

## CAPÍTULO 5

### VENTILACIÓN GENERAL

<b>5.1. Introducción</b>	2
5.1.1. Ventilación por dilución para el control de sustancias químicas	2
5.1.2. Ventilación por dilución para el control del calor	2
<b>5.2. Principios de ventilación por dilución para el control de sustancias químicas</b>	3
5.2.1. Ecuación general de la ventilación por dilución	4
5.2.2. Cálculo de la ventilación en estado de régimen	6
5.2.3. Reducción de la concentración de contaminantes	8
5.2.4. Mezclas de sustancias	9
5.2.5. Ventilación por dilución para prevención de incendios y explosiones	10
<b>5.3. Ventilación por dilución para el control del calor</b>	12
5.3.1. Sistemas de ventilación para el control del calor	13
5.3.2. Cálculo del caudal para el control del calor sensible	13
<b>5.4. Cálculo basado en el método de las renovaciones por hora</b>	17
<b>5.5. Ubicación de aberturas</b>	20
<b>5.6. Ventilación general mecánica</b>	20
<b>5.7. Ventilación general natural</b>	21
<b>5.8. Legislación vigente</b>	23

## **CAPÍTULO 5**

### **VENTILACIÓN GENERAL**

#### **5.1. Introducción**

El término **Ventilación General** se refiere al suministro o extracción de aire de una zona, un local o un edificio. La ventilación general puede realizarse mediante el uso de energía mecánica, ventilación forzada, o utilizando la energía térmica que pasa al ambiente o la presión del viento, para producir la ventilación natural.

De acuerdo a sus objetivos se realiza la siguiente clasificación:

##### **5.1.1. Ventilación por dilución para el control de sustancias químicas**

Consiste en la dilución del aire contaminando con aire sin contaminar, con el objetivo de controlar riesgos para la salud, riesgos de incendio y explosión, olores y contaminantes molestos. La ventilación por dilución también puede usarse para el control de contaminantes ambientales como partículas, gases y vapores que se generan, en el interior de edificios cerrados, por los materiales utilizados en muebles, alfombras, pinturas, empapelados, o por el empleo de artículos de limpieza, etc., y destinados a oficinas, establecimientos de salud, hoteles, lugares de recreación, etc. o bien a viviendas.

La ventilación por dilución es menos eficiente que la extracción localizada para controlar los riesgos para la salud. Bajo ciertas condiciones, la ventilación por dilución proporciona un nivel de protección equivalente a la obtenida con la ventilación localizada y a un costo menor, pero debe ponerse atención en no considerar solamente la inversión inicial y olvidar el costo de funcionamiento, ya que la ventilación por dilución extrae usualmente cantidades importantes de calor cuya reposición puede incrementar el costo energético total en épocas invernales.

La ventilación por dilución para el control de las sustancias químicas siempre es forzada o mecánica en el caso de estar frente a procesos químicos que no generan calor que se transfiere al ambiente de trabajo.

##### **5.1.2. Ventilación por dilución para el control del calor**

Consiste en el control de las condiciones higrotérmicas ambientales que están asociadas con los locales industriales muy calurosos, tal como los que encuentran en fundiciones, industrias del vidrio, lavanderías, panaderías, etc.

En este caso la ventilación puede ser forzada o mecánica, natural, dependiendo de las corrientes convectivas producidas en el local, o bien combinando ambas formas de energía.

## **5.2. Principios de ventilación por dilución para el control de la sustancias químicas**

Los principios básicos del diseño de sistemas de ventilación por dilución son los siguientes:

1.1) Calcular, a partir de los datos disponibles, la cantidad de aire suponiendo una dilución y distribución perfectas del aire y de los vapores de solventes. Dichos valores se deben multiplicar por un coeficiente de seguridad (**K**), que depende del tipo de instalaciones a implementarse (ver párrafo 5.2.1.).

1.2) Situar los puntos de extracción, siempre que exista la posibilidad, cerca de las fuentes contaminantes.

1.3) Situar los puntos de introducción y extracción del aire, de forma tal que el aire pase a través de la zona contaminada. El trabajador debe estar situado entre la entrada de aire y la fuente contaminante.

1.4) Sustituir el aire extraído mediante un sistema de reposición del mismo. El aire aportado debe ser calentado durante las épocas frías. Los sistemas de ventilación por dilución manejan habitualmente grandes caudales de aire mediante ventiladores axiales. Para que el sistema funcione satisfactoriamente es imprescindible reponer el aire extraído.

1.5) Evitar que el aire extraído vuelva a introducirse en el local, descargándolo a una altura suficiente por encima de la cubierta o asegurándose de que ninguna ventana, toma de aire u otra abertura se encuentre situada cerca del punto de descarga.

El uso de la ventilación por dilución para el control de la sustancias químicas está limitado por las siguientes causas:

2.1) La cantidad de contaminante generada no debe ser demasiado elevada, pues en ese caso el caudal de aire necesario sería excesivo.

