

## **VENTILACIÓN INDUSTRIAL**

La ventilación es un método común para reducir la exposición de las personas a los contaminantes químicos que se originan en los procesos industriales. Es útil también para prevenir la acumulación de gases, vapores o polvos inflamables y/o explosivos. La ventilación es una buena solución cuando las modificaciones en los procesos u otros métodos de control no son efectivos.

Hay dos tipos principales de ventilación: la dilución o ventilación general y la ventilación exhaustiva local.

La dilución se presenta cuando los contaminantes presentes en el lugar de trabajo se mezclan con el aire que fluye a través del salón. Se puede utilizar el movimiento de aire inducido en forma natural o mecánica para diluir los contaminantes hasta concentraciones inferiores a los límites ambientales permisibles para cada sustancia, siendo las sustancias únicamente Gases o Vapores de baja toxicidad (TLV mayor o igual a 100 ppm). También se utiliza la ventilación general para control de ambientes con presencia de calor Convectivo.

Los sistemas de ventilación exhaustiva local capturan los contaminantes directamente en la fuente de origen antes de que ellos escapen hacia el ambiente del área de trabajo.

La gran ventaja de la ventilación exhaustiva local está en que remueve los contaminantes en vez de diluirlos. Otra ventaja es que requiere menos flujo de aire que la dilución.

Los sistemas de ventilación exhaustiva local son más difíciles de diseñar que los sistemas de dilución. Las cabinas o campanas deben tener la forma apropiada y estar bien localizados para hacer un control eficaz y eficiente de los contaminantes, y el ventilador y los ductos, deben diseñarse para extraer la cantidad correcta de aire a través de la campana.

Los sistemas de ventilación exhaustiva local están compuestos por cinco elementos básicos:

1. La campana o sistema de captación.
2. El conjunto de ductos con sus accesorios (codos, entradas, uniones).
3. El equipo para limpieza de aire.
4. El ventilador con su motor y sistema de transmisión de fuerzas.

5. La chimenea, la cual debe tener una altura mínima de acuerdo con la legislación existente.

## **1. SISTEMA DE CAPTACIÓN**

El nombre general utilizado para los sistemas de captación es de campanas. “Su principal función es captar los diferentes contaminantes generados en los procesos industriales”. Dado que la mayoría de los contaminantes carecen de inercia, su movimiento está relacionado con el proceso mismo.

Una campana puede pensarse como un magneto, es decir, como si tuviera una fuerza de atracción para cada molécula de aire en la vecindad, disminuyéndose su capacidad de atracción a medida que las moléculas se apartan de ella.

### **1.1. DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDAD ALREDEDOR DE LA CAMPANA DE SUCCIÓN**

Básicamente, el aire se aproxima desde todas las direcciones hacia la fuente de succión. Si la abertura de la campana fuera puntual, se formaría un contorno de flujo alrededor del punto de forma esférica. En la práctica, las aberturas de

toma en la campana no son puntuales, sino que presentan un área finita de forma cilíndrica, rectangular o cuadrada. El conocimiento del campo formado alrededor de la toma es necesario para poder calcular el flujo de aire que se necesita extraer en un caso dado.

## 1.2. TIPOS DE CAPTACIÓN

Existen diferentes tipos de captación de los contaminantes, de acuerdo a las características de las sustancias, las corrientes de aire presentes, el espacio disponible y los procesos que se realizan.

- **Encerramiento**

Para que la captación sea efectiva, se necesita un buen encerramiento de la fuente de contaminación con el fin de proporcionar volúmenes mínimos de aire a extraer y para evitar que haya escapes al ambiente de trabajo, ya que después de que los contaminantes se mezclan con el aire del ambiente es imposible y/o antieconómica su captación, porque habría que mover grandes cantidades de aire.

Por lo tanto, a mayor encerramiento, mayor eficiencia y economía. En muchos procesos se puede aplicar un encerramiento total, pero en otros se requieren

espacios abiertos para la operación. En algunos casos, esto se obtiene por medio de compuertas que se abren en los momentos necesarios, por ejemplo, para cargar las materias primas o descargar los productos. Otras veces se necesitan espacios abiertos permanentemente.

Por esto, para un buen diseño de un sistema de captación, se requiere suficiente conocimiento del proceso u operación que se quiere proteger. Muchos sistemas de ventilación exhaustiva fallan por un encerramiento inadecuado de la fuente del contaminante.

- **Cabinas**

Es un sistema de protección idéntico al anterior, con la diferencia de que no puede lograrse un cierre total de las paredes. Generalmente poseen paredes laterales y traseras pero carecen de paredes frontales. La parte libre permite el acceso del operador o las piezas hacia el proceso. Ver Figura.

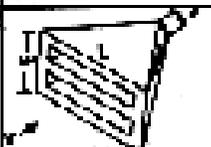
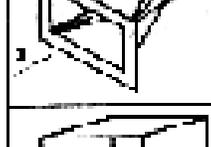
- **Campanas externas**

Van colocadas externamente a la fuente emisora. Se utilizan cuando no es posible encerrar o poner en una cabina el proceso. En este caso se diseñan las campanas de tal manera que se asegure una velocidad de captura adecuada, que traiga el material contaminante emitido desde su punto más desfavorable hacia ellas.

Cuando se vayan a usar las campanas suspendidas se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- El volumen de aire que sale de la campana debe exceder el volumen de aire que llega a la cara de la campana.
- Colóquese la campana suspendida tan cerca de la fuente como sea posible.
- La inclinación de los lados de la campana debe ser de  $45^\circ$ .
- El área de la sección transversal de la cara de la campana debe ser alrededor de 125% del área de la sección transversal de la pluma de aire caliente.
- Una campana existente que sea demasiado grande puede ser corregida proporcionándole pestañas a lo largo de los bordes internos de la campana. Esto reduce el área y aumenta la velocidad.
- Evite las campanas suspendidas si el trabajador debe laborar sobre la fuente, ya que estaría en la corriente de aire que asciende. Se prefiere extracción lateral.
- Las campanas suspendidas son de poco uso, ya que son susceptibles a las corrientes de aire cruzadas, las cuales disminuyen su eficiencia.

FIGURA 1. CÁLCULO DE FLUJO EN CAMPANAS TIPO CABINA, LATERALES Y SUSPENDIDAS

TIPO DE CAMPANA	DESCRIPCION	RELACION $\frac{Q}{V}$	VOLUMEN DE AIRE
	2 Ó MAS RANURAS ABIERTAS	0.5 Ó MENOR	$Q = 0.1 (2.5 \pm A)$
	2 Ó MAS RANURAS ABIERTAS CON PESTAÑA	0.5 Ó MENOR	$Q = 0.1 (2.5 \pm A)$
	RANURA	0.7 Ó MENOR	$Q = 3 / LVA$
	RANURA CON PESTAÑA	0.5 Ó MENOR	$Q = 3 / LVA$
 $A = WL (\text{m}^2)$	ABERTURA PLANA	0.5 Ó MAYOR Y CIRCULAR	$Q = V(0.5 \pm A)$
	ABERTURA CON PESTAÑA	0.5 Ó MAYOR Y CIRCULAR	$Q = 0.75 + 0.05 A^2 + A$
	CABINA	PARA ADAPTAR AL TRABAJO	$Q = VA = VWH$
	CAMPANA SUSPENDIDA	PARA ADAPTAR AL TRABAJO	Q EN FCV VER FIGURA 2.15 REFERENCIAL DE TRABAJO Q = ALTURA SOBRE EL PUESTO DE TRABAJO

### 1.3. VELOCIDAD DE CAPTURA

Aplicando succión en el punto en que se origina un contaminante antes de que se esparza por la atmósfera general del local, el volumen de aire que se desplaza y la velocidad del aire en la campana de succión dependen de la operación y de la proximidad permisible de la campana al punto de escape del contaminante; si a través de ese punto se aplica una corriente de aire hacia la campana a una velocidad mayor que la de cualquier otra corriente y que la del contaminante, se evita la dispersión del contaminante.

Se entiende que una campana es eficiente cuando recoge efectivamente el contaminante, con el mínimo de extracción de aire y sin interferir el proceso. El criterio de evitar despilfarros de potencia hace necesario determinar para cada situación la velocidad mínima conveniente de captura, ya que esta gobierna el valor del flujo (cantidad de aire por unidad de tiempo). Esta velocidad de captura constituye, por lo tanto, la primera especificación en que debe basarse el diseñador de un sistema de ventilación exhaustiva.

