

## **9. Control de la contaminación del aire**

---

Se dice que el aire se encuentra contaminado, cuando en él existen sustancias o energía que pueden alterarlo y ocasionar efectos sobre seres humanos, animales, vegetación y materiales diversos.

### **RELACION ENTRE EMISIONES ATMOSFERICAS Y CALIDAD DEL AIRE EN EL LUGAR DE TRABAJO**

El concepto básico y el denominador común para iniciar el control de la contaminación del aire y de los riesgos ocupacionales en los sitios de trabajo, es la identificación de su origen. A partir de esta base, pueden considerarse dos categorías generales: con o sin descarga en la atmósfera.

#### **Operaciones que descargan directamente en la atmósfera**

Cuando una operación o proceso industrial descarga directamente a la atmósfera, por ejemplo, un horno metalúrgico, la calidad del aire en el lugar de trabajo puede alterarse por el diseño y la eficiencia del sistema de ventilación. Una campana de diseño inadecuado, o que succiona un volumen de aire menor al recomendado, contaminará el ambiente y afectará a los trabajadores en la vecindad del horno. Este ejemplo permite plantear la estrecha relación que existe entre emisiones atmosféricas y exposición ocupacional.

#### **Operaciones que descargan indirectamente en la atmósfera**

En determinadas circunstancias, la emisión al exterior, de los materiales generados por un proceso, se presenta tras la dispersión de los contaminantes por toda el área de trabajo, seguida de su descarga en la atmósfera a través del sistema de ventilación general, natural o mecánico, la salida por ventanas, puertas y otras aberturas existentes en la edificación.

#### **Recirculación del aire**

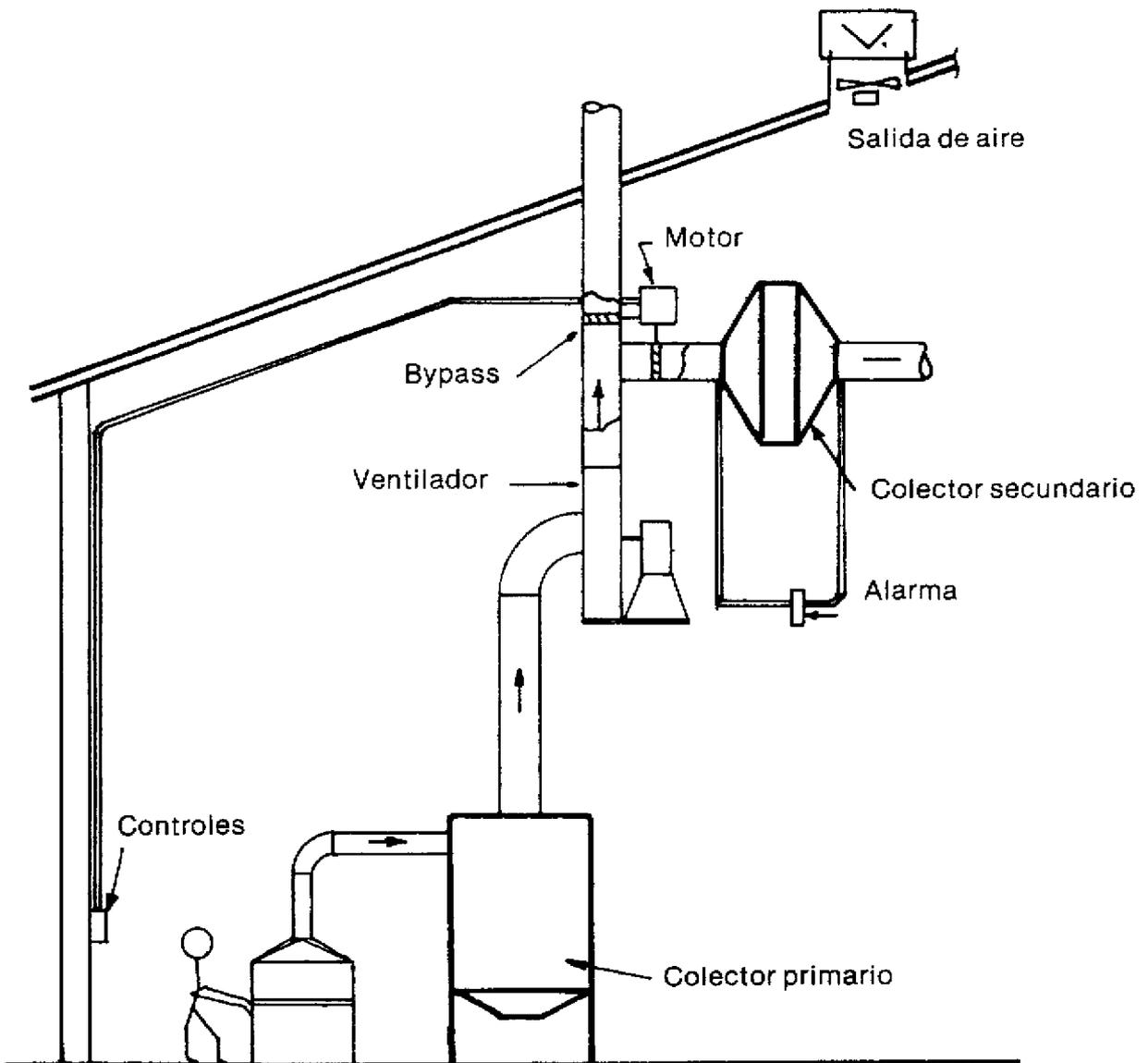
Cuando se retiran grandes cantidades de aire en un local de trabajo con objeto de remover polvos, gases, humos o vapores, es necesario suministrar una cantidad equivalente de aire fresco y limpio.

