánicos que se liberan de las operaciones de fabricación se convierten en  $\text{CO}_2$  inofensivo y agua, por medio de una reacción química de oxidación rápida, mejor conocida como combustión. Para eliminar los contaminantes se utilizan tres métodos de combustión rápida:

- 1) Las antorchas, donde se produce una combustión por llama directa,
- 2) Los combustores térmicos, y
- 3) Los combustores catalíticos.

Los primeros dos métodos térmicos se caracterizan por la presencia de una llama durante la combustión. Los terceros combustores emplean un combustor metálico para promover una oxidación rápida y están caracterizados por una combustión sin llama.

A fin de lograr una combustión completa, es decir, combinar los elementos combustibles y los compuestos de un combustible con todo el oxígeno que puedan utilizar, es indispensable proporcionar el espacio suficiente, el tiempo, la turbulencia y una temperatura lo suficientemente elevada para encender los constituyentes.

El tiempo, la temperatura y la turbulencia controlan la velocidad y la integridad de la reacción de combustión o incineración. Si se desea una combustión completa, el oxígeno debe entrar en contacto íntimo con la molécula del combustible, a una temperatura adecuada y durante un tiempo suficiente, para completar la reacción. Como resultado de una reacción incompleta se puede tener la generación de aldehídos, ácidos orgánicos, carbón y monóxido de carbono.

**Equipo para el control de la combustión.** El equipo de control de la combustión se puede clasificar en tres tipos:

**1. Antorchas.** En las plantas químicas y en las refinerías del petróleo se producen altos volúmenes de gases combustibles de desperdicio. La manera más usual de controlar el exceso de gases y vapores es recuperarlos en un sistema de purga. Sin embargo los grandes volúmenes de gas, especialmente aquellos producidos durante condiciones anormales, son difíciles de contener y reprocesar. Antes, todos los gases de desecho se arrojaban directamente a la atmósfera, pero hoy en día, la práctica consiste en recolectar los gases en un sistema cerrado de llamarada y quemarlos conforme son descargados. Las antorchas presentan problemas adicionales de seguridad, como la posibilidad de explosión, que deben considerarse seriamente durante el diseño y la operación de un sistema de llamarada.

**2. Incineradores.** Los incineradores térmicos o postquemadores se utilizan para un gran número de vapores orgánicos a baja concentración en el aire. Junto a la corriente de gas con contaminantes, se alimentan al incinerador, de manera continua, aire y combustible, a un reactor térmico donde el combustible se quema con aire en el quemador. Los productos de la combustión y la corriente de alimentación que no reaccionó se mezclan intensivamente y se alimentan a la zona de reacción. Los contaminantes presentes en el gas de proceso reaccionan a alta temperatura (entre 650 y 820 °C para los contaminantes orgánicos). Los productos finales son descargados continuamente a la salida del reactor.

**3. Incineradores catalíticos.** Los incineradores catalíticos son una alternativa de los incineradores térmicos. Para la combustión de vapores orgánicos la corriente gaseosa se alimenta continuamente al reactor por medio de un ventilador, a una temperatura menor que en la unidad térmica (de 350 a 425 °C). Los gases, que pueden precalentarse o no, pasan a través del lecho del catalizador, donde se lleva a cabo la reacción de combustión. Los productos de la combustión se descargan por la salida en forma continua a una temperatura elevada.

#### 5.2.4.4 CONDENSACION

**Introducción.** Dentro de las técnicas de control de contaminación del aire se incluye el tratamiento de una corriente de salida, que consta de un gas incondensable y de un vapor contaminante condensable. La condensación es un método para eliminar este tipo de contaminantes de una corriente de gas de proceso.

Los condensadores pueden utilizarse para recolectar emisiones condensables descargadas a la atmósfera, sobre todo cuando la concentración del vapor es elevada. Esto es posible, reduciendo la temperatura de la corriente gaseosa, aunque un incremento en la

presión produciría el mismo resultado. El primer método es utilizado en la industria, ya que los cambios de presión con grandes velocidades o gastos volumétricos de gas son, por lo general, antieconómicos.

**Equipo de condensación.** Existen dos tipos básicos de condensadores utilizados para el control de la contaminación del aire: los de contacto y los de superficie. En los primeros, se produce un contacto directo entre la corriente del gas y un medio de enfriamiento, para lograr que el vapor se condense y se mezcle con el refrigerante. El condensador de superficie o intercambiador de calor, es el sistema más utilizado; en él, el vapor y el medio de enfriamiento se hallan separados por una pared.

Puesto que no es posible obtener altas eficiencias de eliminación con bajas concentraciones de vapor condensable, los condensadores tienen la característica de que se utilizan para un pretratamiento anterior a otro dispositivo de control más eficiente, tal como un incinerador, adsorbedor o absorbedor.