Se han establecido expresiones sencillas que son sumamente útiles para relacionar cuantitativamente el flujo, la velocidad de captura, la distancia entre el contaminante y el área de abertura de la campana, como se ha visto anteriormente. Sin embargo, antes de intentar diseñar una campana eficiente, es esencial tener un conocimiento completo de las leyes físicas aplicables al flujo del aire en la abertura de la campana y de las propiedades físico-químicas de los distintos contaminantes atmosféricos.

En la tabla 1, se presentan los rangos de velocidad de captura para los diferentes procesos, dependiendo de la forma como se dispersa el contaminante.

TABLA 1 . VALORES RECOMENDADOS PARA LA VELOCIDAD DE CAPTURA

Condiciones de dispersión del contaminante.	Ejemplo	Velocidad de captura (fpm)
Liberación con velocidad prácticamente nula en el aire quieto	Evaporación de tanques, desengrase, etc.	50 – 100
Liberación a baja velocidad en aire en movimiento moderado	Soldadura, baños electrolíticos, decapado.	100 – 200
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire	Aplicación de pintura a pistola, llenado de recipiente,	200 – 500

	transportadores, trituración	
Liberación con alta velocidad inicial en una zona de movimiento de aire muy rápido	Pulido, operaciones de abrasión en general. Esmerilado, chorro abrasivo.	500 – 2000

Se adoptan valores en la zona inferior o superior de cada intervalo según los siguientes criterios:

### **Inferior**

1. Pocas corrientes de aire en el local
2. Contaminantes de baja toxicidad
3. Operaciones intermitentes
4. Campanas grandes y caudales elevados

### **Superior**

1. Corrientes turbulentas en el local
2. Contaminantes de alta toxicidad
3. Operaciones continuas
- Campanas de pequeño tamaño

#### 1.4. PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LA ENTRADA DE LA CAMPANA

En un sistema exhaustiva local, el ventilador crea presión estática negativa. Esto hace que la presión atmosférica empuje aire hacia la campana en un esfuerzo por igualar las presiones. Pero el ventilador continúa girando y en unos pocos segundos se establece una condición estable entre el medio y el sistema. Como el aire posee masa y momento cuando se encuentra en

movimiento, le es difícil voltear esquinas agudas muy rápidamente, es decir, cuando se mueve a alta velocidad. Por esta razón se forma la vena contracta.

La cantidad de energía requerida para que la campana funcione en forma apropiada se le conoce como presión estática de la campana.

La presión estática de la campana ( $P_{ec}$ ), tiene dos componentes básicos. La presión de velocidad ( $P_V$ ) y las pérdidas a la entrada ( $H_e$ ). Matemáticamente sería:

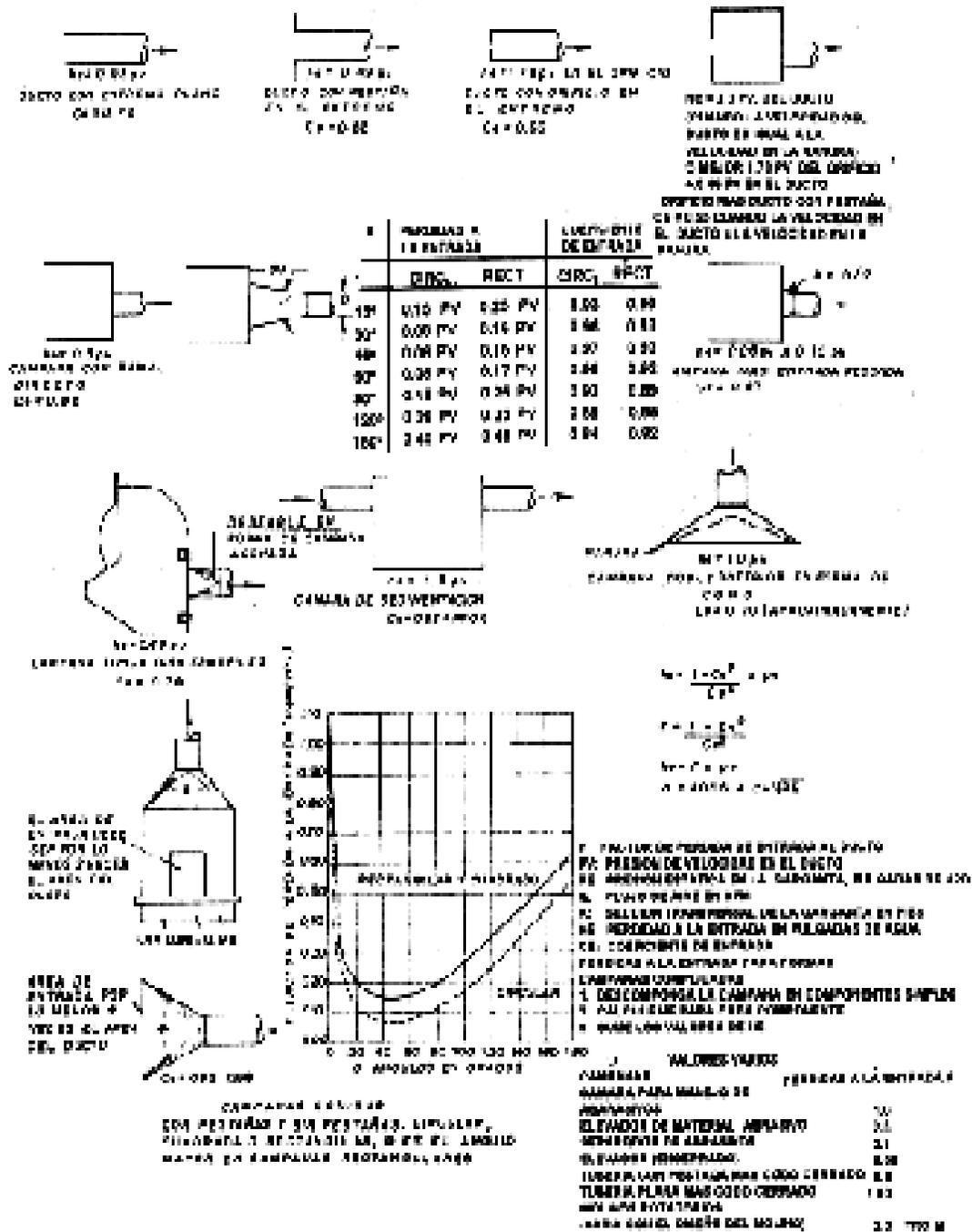
$P_{ec} = P_V + H_e$  (en pulgadas de agua), donde  $H_e = F P_V$ , siendo  $F$  un factor de pérdida de energía que se puede determinar de la Figura No.

Cada uno de los términos de esta ecuación son positivos, aunque se sabe que  $P_{ec}$  es una cantidad negativa, ya que se encuentra ubicada antes del ventilador. La mayor pérdida a la entrada ocurre normalmente al principio del ducto, debido a la vena contracta.

La eficiencia de una campana puede describirse por la relación entre el flujo real y el ideal. Esta relación se llama coeficiente de entrada,  $C_e$ . El flujo ideal se obtiene cuando toda la presión estática en la campana se convierte en presión de velocidad, es decir, no hay pérdidas a la entrada de la campana. Sin

embargo, esto es imposible, ya que nunca hay una conversión con un 100% de eficiencia de presión estática a presión de velocidad.

FIGURA 2 .PÉRDIDAS A LA ENTRADA DE LA CAMPANA



## **2. DISEÑO DE DUCTOS**

La función de los ductos en un sistema de ventilación exhaustiva localizada es dotar de un canal para transportar el aire contaminado desde la campana hasta el punto de descarga. En la selección del conducto se tendrá en cuenta:

- Que la velocidad del fluido no sea menos de una mínima denominada velocidad de transporte.
- Que el conducto y los accesorios ofrezcan la menor resistencia al flujo de aire o sea las mínimas pérdidas por fricción.

### **2.1. VELOCIDAD DE TRANSPORTE**

Esta velocidad debe ser lo suficiente para evitar la sedimentación o la acumulación de los materiales que se mueven a través de los ductos, pero no excesivamente alta, ya que puede causar un rápido deterioro de las tuberías por abrasión. Por lo tanto, el mínimo diseño debe ser tal que los valores teóricos y/o experimentales protejan a la vez algunos inconvenientes que se puedan causar como:

- El taponamiento o encerramiento de uno o más brazos del sistema, lo cual reduce el volumen total de succión y además reduce la velocidad en algunas secciones del sistema de ductos.
- El daño de ductos, por ejemplo la presencia de dientes (o salientes), lo cual incrementa la resistencia al movimiento del fluido y disminuye el volumen y la velocidad, desbalanceando el sistema.
- El escape en los ductos que puede incrementar el flujo y la velocidad después de la abertura (o grieta), pero se reducen antes de ella y en otros tramos del sistema.
- La corrosión o erosión del ventilador o aún la pérdida de eficiencia del ventilador, lo cual podrá reducir el flujo y la velocidad.