Desde el punto de vista de la higiene industrial, se ha instituido la política de no practicar la recirculación del aire que se descarga o se succiona, especial-

mente si el contaminante que contiene puede afectar la salud de los operarios. Aunque el equipo de limpieza de aire que se emplee, sea de eficiencia adecuada y suficiente, un mantenimiento o una operación incorrectos, lo cual ocurre con relativa frecuencia, pueden ocasionar el retorno del aire contaminado. No obstante, en algunos casos la recirculación de aire es el único método de control factible (figura 9.1). Esta recirculación puede permitirse en los siguientes casos.

Figura 9.1

Sistema de limpieza de aire con equipo monitor



- Cuando exista un sistema primario de limpieza del aire y éste proporcione una concentración del agente a la salida (suministro de aire al sitio de trabajo), inferior al valor límite permisible del contaminante.
- Cuando se emplee un sistema secundario, de igual o mayor eficiencia que el primario, instalado en serie; o cuando se utilice un equipo de monitoreo que mida el aire de salida del sistema primario (aire en recirculación).
- Cuando se disponga de una señal que indique la presencia de concentraciones superiores a los límites permisibles.

Para fijar condiciones de equilibrio, la concentración permisible de contaminante del aire en circulación puede calcularse mediante la siguiente ecuación.

$$C_R = \frac{1}{2} (VLP - C_o) \frac{Q_T}{Q_R} \times \frac{1}{K}$$

donde:

$C_R$  = concentración del contaminante en el aire de salida del sistema colector, antes de mezclarse (aire recirculante).

VLP = valor límite permisible de contaminante en el aire.

$C_o$  = concentración del contaminante en la zona de respiración del operario, sin recirculación de aire.

$Q_T$  = caudal total de ventilación a través del espacio afectado.

$Q_R$  = flujo de aire recirculado.

K = factor de efectividad de mezcla, de 3 a 10.

## CONTROL DEL PROCESO Y DEL SISTEMA DE PRODUCCION

El control del proceso implica revisar cuidadosamente la unidad de producción, a fin de reducir la contaminación del aire e inspeccionar si el proceso de producción y el caudal de la emisión son óptimos, como también el control y tratamiento necesarios para las emisiones del proceso. Un principio fundamental para lograr el control de la contaminación del aire, establece que el

problema puede resolverse en mejor forma si éste se soluciona desde el sitio de origen de las emisiones.

### **Métodos para el control en el origen**

Los métodos para el control, total o parcial, en el origen, incluyen: la eliminación o la reducción de las emisiones y de la concentración del contaminante, antes de la descarga.

### **Eliminación de emisiones**

La sustitución de materiales, procesos o equipo, es el método menos costoso y más positivo.

#### **— Sustitución del combustible**

Consiste en el uso de un combustible limpio en lugar de uno sucio: como el caso del carbón por gas, en las calderas. Existen disposiciones legales que limitan las emisiones del dióxido de azufre del carbón y del aceite que se queman en las plantas de energía; al respecto, la tendencia es utilizar carbón y aceite con un contenido bajo de azufre o un combustible más limpio, como el gas natural. Sin embargo, no siempre es posible emplear combustibles de tales características, por su elevado costo.

#### **— Cambios en el proceso**

Pueden ser efectivos para la eliminación de emisiones contaminantes del aire. En las industrias química y del petróleo, el control de materiales orgánicos volátiles en la atmósfera se realiza por condensación y reutilización de los vapores. Asimismo, en la fundición de latón una práctica común para reducir las emisiones atmosféricas consiste en la aplicación de material fundente sobre la superficie del metal fundido, consiguiéndose que actúe como una barrera que evita la evaporación y reduce la producción de humos de latón.

#### **— Sustitución de equipo**

Ejemplo ilustrativo es la tendencia, en la industria del cloruro de polivinilo de utilizar reactores de polimerización más amplios o más grandes, con lo cual se mejora no sólo la producción, sino que también se ayuda a reducir las fugas del monómero de cloruro de vinilo. Los reactores amplios tienen solamente la mitad de los posibles puntos de escape, respecto a dos unidades más pequeñas pero de la misma capacidad total.