TABLA 2. RANGO DE VELOCIDADES DE DISEÑO O TRANSPORTE

Naturaleza de Contaminantes	Ejemplo	Velocidad de captura (fpm)
Vapores, gases y neblinas	Todos los vapores, gases y neblinas	1000-1200
Humos	Humos de óxidos de zinc y aluminio	1400-2000
Polvo volátil muy fino	Pelusa de algodón, polvillo de madera	2000-2500
Polvo seco y material pulverizado o triturado	Polvo fino de caucho, polvo de moldeado de baquelita, hilaza, polvo de algodón, virutas, polvo de jabón, desbastada de cuero.	2500-3000
Polvo promedio industrial	Aserrín (pesado y húmedo), polvo de esmerilado, polvo de pulidoras, polvo de lana, grano de café, polvo de suela, polvo de granito. Polvillo de sílice, material suspendido en general, corte de ladrillo, polvo arcilloso, polvo de piedra caliza, fibras de asbesto, fundición en general.	3500-4000
Polvo pesado	Torneado de metales, tambores de limpieza de material fundido y desmoldado de este, tamizado de arena, desperdicios animales, torneado de latón, polvo de perforación de hierro fundido, polvo de plomo.	4000-4500
Polvo y mezclas pesadas	Polvo de plomo con pequeñas partículas, traslado de fibras de asbesto hacia las máquinas, partículas de pulido con felpa (pegajosas, viscosas), polvo de cal viva.	4500 y más

Las velocidades deben ser adecuadas para remover o reentrar el polvo que se ha asentado durante una operación impropia del sistema de ventilación.

Las pérdidas de presión estática se presentan por fricción en codos, entradas de ramales, orificios, expansiones, contracciones, entrada del ventilador, chimenea y otras pérdidas por fricción o turbulencia del sistema.

Anteriormente, cuando se inició el estudio sobre las pérdidas en tuberías, los diseñadores tenían esencialmente un solo material para construirlas: metal galvanizado. Hoy todavía se utiliza este material en muchos sistemas, pero hay también tuberías de plástico como PVC, ABS y fibra de vidrio.

Las pérdidas de carga se consideran en:

- Tramos rectos de ductos.
- Accesorios o localizadas.

La determinación de la pérdida de energía por el método de longitudes equivalentes se puede determinar de la Figura 3, para tramos rectos y de la Figura 4, para accesorios.



FIGURA 3 . PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN PULGADAS DE AGUA POR 100 PIES DE AGUA POR 100 PIES

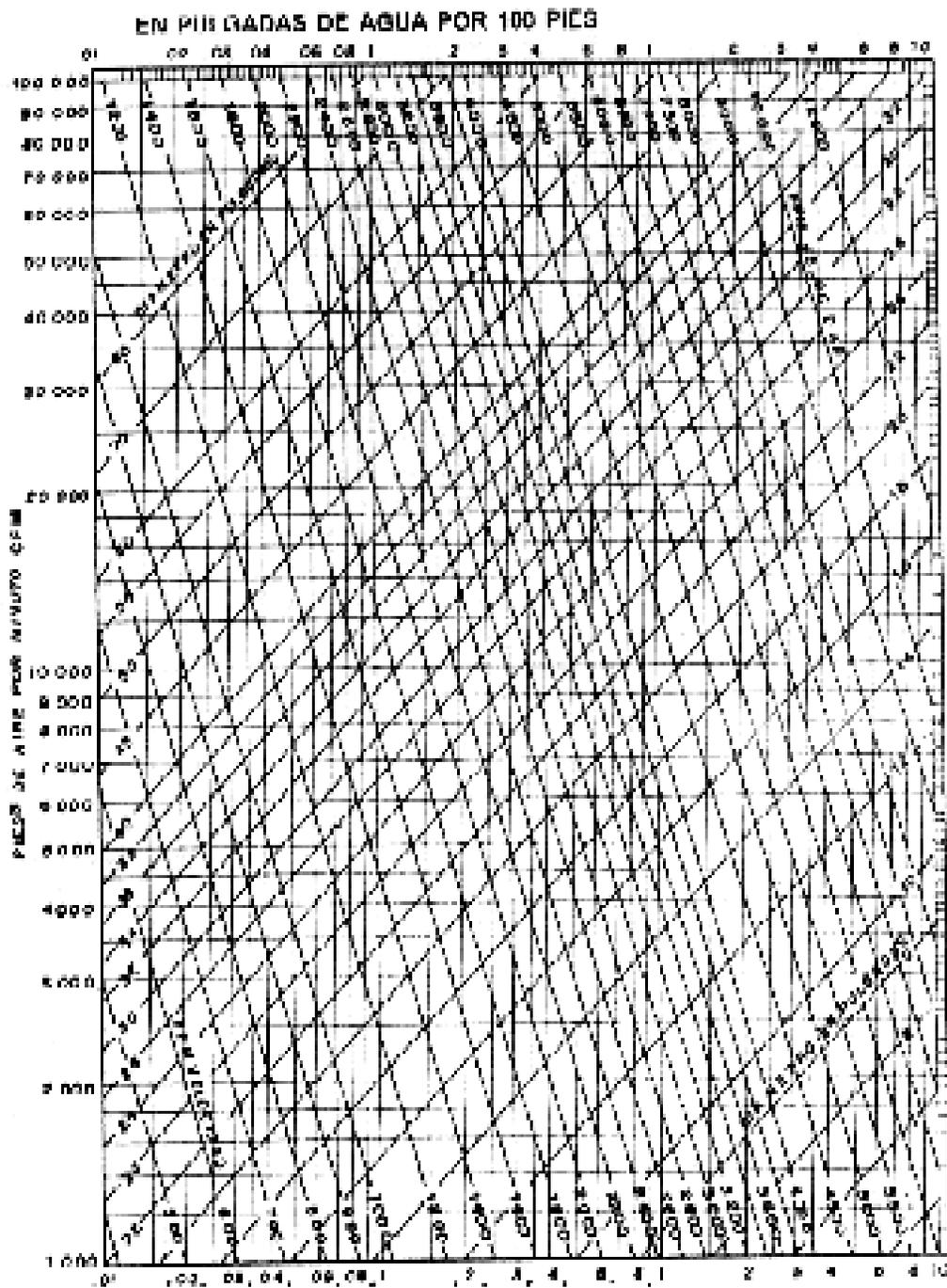
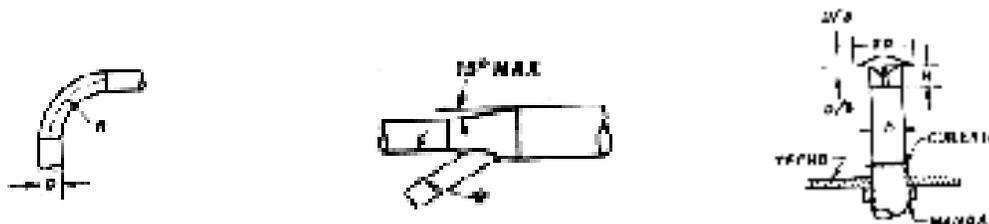


FIGURA 4 . RESISTENCIA EQUIVALENTE  
EN PIES DE TUBERÍA RECTA



Ducto D	90° CODO # Radios desde la línea central			ÁNGULO DE ENTRADA		H, No. de Diámetros		
	1.5 D	2.0 D	2.5 D	30°	45°	1. D	0.75 D	0.5 D
3"	5	3	3	2	3	2	2	9
4"	6	4	4	3	5	2	3	12
5"	9	6	5	4	6	2	4	16
6"	12	7	6	5	7	3	5	20
7	13	9	7	6	9	3	6	23
8"	15	10	8	7	11	4	7	26
10"	20	14	11	9	14	5	9	36
12"	25	17	14	11	17	6	11	44
14"	30	21	17	13	21	7	13	53
16"	36	24	20	16	25	9	15	62
18"	41	28	23	18	28	10	18	71
20"	46	32	26	20	32	11	20	80
24"	57	40	32			13	24	92
30"	74	51	41			17	31	126
36"	93	64	52			22	39	159
40"	105	72	59	Para ángulos diferentes a los anteriores multiplicar por la relación del ángulo del codo sobre 90°				
48"	130	89	73					

60° codos – 0.67 x pérdida para 90°  
 45° codos – 0.50 x pérdida para 90°  
 30° codos – 0.33 x pérdida para 90°

### **3. EQUIPOS PARA LIMPIEZA DE AIRE**

Cuando se ha captado el aire contaminado en los procesos y operaciones dentro de los lugares de trabajo, se debe conducir este aire contaminado a equipos que hagan una limpieza de él, con el fin de que pueda ser descargado en la atmósfera sin crear un riesgo para la comunidad.

#### **3.1. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE LIMPIEZA**

La selección de un equipo para limpieza de aire es en sí una ciencia completa. Por esta razón, es importante que cuando se vaya a hacer este tipo de selección se tengan en cuenta consultores, fabricantes y distribuidores de los equipos, así como también a las entidades que ya los hayan utilizado y tengan experiencia sobre ellos. Además, se debe solicitar un certificado de garantía e instalar el equipo ya escogido con la condición de que se comprará si realiza el trabajo esperado.

Para realizar esta selección se deben tener en cuenta varias consideraciones como: costo inicial, costo de mantenimiento, costo de operación, efectividad de retención de contaminantes, espacio necesario para su instalación, materiales de construcción, disponibilidad en el mercado local, facilidad de

consecución de repuestos y asesoría que la firma constructora y/o distribuidora pueda proporcionar.

Los principales factores que influyen en la selección de un equipo son:

- Características físico químicas del contaminante, como tamaño de partículas, corrosión, contenido de humedad, viscosidad, combustibilidad y explosividad.
- Concentración del contaminante en la corriente de aire que lo transporta.
- Temperatura de la corriente de aire.
- Grado de colección requerido.
- Energía requerida, considerando la disponibilidad de ella en la región y su costo.
- Facilidad de disposición de los desechos líquidos o sólidos obtenidos.
- Las demás características que la legislación existente requiere.

La selección del equipo debe tener en cuenta los objetivos que se persiguen con la instalación, como el control de la contaminación del aire para alcanzar

las normas de calidad del mismo, la recuperación de materiales valiosos, la recirculación del aire, la conservación de la salud de los trabajadores o el control de molestias a la comunidad.

### 3.2. CLASES DE LIMPIEZA

Existen dos grandes clases de limpiadores de aire: los equipos utilizados para material particulado y los equipos para gases, vapores y neblinas. Algunas veces hay que hacer una combinación de ambas clases debido a la presencia de varios contaminantes en el aire que los transporta.

#### 3.2.1. Equipos de material particulado.

- Separadores por gravedad, como las cámaras de sedimentación.
- Separadores inerciales como las cámaras con placas y los colectores con persianas.
- Colectores de centrífugos, como los ciclones.
- Equipos de filtración, como los filtros de tela y filtros de cartucho.
- Precipitadores electrostáticos.
- Colectores húmedos o lavadores, usados también para gases y vapores.

### **3.2.2. Equipos para gases, vapores y neblinas.**

- Lavadores de diferentes tipos por dilución en agua.
- Colectores de absorción y de adsorción.
- Lavadores catalíticos.
- Lavadores de reacción química.
- Incineradores.

## **4. VENTILADORES**

Un ventilador es una máquina volumétrica que traslada fluido de una parte a otra, venciendo determinada presión. En otras palabras, los ventiladores hacen dos cosas: suministran la presión estática necesaria y mueven el aire.

En un sistema de extracción localizada el ventilador es el elemento encargado de comunicar al aire la energía necesaria para arrastrarlo hasta el punto de captación y hacerlo circular por los ductos y elementos de limpieza antes de devolverlo de nuevo a la atmósfera.

Un ventilador crea una presión estática positiva sobre el lado de la descarga de las aspas que impulsa el aire hacia delante (hacia la chimenea) y una presión estática negativa sobre el lado de la succión contrario de las aspas que aspira el aire (hacia la campana). Los fabricantes y distribuidores de ventiladores son buenas fuentes de información y pueden proporcionar el ventilador necesario, pero se requiere saber qué es lo que se necesita (condiciones de operación).

### **3.1. TIPOS DE VENTILADORES**

Los ventiladores se clasifican en dos tipos básicos, atendiendo a la trayectoria que sigue el fluido al pasar por ellos. Estos son: el axial o helicoidal, y el

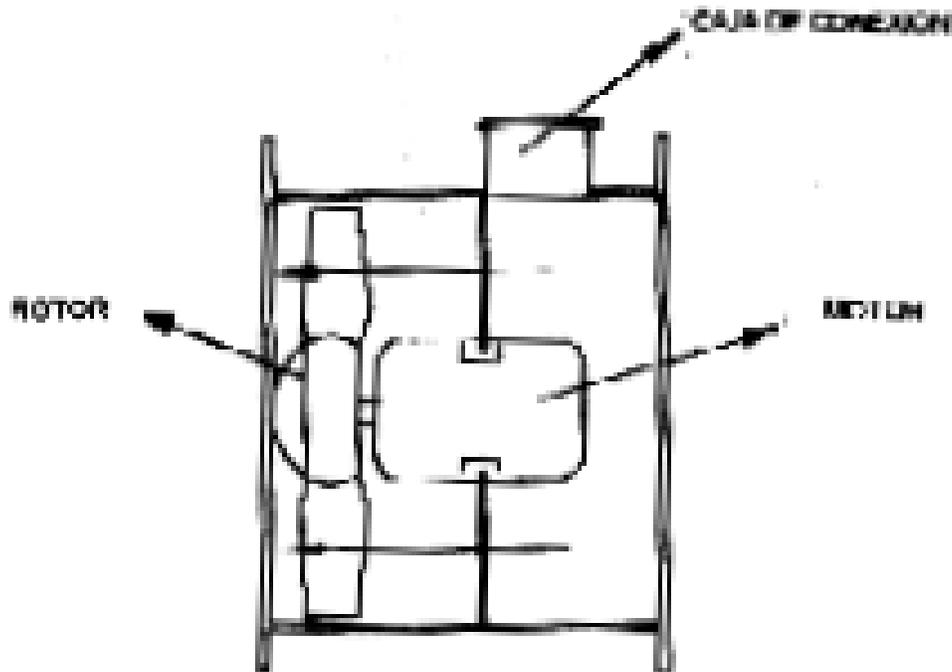
centrífugo. Estas son máquinas bastante diferentes y no es posible una comparación sistemática entre ellas.

### 3.1.1. Ventiladores axiales o helicoidales:

En este tipo de ventiladores el aire sigue la dirección del eje del rotor, estando alineadas la entrada y la salida. Ver Figura 5. El rotor tiene dos o más álabes colocados en ángulo hacia el eje. En este tipo de ventiladores el sentido del flujo se invierte al invertir el sentido de giro del rotor.

Los ventiladores axiales son muy usados para aplicaciones de ventilación general o de movimiento de aire. Tienen la ventaja sobre los centrífugos de un mayor rendimiento mecánico (puede llegar a un 95%) y el montaje es más sencillo, pero no puede vencer diferencias de presión muy elevadas, por lo que su uso queda limitado a las instalaciones que tengan poca pérdida de carga.

FIGURA 5. VENTILADOR HELICOIDAL(AXIAL)

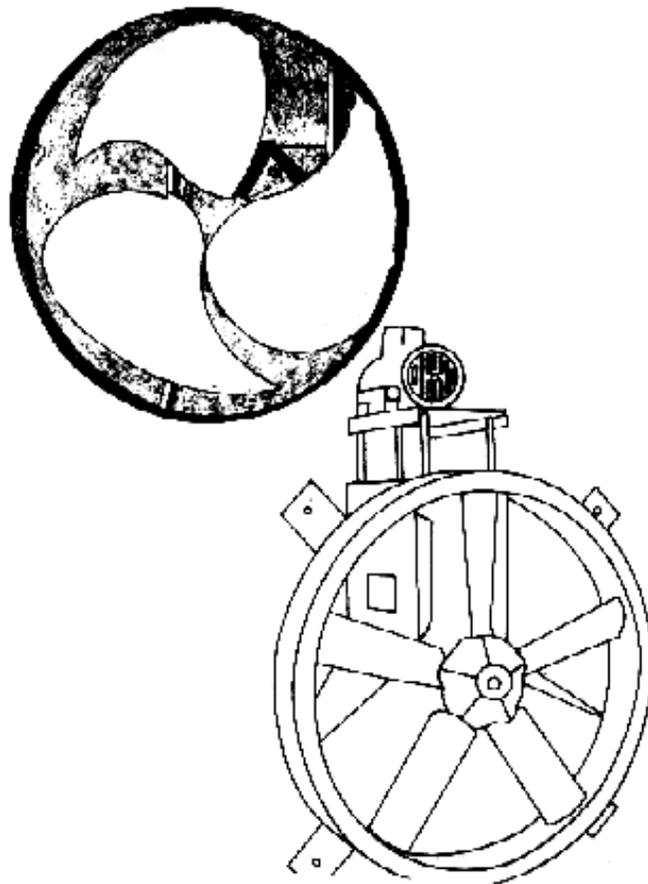


Existen varios tipos de ventiladores axiales:

- **Axial de Propela (Hélice) o Aspas:** Este ventilador maneja grandes cantidades de aire contra muy bajas presiones; se usa con descarga libre. El nivel de ruido es bajo a largas velocidades y las eficiencias aceptables. Se instalan en muros o paredes para descarga o extracción del exterior. La transmisión se hace por correas y poleas o acople directo al motor (Figura 6). El de aspas genera niveles de ruido mayores, se usa para trabajo pesado y aplicaciones de uso industrial.