## **Reducción de emisiones**

*Emisiones por fugas.* El escape, en sistemas de transporte, puede reducirse si se eliminan los derrames y la dispersión de material mediante cubiertas herméticas construidas alrededor de los transportadores. En efecto, los tanques y los depósitos podrían disponer de cubiertas y de sellos con tiras de plástico o láminas de caucho que se peguen en las uniones. Por otra parte, cada depósito o tanque deberá tener sólo una salida, especialmente en lugares donde la diferencia de temperatura pueda crear corriente o succión desde aquélla; las demás aberturas deben mantenerse cerradas.

En algunos casos, cabe considerar la interconexión de una serie de salidas de varios tanques; así, mientras uno se llena el otro puede estar vacío, reduciéndose de esta manera la necesidad de descargar aire contaminado en la atmósfera. Esto es factible si se dispone de un pequeño colector de polvo que sirva a cierto número de unidades.

*Emisiones del proceso.* Cuando los contaminantes son un subproducto de las operaciones del proceso, pueden disminuirse mediante cambios en las condiciones del mismo; verbigracia, los óxidos de nitrógeno se reducen con bajas temperaturas de combustión; asimismo, evitar el exceso de aire en las calderas de carbón o petróleo merma considerablemente la conversión de dióxido de azufre en trióxido de azufre y, por tanto, la emisión de ácido sulfhídrico.

*Concentración de contaminantes en el origen.* Se logra por la centralización y disminución de los puntos de emisión y la reducción del volumen de gas que será descargado.

*Reducción del número de puntos de emisión.* El control de la exposición de los trabajadores a las emisiones que producen ciertas operaciones en industrias metalmeccánicas tales como pulido, sierra y corte, puede llevarse a cabo si se agrupan las operaciones y se practica una ventilación local exhaustiva con un sistema de recolección común, en lugar de utilizar un sistema de ventilación exhaustiva con un colector individual para cada operación. La recolección centralizada disminuye los costos por unidad de peso del material colectado.

*Reducción del volumen por enfriamiento.* Las dimensiones de colectores de polvo como filtros de talega y precipitadores, generalmente toman en cuenta el flujo volumétrico y no el flujo de masa.

Si la emisión es de un gas caliente y polvoriento, el enfriarlo puede reducir su volumen apreciablemente. El método más económico consiste en la simple adición de aire frío.

Otros medios incluyen el intercambiador de calor, la convección forzada y el rociado con agua.

*Ventilación local exhaustiva.* Los sistemas de ventilación local exhaustiva, bien diseñados e instalados adecuadamente, constituyen un elemento importante en el propósito de reducir los caudales de aire succionado y para controlar al máximo la concentración de contaminantes, advirtiéndose que éstos deben sujetarse a limpieza antes de su descarga en la atmósfera. Las campanas de tales sistemas, bien construidas y ajustadas, logran una captura completa de los contaminantes dentro del ambiente de trabajo. La ventilación local exhaustiva es preferible a la ventilación general.

Un caso de reducción de los costos de operación y de inversión de capital es el que se refiere al incremento en la concentración del solvente por el empleo óptimo del sistema de ventilación local exhaustiva y la absorción de los vapores de aquél mediante un lecho de carbón. Concentraciones muy diluidas de solventes requieren grandes lechos de carbón activado, con relación a la cantidad de solvente recuperado por libra de carbón, debido a que la baja fuerza de conducción determina la cantidad de absorción para un solvente determinado. El costo inicial de inversión puede reducirse considerablemente, si se disminuye el volumen de aire utilizado para recoger y transportar los vapores del solvente producido durante el proceso. Esta disminución reduce también la cantidad de energía eléctrica que consumen los ventiladores, con el resultado de requerirse equipos más pequeños.

## **CRITERIOS TECNICOS PARA SELECCIONAR EQUIPOS DE LIMPIEZA DE AIRE**

*Rendimiento.* El primer factor que se debe tomar en cuenta para la selección del equipo de control de contaminantes, es la cantidad máxima de éstos que puede descargarse en la atmósfera. A partir del conocimiento de tal cantidad y del contaminante que entra al sistema de colección propuesto, se define el nivel de eficiencia de recolección requerido.

Si el material recolectado se demenuza o "particula", es importante tener presente que los colectores tienen eficiencias de acuerdo con el tamaño de las partículas. Esto significa que debe conocerse la dimensión de las partículas que se emiten, previamente a la determinación de la eficiencia requerida del colector, eficiencia que también varía con el caudal o flujo, así como con las propiedades del gas portador. Por otra parte, el tamaño, la forma y la densidad de las partículas influyen en la velocidad de sedimentación, en la selección del equipo colector, y en la facilidad para remover las partículas de una corriente de gas.