La potencia requerida de un ventilador axial es la más baja para manejar grandes volúmenes de aire. Su potencia es menor a descarga máxima que a flujo restringido, contrario a lo que pasa en los ventiladores centrífugos que la potencia mínima ocurre cuando no se genera flujo.

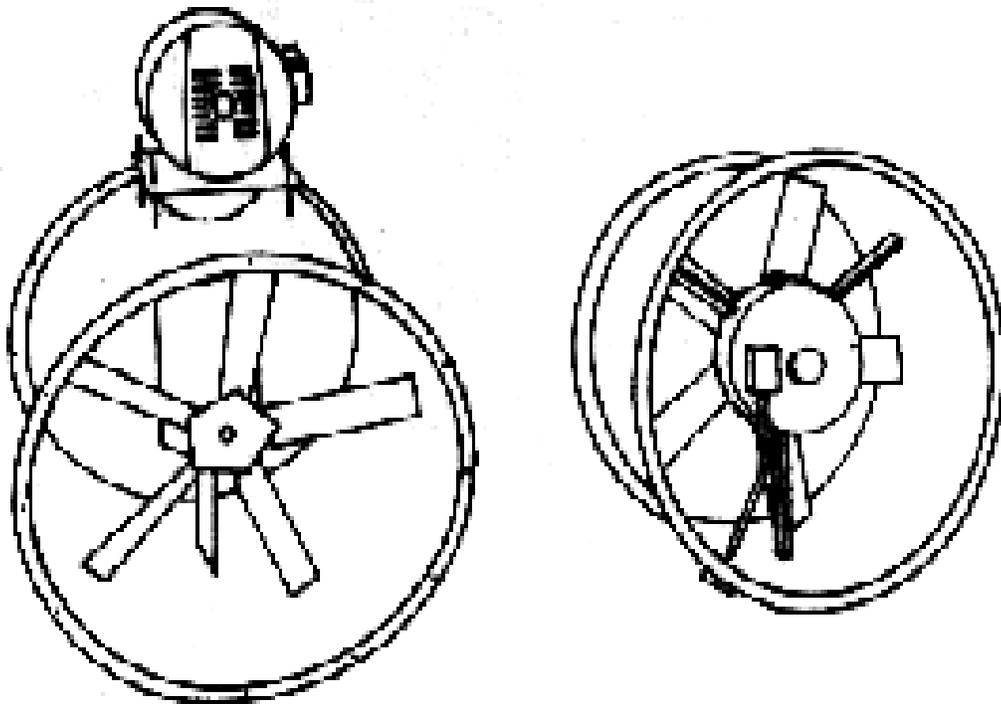
FIGURA 6. VENTILADOR DE PROPELA



VENTILADOR DE ASPAS

- **Axiales Tubulares:** Manejan aires en un rango muy extenso contra presiones medias; presiones hasta 2 pulgadas de columna de agua (Figura 7.). Apropriados para conectar a conductores donde hay limitaciones de espacio. Todos los ventiladores axiales descargan el aire con flujo en espiral y producen mayores pérdidas por fricción en ductos que el flujo lineal generado por una centrífugo. Su aplicación es limitada a usos industriales donde los niveles de ruido no son tan críticos.

FIGURA 7. VENTILADOR AXIAL TUBULAR



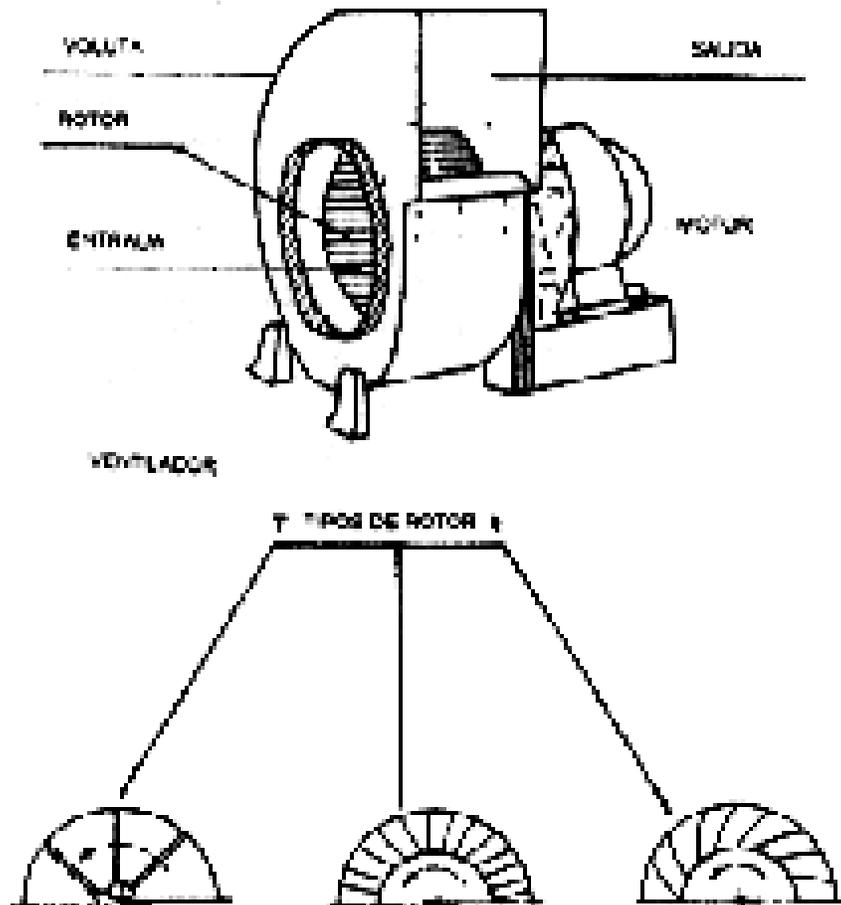
### RANGOS TÍPICOS DE OPERACIÓN

<b>Tipo</b>	<b>CFM</b>	<b>PE (pulgadas de H<sub>2</sub>O)</b>
Propela	500 – 50.000	0 – 5/8”
Aspas	500 – 40.000	0 – 5/8”
Tubos Axiales	500 – 60.000	0 – 2”
	Vent. Axiales	500 – 15.000

#### 3.1.2. Ventiladores centrífugos:

Este nombre se refiere a la forma en la cual comunica el ventilador la energía al fluido. El fluido entra en el ventilador a través de una abertura concéntrica con el eje de una pieza que gira a gran velocidad, llamado rotor (Figura 8). El rotor está provisto de álabes solidarios con el mismo. El fluido circula entre los álabes hacia el exterior a causa de la fuerza centrífuga y abandona el rotor con una velocidad mayor que la de entrada. La salida del fluido se recoge en una carcasa en espiral llamada voluta y sale del ventilador a través de una conducción tangencial a la voluta.

FIGURA 8. VENTILADOR CENTRÍFUGO Y TIPOS DE ROTOR



Toda la energía recibida por el fluido procede del rotor que a su vez la recibe mediante el par de un eje giratorio arrastrado por un motor.

En un ventilador centrífugo las condiciones de entrada y salida forman un ángulo de  $90^\circ$ , no importa el sentido de giro del rotor. En general el rendimiento mecánico de un ventilador centrífugo no es muy elevado, oscila entre 45 y 84%, debido a que el cambio de dirección del aire provoca pérdidas

por choques y remolinos; no obstante, manejan cualquier cantidad de aires contra altas presiones. El diseño de la aleta determina en general la característica de la velocidad de giro, por ejemplo, las aletas hacia delante son apropiadas para baja velocidad y las aletas hacia atrás para alta velocidad.