Cuando el material colectado es un gas o un vapor, se necesita saber si la sustancia es soluble en un líquido y si puede ser retenida por materiales absorbentes, además de considerar las concentraciones esperadas a la entrada y a la salida del colector, las condiciones de temperatura, la presión y el caudal de la corriente.

### **Propiedades del contaminante**

- Cantidad: fluctúa con los ciclos de operación y con el caudal del gas portador.
- Composición: de la misma dependen las propiedades físicas o químicas del contaminante. El colector debe tener capacidad para hacer frente a los cambios de composición, esperados o inesperados.

La solubilidad es factor importante para regeneración del material absorbente y para la remoción, por lavado, del material "particulado".

- Explosividad: es inconveniente emplear un sistema colector que permita acumular contaminante, cuando éste sea explosivo o combustible. Si es el caso, los equipos deben protegerse contra la acumulación de carga estática. Los precipitadores electrostáticos no son convenientes, por su tendencia a la chispa; es más adecuada la recolección húmeda por métodos de lavado o absorción. No obstante, algunos polvos, como el magnesio, son pirofóricos en presencia de pequeñas cantidades de agua.
- Reacción: para la selección del equipo colector, es necesario considerar en qué medida reacciona el contaminante en presencia del medio filtrante o el material absorbente, así como su nivel de corrosividad.
- Electricidad: afecta tanto la eficiencia y el tamaño de los colectores, como la facilidad para remover la partícula acumulada por colección.
- Toxicidad: influye en los requerimientos de eficiencia del colector, en su sistema de mantenimiento y en la forma de remover el contaminante retenido en el colector.
- Hidroscopia: permite conocer la tendencia del contaminante a la acumulación en el equipo colector.
- Aglomeración: cuando se utilizan colectores en serie, generalmente el primer colector actúa como aglomerador y el segundo recoge las partículas aglomeradas.

## **Propiedades del gas portador**

**Composición:** influye en las propiedades físicas y químicas y, por tanto, en las reacciones químicas que pueden ocurrir entre los contaminantes y el recolector.

La composición, la concentración y las propiedades químicas de la corriente de entrada, determinan la eficiencia de colección en las torres lavadoras para remover contaminantes gaseosos o vapores.

- **Temperatura:** influye en el volumen de los materiales de construcción del colector, en su tamaño y costo y en la concentración del contaminante por unidad de volumen. En adición, la densidad, la viscosidad y otras propiedades del gas dependen de la temperatura. Por otra parte, los gases a temperaturas bajas que fluyen por la chimenea de un equipo de control, se dispersan en menor proporción por la atmósfera, que los gases a altas temperaturas.
- **Presión:** no tiene gran importancia en la recolección de partículas; sin embargo, influye en la densidad, viscosidad y propiedades eléctricas del gas.
- **Viscosidad:** la movilidad de las partículas a través de la corriente de gas decrece con el aumento de viscosidad en tal corriente; aumento que influye, además, en la caída de presión en el colector, y por tanto, en el consumo de energía eléctrica.
- **Densidad:** influye en los requerimientos de potencia del ventilador, en su selección y en su costo de operación.
- **Humedad:** influye en la selección y en la eficiencia del equipo de control.
- **Combustible:** el manejo de un gas portador inflamable o explosivo requiere precauciones especiales, por lo cual es de fundamental importancia determinar los límites superior e inferior de inflamabilidad.
- **Toxicidad:** si es tóxico o irritante, habrán de tomarse precauciones en la construcción del colector y de la tubería, así como para descargarlo en la atmósfera. Todo el sistema —incluyendo la chimenea— debe estar bajo presión negativa y se adoptarán medidas de precaución durante las operaciones de mantenimiento del sistema de colector.
- **Electricidad:** es importante, en especial para los precipitadores electrostáticos, porque la facilidad de ionización influye en los mecanismos de recolección.
- **Reacción:** debe preverse su posibilidad ante el medio filtrante.

## **CLASIFICACION DE METODOS DE LIMPIEZA DEL AIRE**

### **Indirectos**

Comprenden la utilización de recursos y procedimientos que reducen, diluyen o evitan la dispersión de los contaminantes (figura 9.2). Son generalmente de implantación sencilla y barata, e incluyen:

— La delimitación del terreno o la zonificación:

Su objetivo principal es el distanciamiento entre fuentes y receptores, de tal forma que transcurra el suficiente tiempo para que, descargado el contaminante en la atmósfera, las condiciones meteorológicas se encarguen de diluir las emisiones.

A su vez, la zonificación puede incluir.

- prohibición de ciertas fuentes en determinadas áreas.
- establecimiento de franjas o zonas de protección sanitaria.
- limitación del número de fuentes contaminantes por unidad de superficie (terreno)
- aprovechamiento de condiciones meteorológicas apropiadas para la dispersión de contaminantes y fijación de periodos durante los cuales pueden realizarse determinadas actividades u operaciones.
- restricciones para el uso de ciertas materias primarias o combustibles, así como en cuanto a diversas operaciones y procesos industriales.

— La eliminación y reducción de fuentes de emisión, que comprende:

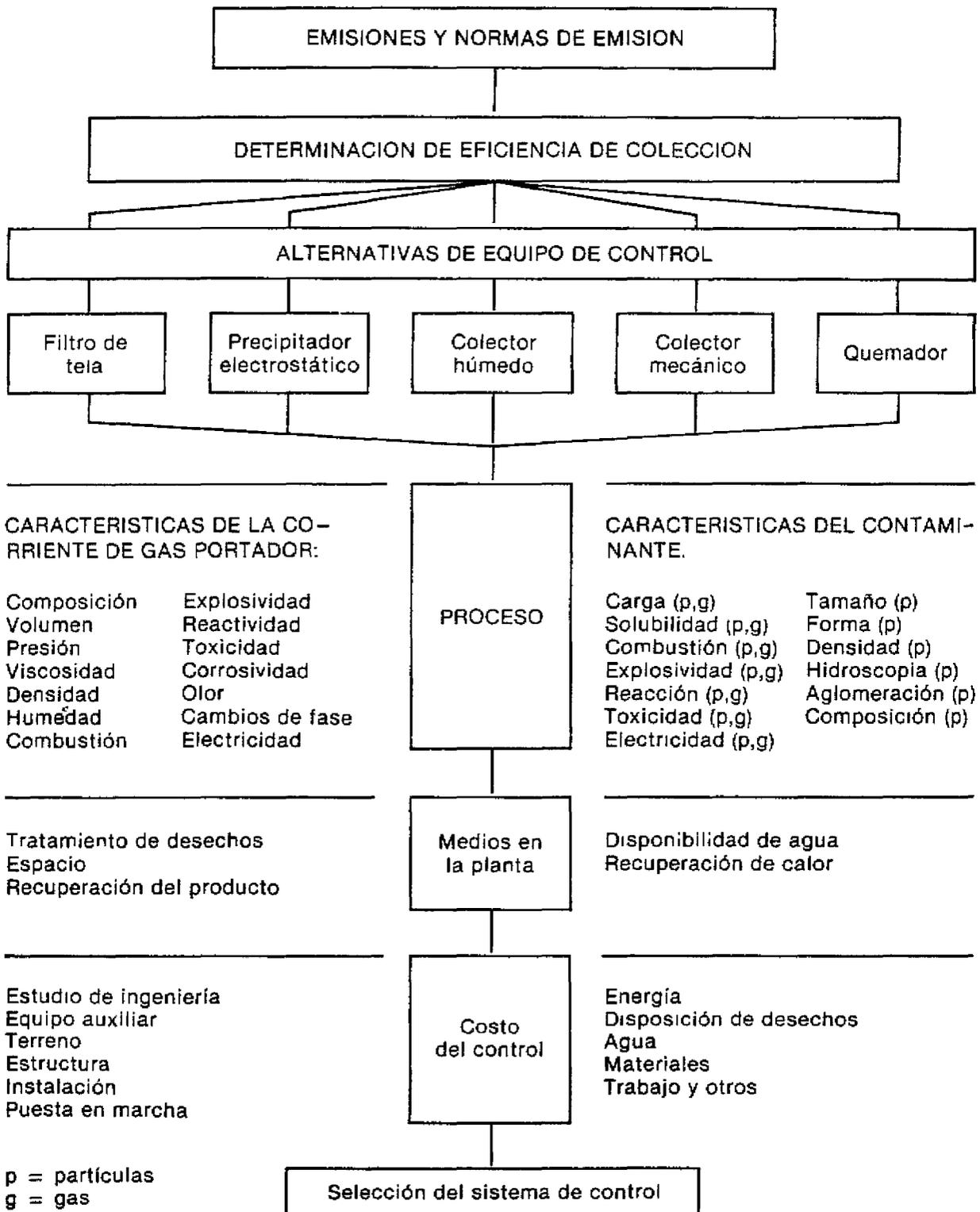
- obtención de energía por métodos menos contaminantes, como energía eléctrica o combustibles gaseosos y líquidos con bajo contenido de azufre.
- sustitución de ciertas materias primas, procesos y operaciones industriales.
- mantenimiento adecuado de los equipos.

— Dilución por chimeneas:

Se advierte que la eficiencia depende de su altura efectiva.

**Figura 9.2**

**Proceso para la selección del equipo de control**



— **Enmascaramiento:**

Es el método empleado para la eliminación de un determinado olor, mediante la introducción de una sustancia de otro olor más agradable.

**Directos**

Tienen por finalidad recolectar los contaminantes, para evitar su descarga directa en la atmósfera.

La selección del método para la limpieza del aire depende de:

- la naturaleza y concentración del contaminante.
- el tamaño de sus partículas.
- las características de la corriente de aire.
- las características del contaminante.
- los requerimientos de energía.
- el método de remoción y disposición del contaminante recolectado.