Los ventiladores Centrífugos se designan como turbosopladores (Figura 9) cuando generan altas presiones estáticas. De acuerdo a como se conecte un ventilador se llama:

- Soplador: que posee ducto de descarga.
- Elevador o Buster: que lleva ductos a la entrada y a la salida
- Extractor: que tiene ducto a la entrada

La presión generada por un ventilador es función del movimiento o velocidad frontal del aire en la punta de la aleta.

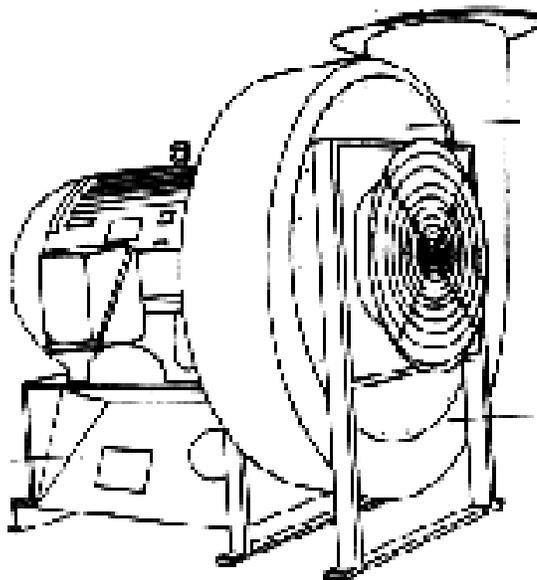
El ventilador de aletas curvas hacia atrás consume menos potencia y es menos ruidoso que el de aletas curvas hacia delante. Estos se utilizan comúnmente para mover gases, vapor, neblinas y rocíos.

Los ventiladores de aleta radial se utilizan para mover material particulado de diferente densidad.

### RANGOS TÍPICOS DE OPERACIÓN

<b>Tipo</b>	<b>CFM</b>	<b>PE</b>
Aletas rectas, industriales	500 – 70000	0.5 – 20"
Aletas curvas, hacia delante	400 – 300.000	0.25 – 15"
Aletas curvas, hacia atrás	300 – 300.000	0.25 – 15"
Aletas o álabes aerodinámicos	500 – 300.000	0.25 – 15"
Turbosopladores	140 – 15.000	7 – 70"

FIGURA 9. TURBO SOPLADOR



## **5. VENTILACIÓN GENERAL PARA EL CONTROL DEL CALOR CONVECTIVO.**

Puede ser de dos tipos: la natural y la mecánica.

### **5.1. VENTILACIÓN NATURAL (Para comodidad y control del ambiente térmico)**

La ventilación natural o por gravedad tiene aplicaciones limitadas y está en función de:

- Vientos dominantes fuera del edificio, confiables.
- Temperaturas dentro del edificio inferiores al rango de 95° F – 100° F (35° C – 37.7° C).

#### **5.1.1. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN NATURAL**

- a. Los sistemas deben diseñarse para velocidades de viento del 50% de la velocidad dominante promedio estacional.
- b. Con objeto de obtener la máxima ventaja del efecto de chimenea (diferencia de densidades), el aire de suministro debe entrar por aberturas situadas cerca o al nivel del piso del espacio que se va a ventilar y dejar las aberturas de salida altas en la pared y/o a través de ventiladores de gravedad en el techo.

- c. Se localizan las aberturas de entrada de aire en el lado del edificio que queda directamente enfrente al viento dominante.
- d. Se localizan las salidas de aire donde los movimientos del viento dominante crean áreas de baja presión, p.ej., en el lado directamente opuesto a la dirección del viento dominante. Las salidas pueden colocarse en un techo en forma de ventiladores de gravedad individuales, monitores continuos, o ventiladores de cumbrera.
- e. Las aberturas de entrada no deben estar obstruidas por edificios, árboles, carteleras, cancelas, interiores, etc.
- f. Se obtiene el mayor flujo por unidad de área de abertura total utilizando aberturas de entrada y salida de áreas aproximadamente iguales.
- g. Los circuitos cortos entre aberturas en dos lados a un alto nivel pueden aclarar el aire a ese nivel sin producir una ventilación apreciable en el nivel inferior ocupado.
- h. La distancia vertical entre las entradas y las salidas debe ser tan grande como sea posible con objeto de desarrollar en mayor beneficio de la ventilación por la diferencia de temperatura.
- i. En estructuras de pisos múltiples, las aberturas en la zona neutral de presión son menos eficaces para la ventilación.

5.1.2. En general, la ventilación natural para espacios es inadecuada en los siguientes casos:

- a. Oficinas que tienen un área de ventana abierta que es menor al 5% del área del piso.
- b. Oficinas con más de 24 pies (7.3 m) de profundidad y que no tienen ventilación cruzada.
- c. Oficinas con ventilación cruzada pero que ocupan un espacio que dista más de 35 pies (10.7 m) de una ventana o entrada de aire.
- d. Cuartos de sanitarios que tienen un área de ventanas que es menor de  $9 \text{ pies}^2$  ( $0.8 \text{ m}^2$ ) o menos de  $0.2 \text{ pies}^2$  ( $0.02 \text{ m}^2$ ) por cada pie (0.3 m) de altura o 5% del área de piso.
- e. Áreas de cafetería o ensamble que tienen un área de ventana que es menor al 6% del área de piso.

Puede obtenerse una estimación de la cantidad de aire de ventilación requerida para la ventilación natural aplicando la siguiente regla de sentido común (originalmente derivada para residencias, puede aplicarse a oficinas y otras áreas de trabajos ligeros): la cantidad de aire de ventilación debe basarse en cambiar el aire dentro del espacio (por aire del exterior) cuando menos treinta

veces por hora en localidades por arriba de la latitud 37° N o por debajo de 37° S y 60 veces por hora en localidades entre esas latitudes y el Ecuador.

### 5.1.3 CÁLCULOS PARA LA VENTILACIÓN NATURAL

- Las cantidades mínimas de flujo de aire para la ventilación sensible pueden calcularse con la fórmula:

$$Q = \frac{H}{60C_{pp}(t_i - t_o)}$$

donde:

Q = flujo de aire requerido para ventilación, pies<sup>3</sup>/min (conversión métrica: pies<sup>3</sup>/min x 0.000472 = m<sup>3</sup>/s).

H = cantidad de calor requerida que debe eliminarse, Btu/h. Véase la cantidad de calor producida organización procesos, equipos de iluminación y personas.

1/60 = constante para convertir horas en minutos.

C<sub>p</sub> = calor específico del aire a presión constante a 70° F bs y 50% de HR = 0.244 Btu/lb (° F).

ρ = densidad del aire estándar (a 70° F bs y 50% de HR) = 0.0741 lb/pies<sup>3</sup>.

t<sub>i</sub> = temperatura de diseño del aire interior (espacio), °F bs.

$t_o =$  temperatura de diseño del aire exterior °F bs.

Obsérvese que la constante 1.1 puede sustituirse casi siempre por el factor  $60\rho_p$  ya que es igual a  $60(0.244) \times 0.0741$  que se aproxima cercanamente a 1.1.

- El tamaño mínimo requerido para las aberturas de entrada de aire que proporcionen los valores de flujo de aire de diseño a la velocidad del viento dominante se obtiene así:

$$A = \frac{Q_a}{EV}$$

donde:

$A =$  área libre de la abertura de entrada, pies<sup>2</sup> (conversión métrica: pies<sup>2</sup> x 0.0929 = m<sup>2</sup>).

$Q_a =$  flujo de aire de ventilación requerido, pies<sup>3</sup>/min, a través del área de la abertura  $A$ . El número de aberturas debe seleccionarse, cuando es factible, para obtener una velocidad tan uniforme como sea posible del aire de ventilación a través del espacio. Por lo tanto,  $Q_a$  es igual a  $Q$  de la ecuación (6) dividida por el número de aberturas; p.ej.,  $Q_a = Q/(\text{número de aberturas})$ .

E = efectividad de abertura (E debe tomarse como 0.50 a 0.60 para vientos perpendiculares, y como 0.25 a 0.35 para vientos diagonales).

V = velocidad del viento, pie/min (mi/h x 88 = pie/min).

Se recomienda que se tome la mitad de la velocidad promedio del viento dominante estacional.

- El flujo de aire debido a las fuerzas térmicas dentro de un edificio o espacio que tiene resistencia mínima (al flujo de aire) o ventilación debida a la diferencia de densidad del aire, se calcula así:

$$Q_t = 9.4A\sqrt{h(t_i - t_o)}$$

donde

$Q_t$  = flujo de aire, pies<sup>3</sup>/min, debido a las fuerzas térmicas solamente ((conversión métrica: pies<sup>3</sup>/min x 0.000472 = m<sup>3</sup>/s).

A = Área libre, pies<sup>2</sup>, de entrada o salida si son iguales. Si no son iguales utilícese el valor más pequeño.

h = altura vertical, pies, entre entrada y salida.

$t_i$  = temperatura promedio del aire interior, °F bs, a una altura h por arriba del piso.

$t_o$  = temperatura exterior, °F bs. Para esta fórmula se supone que tanto la temperatura en el interior en el piso y la temperatura exterior están cercanas a 80° F.

9.4 = constante de proporcionalidad, que incluye un valor de 75% para la eficacia de la abertura. Esto debe reducirse a 50% (constante = 7.2) si las condiciones no son favorables.

- El aumento en el flujo de aire para áreas de entrada y salida desiguales puede aproximarse de acuerdo con la Fig. 10. El valor de  $Q_t$  obtenido puede aumentarse por el porcentaje obtenido de la Fig. 10.

$$Q_{t_{\text{incrementado}}} = Q_t \times (1 + \% \text{ aumento})$$

- Determinación del flujo causado por las fuerzas combinadas del viento y la diferencia de temperatura (efecto chimenea):

– El flujo combinado debido al viento y a las fuerzas térmicas (efecto chimenea) no es igual a los flujos estimados separadamente de  $Q_a$  y  $Q_t$ . El flujo puede aproximarse con la Fig. 11, entrando en la parte

inferior del gráfico, la razón  $\frac{Q_t}{Q_a + Q_t}$  y en el eje de las Y se lee el

factor que debe multiplicarse por  $Q_t$ , para obtener el flujo total

combinado. Cuando  $Q_a = Q_t$ , el flujo real combinado será cerca del 30% mayor que  $Q_a$  o  $Q_t$ .

- Selección del equipo de ventilación natural.

Una vez que se han determinado los pies cúbicos por minuto de aire requerido para la ventilación natural y las áreas de entrada y salida, pueden seleccionarse las siguientes partes de equipo:

- a. Ventanas operables.
- b. Persianas a prueba de intemperie.
- c. Puertas.
- d. Tragaluces operables.
- e. Ventiladores de techo (tipo de gravedad).
- f. Entradas y salidas especialmente diseñadas.

La localización y el tamaño del equipo (entradas y salidas), como se explicó previamente, son de importancia máxima. El posible requisito de que todo o parte del equipo de ventilación tenga que operarse durante la precipitación severa de tormentas, sin que ocurra daño por agua y viento al espacio, no debe pasarse por alto cuando se seleccione el equipo.

FIGURA 10. Aumento en el flujo causado por el exceso de una abertura con respecto a la otra.

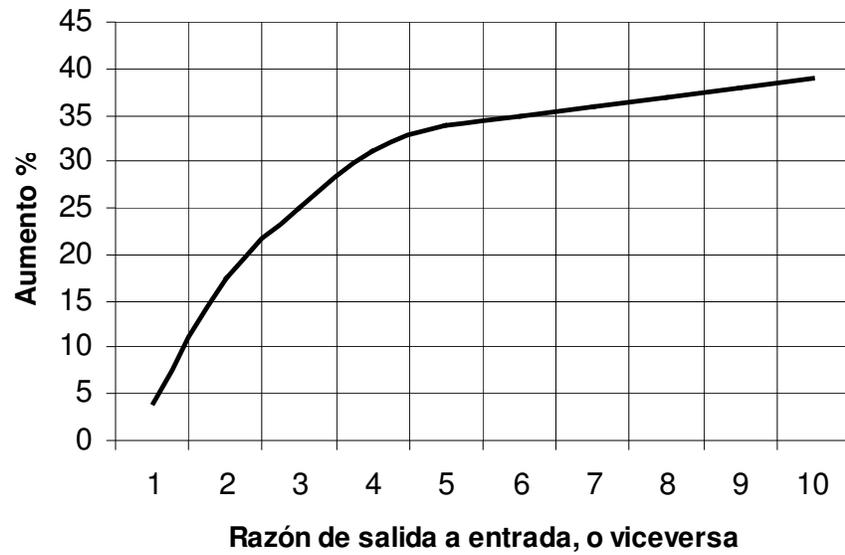
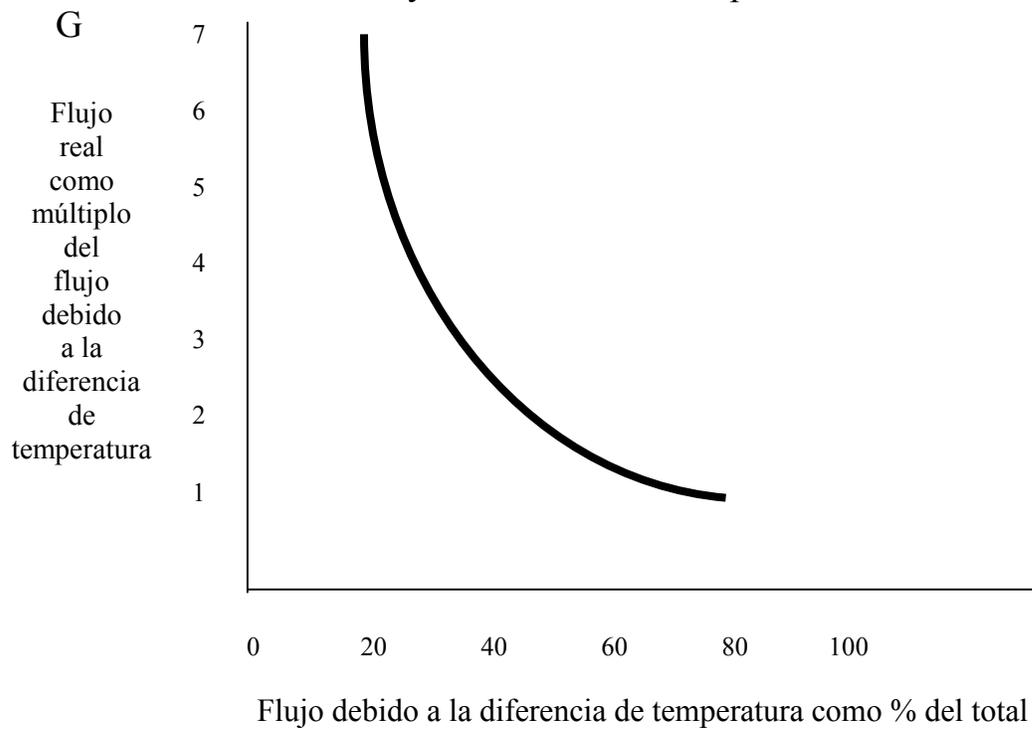


FIGURA 11. Determinación del flujo causado por las fuerzas combinadas del viento y la diferencia de temperatura



- Ventilador de gravedad en techo

En general, todo el equipo debe seleccionarse para valores de coeficiente de alto flujo. Una de las unidades más eficientes es el ventilador de gravedad en techo. Un ventilador en techo debe seleccionarse por su:

- a. Capacidad de utilizar la energía del viento para inducir el flujo por acción centrífuga o de eyección y el efecto chimenea.
- b. Robustez.
- c. Resistencia a la corrosión.
- d. Características a prueba de tormentas (entradas y salidas a prueba de intemperie). Los ventiladores pueden ser estacionarios, que pivotean, oscilantes o giratorios. También pueden tener compuertas manuales o compuertas controladas automáticamente por un termostato en el espacio o la velocidad del viento.

EXTRACTORES EÓLICOS COMERCIALES			
Código (Unidades)	Tipos de Extractores Comerciales	Tamaño tubo sección (mm)	Flujo de Extracción (pie <sup>3</sup> /min)
1	Nivel Industrial – IT24	610	3.178,32
2	Nivel Doméstico – IT24	35	925,25

## 5.2. VENTILACIÓN MECÁNICA

Los sistemas de ventilación se diseñan para realizar una o ambas de las siguientes funciones:

- a. Para controlar olores, mantener niveles aceptables de  $O_2$  y  $CO$ , y proporcionar las cantidades de aire de suministro y de escape requeridas por los procesos dentro de un área.
- b. Para mantener las temperaturas del espacio (tanto como sea posible sin acondicionamiento de aire) a una temperatura específica de diseño.

*Requisitos de presión:* La cantidad de aire de ventilación calculada mediante los factores apropiados listados en la Tabla 3 debe considerarse como la cantidad de aire de escape. Por lo tanto, con objeto de determinar la cantidad de suministro de aire de ventilación el diseñador debe determinar cuándo el espacio en cuestión debe estar bajo una presión negativa, neutral o positiva.