Los procedimientos para el control de agentes gaseosos son:

- combustión o incineración.
- absorción y lavado.
- adsorción.

Los métodos básicos para recoger y controlar los contaminantes “particulares” son:

- separación por inercia y gravedad (sedimentación), o colectores mecánicos.
- filtración.
- precipitación electrostática.
- lavadores o colectores húmedos
- sistemas combinados

## CONTROL DE GASES Y VAPORES

*Combustión o incineración.* Los procesos pueden originar emanaciones gaseosas que contienen materiales orgánicos tóxicos, olorosos o de escaso valor comercial ser recuperados. En estos casos la oxidación térmica es un procedimiento adecuado, especialmente si los contaminantes son combustibles. Existen tres métodos de combustión: la oxidación térmica, la incineración por llama directa y la oxidación catalítica.

Para utilizar la oxidación térmica o la oxidación catalítica, es necesario que la concentración del contaminante combustible esté por debajo del límite inferior de explosividad.

Las cámaras de combustión térmica y de llama directa generalmente son de baja inversión, pero su operación presenta costos elevados. La combustión catalítica es de inversión alta, pero requiere cantidades menores de combustible.

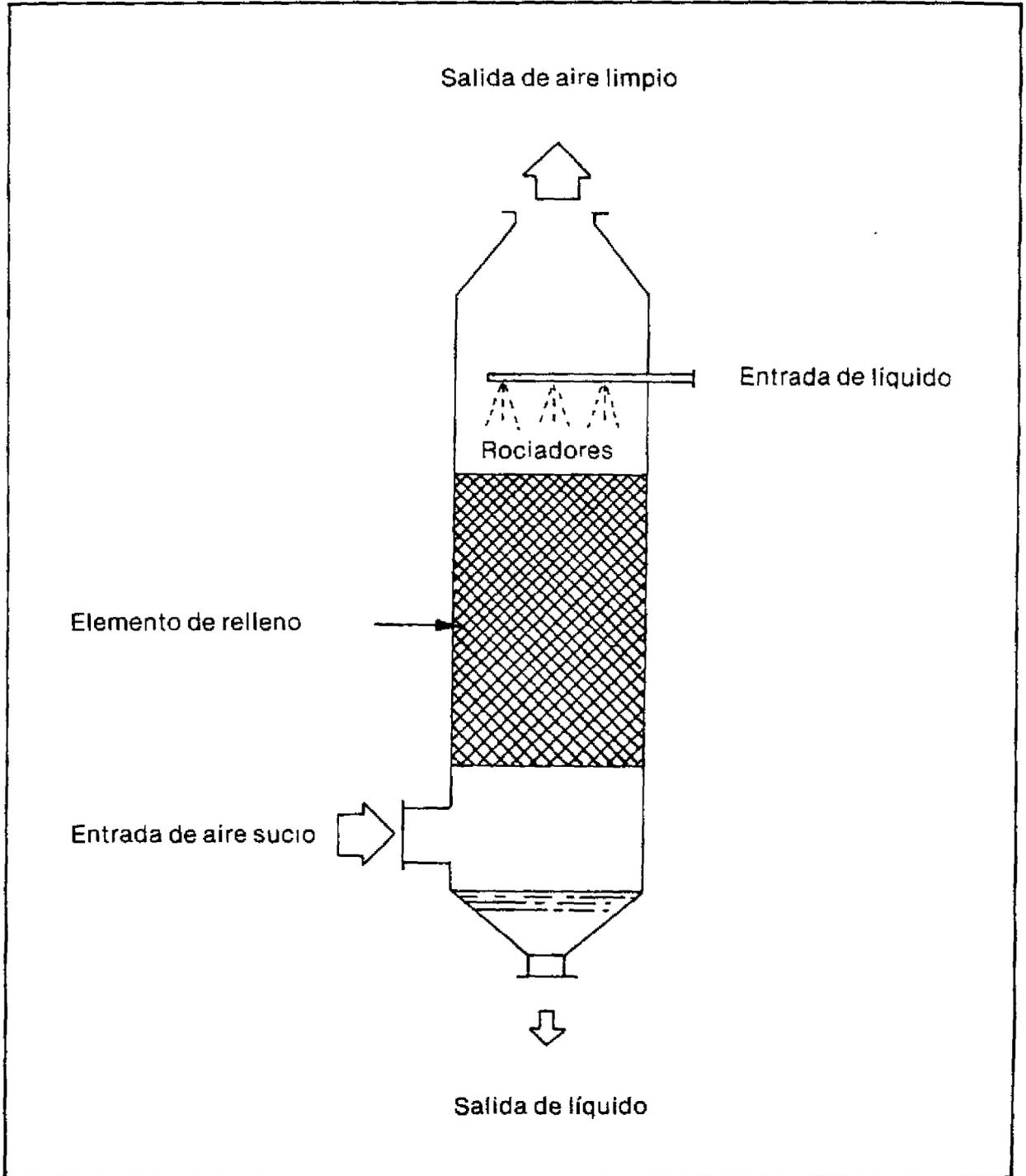
Entre los procesos que utilizan el método de la combustión para controlar las emisiones de hidrocarburo, están los procesos de secamiento, secado de pinturas, aplicación de esmaltes, aplicación de revestimientos al papel, fabricación de tela, plástico, pinturas, barnices, químicos orgánicos y fibras sintéticas. También se ha empleado extensamente en plantas químicas y refinerías, como un método de disposición de desechos no útiles. En este caso debe tenerse cuidado especial, para evitar riesgos en la proximidades, si existen tanques de almacenamiento de líquidos inflamables, o inclusive en el proceso mismo.

*Absorción y lavado.* El proceso consiste en permitir el contacto íntimo de un gas o vapor con un líquido en el cual aquéllos son solubles. La transferencia de masa de gas hacia el líquido es proporcional a la solubilidad del gas en el líquido y a la diferencia de concentración.

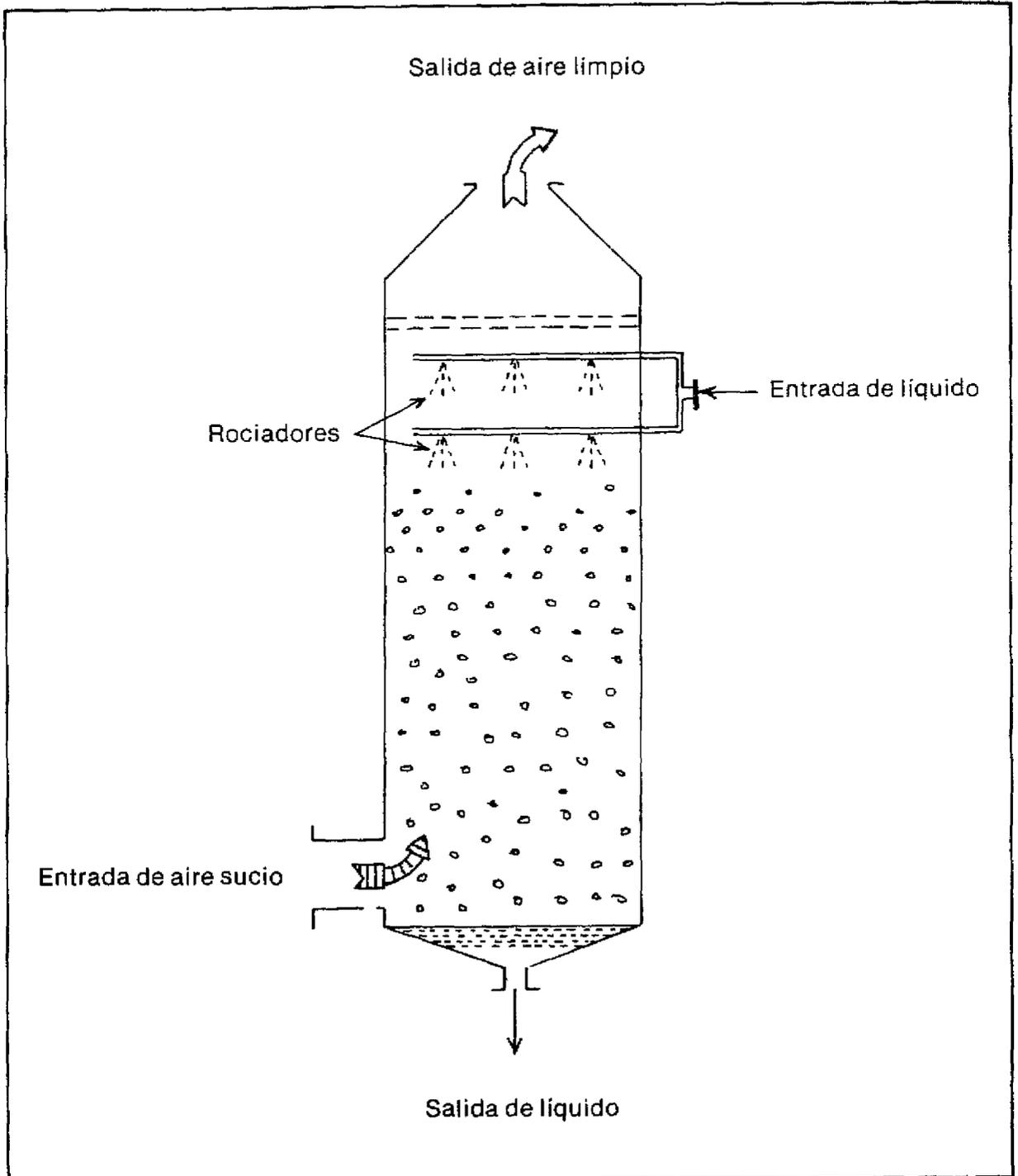
Se emplea agua para remover gases muy solubles en ésta, como el fluoruro y el cloruro de hidrógeno. Pueden usarse soluciones caústicas o salinas para que tenga lugar una reacción química con el gas, por ejemplo, para remover cloro se utiliza una solución de hidróxido de sodio, produciéndose entonces hipoclorito de sodio.