- ♦ *Presión positiva.* Cuando no hay requisito de código o proceso, se sugiere que el espacio que se va a ventilar esté bajo una presión positiva. Es decir, la cantidad de aire de suministro al espacio es mayor que la cantidad de aire de escape en el espacio. En estas condiciones la cantidad de aire de suministro puede ser 10% mayor que la cantidad del aire de escape.

- ♦ *Presión neutra.* La cantidad de aire de suministro iguala la cantidad de aire de escape.
- ♦ *Presión negativa.* La cantidad de aire de suministro es menor que la cantidad de aire de escape. Si no se estipula ningún valor específico, la cantidad de aire de suministro debe ser no menor del 90% de la cantidad de aire de escape.

### 5.2.1. VENTILACIÓN PARA COMODIDAD

Donde se requiera ventilación para comodidad o para eliminar aire quieto, se determina la cantidad de aire requerido de acuerdo al número de renovaciones por hora según la Tabla 3. de “Renovaciones de Aire Recomendadas” y Tabla para Áreas Cerradas con Personas.

TABLA 3. RENOVACIONES E AIRE REQUERIDAS POR TIPO DE USO  
DE LOS LOCALES

<b>Tipo de Locales</b>	<b>Renovaciones por Hora</b>
Habitaciones de vivienda	3-5
Clínicas, hospitales y laboratorios	6-10
Clínicas de cirugía y quirófanos	10-20
Salas de enfermos infecciosos	20-40
Cuarto de baño y guardarropas	8-10
Sanitarios públicos	15-20
Salas de conferencias, aulas, escuelas	4-10
Cuarto de basuras	10-20
Comercio en general	6-10
Oficinas y despachos	5-8
Restaurantes, casinos y corredores	5-10
Salas de espectáculos y de baile	10-15
Cafés y bares	10-12
Iglesias	1-4
Supermercados	8-15
Cocinas, reposterías y pastelerías	10-20
Panaderías	20-30
Talleres, fábricas y almacenes	6-12
Manufacturas textiles y del papel	10-20
Tintorerías, lavanderías y salas de máquinas	15-20
Salas de calderas	20-30

Salas de acumuladores	8-15
Fundiciones	20-30
Hornos de cocción	30-60
Quemaduras de residuos de basuras	20-40
Centrales eléctricas	15-30
Sótanos de estacionamiento	10-15
Sótanos de almacenaje	6-12
Talleres de pintura	25-50
Salas de copias y fotografías	12-20

Temperatura de Aire Exterior	Cantidad de aire requerida	
	No fumadores pies cúbicos/h	Fumadores pies cúbicos/h
0 – 26°C	706	1.060
> 26° C	530	862

$$Q_{\text{comodidad}} = \text{Volumen local} \times \text{No. Renovaciones/hora}$$

$$Q_{\text{comodidad}} = \text{Flujo de aire requerido en espacio, en pies}^3/\text{hora}$$

$$\text{Volumen local} = \text{Volumen del local que se pretende ventilar, en pies}^3.$$

$$\text{No. Renovaciones /hora} = \text{Renovaciones por hora de acuerdo al tipo de local.}$$

Se obtiene en la Tabla 3.

$$Q_{\text{área cerrada}} = f_{\text{up}} \times N_{\text{p}} \Rightarrow f_{\text{up}} = \text{Flujo de aire ventilación/persona pies}^3$$

$$N_{\text{p}} = \text{Número de personas área}$$

### 5.2.2. VENTILACIÓN PARA EL CONTROL DEL AMBIENTE TÉRMICO

- En las industrias con producción de calor, donde las áreas son por lo general grandes y la densidad de población es baja, es necesario remover el calor y mantener las condiciones dentro de los límites tolerables.
- Las medidas que se deben tomar para el control de las exposiciones a calor en industrias calientes varían de una planta a otra. En las industrias con calor seco, el problema es de calor sensible excesivo, y en las de calor húmedo, es por calor latente excesivo y humedad.

#### 5.2.2.1. Cantidad de aire de ventilación

Para calcular la cantidad de aire de ventilación requerida para mantener la temperatura de bulbo seco del espacio según diseño original, se utiliza la siguiente ecuación:

- ♦ Para calor sensible

$$Q = \frac{gt_i}{1.08(t_i - t_o)}$$

Q = Cantidad de aire de ventilación en pies<sup>3</sup>/min

gt<sub>i</sub> = Ganancia de calor interna total en el espacio, en Btu/hora

$$g_{ti} = g_{\text{persona}} + g_{\text{luces}} + g_{\text{proceso}} + g_{\text{radiación solar}}$$

$g_{\text{radiación solar}}$  se desperdicia

$t_i$  = temperatura de bulbo seco interior según diseño, en °F.

Este cálculo se repite para cada espacio dentro de la estructura que requiere ser ventilada.

#### 5.2.2.2. Lineamientos para la selección del tipo de ventilación para un espacio

- Si la  $t_{bs_{int}} > t_{bs_{ext}}$  en 5°F (2.8°C), es más económico el acondicionamiento del aire.
- Si la  $t_{bs_{int}} > t_{bs_{ext}}$  entre 5°F – 10°F (2.8°C – 5.6°C), es más económica la ventilación para mantener la temperatura de bulbo seco del espacio.
- Si la  $t_{bs_{int}} > t_{bs_{ext}}$  en 10°F (5.6°C), un sistema de ventilación mantiene las condiciones del espacio, pero controlando la humedad.

#### ♦ Para calor latente:

El calor latente o la humedad pueden también ser removidos por ventilación si la temperatura del punto de rocío del aire exterior es más baja que la del edificio. Estos valores se obtienen de la tabla psicrométrica conociendo las temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo internas y externas.

La ventilación requerida para remover una cantidad dada de calor latente (expresada en BTU/h puede obtenerse en forma aproximada por la ecuación:

$$Q(\text{cfm}) = \frac{C_e}{\delta \times 60 \frac{(W_i - W_e)}{7000} \times 100}$$

Donde:

$C_e$  = Calor latente removido, BTU/h

$W_i - W_e$  = Diferencia de humedad específica interior-exterior, grano/libra aire seco. Estos valores son obtenidos de la carta sicométrica o de tablas.

1.000 = Factor que se aproxima a la entalpía promedio del vapor de agua en un ambiente caliente, BTU/h.

7.000 = Granos por libra

Para aire a condiciones normales, esta ecuación se convierte en:

$$Q(\text{cfm}) = \frac{C_e}{0.6 \times (W_i - W_e)}$$

Cuando la cantidad de agua evaporada es conocida, se usa la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{libras}/(\text{hora de agua emitida con vapor})}{(W_i - W_e) \times \delta}$$

$$Q(\text{cfm}) = 116.7$$

### 5.2.2.3. GANANCIA O CARGA DE CALOR INTERNA TOTAL EN UN ESPACIO (g)

- ♦ La carga de calor interna total del espacio es igual a la ganancia de calor del personal más la ganancia de calor de alumbrado más la carga total del proceso.

$$g_{ti} = g_p + g_L + g_{proceso}$$

- GANANCIA DE CALOR QUE PROVIENE DEL PERSONAL QUE TRABAJAN EN EL ESPACIO( $g_p$ )
- ♦ Se calcula con la siguiente ecuación:

$$g_p = f_{csp} N_p$$

$g_p$  = Ganancia de calor que proviene de las personas que están dentro del espacio, en Btu/hora.

$f_{csp}$  = Capacidad de calor sensible por persona en Btu/hora. Este valor depende del nivel de actividad de los trabajadores.

$N_p$  = Número de personas que trabajan o están asignadas al espacio.

- GANANCIA DE CALOR QUE PROVIENE DE LAS LUCES ( $g_L$ )
- ♦ Se calcula así:

$$g_L = 3.43 \times t_L$$

$g_L$  = Ganancia de calor que proviene de las luces eléctricas, en Btu/hora.

$t_L$  = Número total de vatios de las luces que están encendidas durante el tiempo que se anticipa que el aire exterior está a la temperatura de diseño. Para luces fluorescentes, se incrementa el valor total de vatios en 25% debido al calor generado por los balastos.

- GANANCIA DE CALOR QUE PROVIENE DEL PROCESO ( $g_{\text{proceso}}$ )

El calor en los ambientes de trabajo puede presentarse por la ejecución de diferentes actividades. Para todas ellas existen modelos matemáticos que permiten calcular la carga de calor en Btu/hora.