La transferencia de masa se consigue mediante equipos donde el soluto (gas o vapor) se pone en contacto íntimo con el solvente o el líquido por ejemplo en torres empacadas, torres de rociado (spray), lavadores tipo venturi, y lavadores eyectores tipo orificio (figuras 9.3, 9.4, 9.5 y 9.6).

**Figura 9.3**  
**Torre empacada**

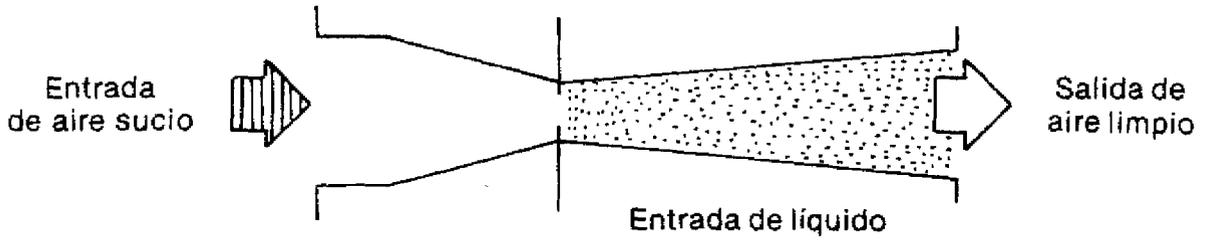


**Figura 9.4**  
**Torre rociadora**



**Figura 9.5**

**Lavador Venturi**



**Figura 9.6**

**Lavador eyector**



La selección del líquido es muy importante para conseguir alta eficiencia. Entre los factores que deben considerarse se encuentran:

- alta solubilidad del gas contaminante en el líquido.
- baja volatilidad del líquido.
- baja corrosividad
- baja viscosidad
- baja toxicidad
- baja inflamabilidad
- alta estabilidad química
- bajo costo y disponibilidad en el comercio.

La absorción y el lavado son aplicables en las siguientes situaciones:

- cuando el contaminante, gas o vapor, es soluble en el líquido (las partículas no necesitan ser solubles).
- cuando el afluente de gas lleva contaminantes gaseosos o particulados.
- cuando los gases son combustibles.

**Adsorción.** Se realiza con equipos en los cuales los gases o vapores contaminantes son retenidos sobre la superficie de un medio poroso, a través del cual fluye el gas. Los medios más usados son: carbón activado, silica gel y alúmina activada.

Los equipos consisten en recipientes metálicos, en cuyo interior se dispone de un lecho de carbón activado de 1 a 9 m de profundidad, a través del cual las emisiones contaminantes que se adsorben pasan a una velocidad de 10 m/s. Previo al paso por el lecho de adsorción, el fluido debe acondicionarse para evitar la presencia de partículas en suspensión, el exceso de humedad (humedad relativa inferior a 50%) y temperaturas excesivas (inferiores a 50°C).

El material adsorbente saturado puede remplazarse por material nuevo, o recuperarse por medio de calor o vapor.

La adsorción puede utilizarse para emisiones provenientes de:

- limpieza en seco
- desengrase con solventes orgánicos
- pintura
- extracción de solventes
- tratamientos de superficies metálicas
- impregnación de papel y tejidos con resinas
- fabricación de tintas y barnices
- industria de alimentos

Se emplea básicamente para prevenir el escape al ambiente de vapores olorosos y orgánicos nocivos. Ocasionalmente puede utilizarse para remover bajas concentraciones de materiales gaseosos de elevada toxicidad, como en el caso de vapores de yodo radiactivo; y es un método eficiente para el control de gases o vapores, en concentraciones inferiores a 500 ppm.

En general, la eficiencia de un sistema de adsorción sólido-gas depende de varios factores, entre los cuales se incluyen: área superficial del adsorbente; afinidad del adsorbente con el contaminante; temperatura; presión, tiempo de retención; densidad y presión del contaminante; concentración del contaminante; y conformación geométrica del lecho o carga de relleno.

El carbón activado se ha utilizado como adsorbente en:

- la industria procesadora de alimentos: manipulación y mezcla de especias, enlatados, cocción, fermentación.
- la manufactura y uso de compuestos químicos: plaguicidas, gomas, fertilizantes, productos farmacéuticos, producción de pintura y barniz; y en la liberación de vapores olorosos emitidos a la atmósfera durante las operaciones de llenado de tanques.

El carbón activado constituye uno de los adsorbentes de mayor uso, por su bajo costo y por su facilidad de regeneración.