2.2) Los trabajadores deben estar suficientemente alejados de la fuente de contaminación de forma tal que las concentraciones de contaminantes resultantes sean lo bastante bajas, de forma que la exposición de los trabajadores no supere a los valores establecidos por la legislación vigente.

2.3) La toxicidad de los contaminantes debe ser baja.

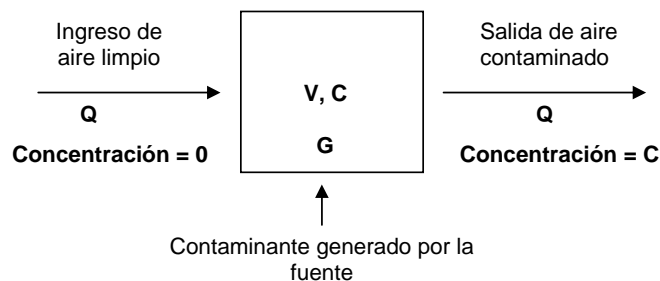
2.4) La dispersión de los contaminantes debe ser razonablemente uniforme.

El uso más frecuente de la ventilación por dilución es el control de los vapores orgánicos, cuyas concentraciones admisibles (CMP) sean iguales o superiores a 100 ppm. Para que la aplicación de los principios de la dilución a este tipo de problemas sea exitosa, es necesario disponer de datos reales

sobre la velocidad de generación del vapor, o sobre la velocidad de evaporación del líquido. Estos datos se obtienen en la empresa si se disponen de registros adecuados respecto al consumo de productos.

### 5.2.1. Ecuación general de la ventilación por dilución

El caudal de ventilación necesario para mantener constante la concentración, para un valor dado de la velocidad de generación o caudal másico (masa / tiempo) del contaminante emitido por la fuente, se deduce a partir de un balance de masa de contaminante dentro del local, suponiendo que el aire de entrada al local está libre de él y que la fuente lo incorpora continuamente:



**Figura 5.1**

Acumulación del contaminante = Generación - Eliminación

o sea que:

$$V \cdot dC = G \cdot dt - Q \cdot C \cdot dt \quad (5.1)$$

donde:  $V$  : volumen del local ( $m^3$ )  
 $C$  : concentración del gas o vapor ( $mg / m^3$ )  
 $G$  : caudal másico que se incorpora ( $mg / s$ )  
 $Q$  : caudal de ventilación ( $m^3 / s$ )  
 $t$  : tiempo (s)

La ecuación diferencial (5.1) presume que el contaminante se mezcla instantáneamente con todo el aire del local y que el caudal de aire de salida presenta esa misma concentración. La magnitud del error que se comete depende de la medida en que la concentración del aire extraído difiera del promedio general.

Resolviendo (5.1) resulta:

$$\int_{C_0}^C \frac{dC}{G - Q \cdot C} = \frac{1}{V} \int_{t_0}^t dt, \text{ y}$$

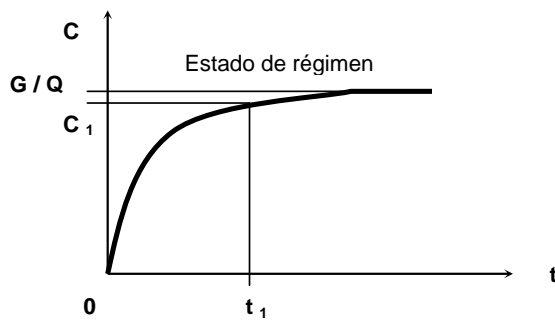
$$\ln\left(\frac{G - Q \times C}{G - Q \times C_0}\right) = -\frac{Q}{V} \times (t - t_0) \quad (5.2)$$

Si la concentración inicial ( $C_0$ ) es cero, cuando el tiempo inicial ( $t_0$ ) es cero:

$$\ln\left(\frac{G - Q \times C}{G}\right) = -\frac{Q}{V} \times t, \text{ y}$$

$$C = G / Q (1 - e^{-Q/V \cdot t}) \quad (\text{mg} / \text{m}^3)$$

que expresa la ley de acumulación del contaminante en función del tiempo y cuya representación gráfica esta dibujada en la Figura 5.2.



**Figura 5.2**

En estado de régimen ( $t \rightarrow \infty$ ), con  $G$  y  $Q$  constantes, resulta:

$$C = G / Q \quad (\text{mg} / \text{m}^3)$$

y de esta expresión se despeja el caudal  $Q$ :

$$Q = G / C \quad (\text{m}^3 / \text{s}) \quad (5.3)$$

donde las unidades usadas son las correspondientes a la ecuación (5.1).

Debido a que la mezcla no es completa, se introduce un factor de seguridad en el cálculo del caudal:

$Q_R = K \cdot Q$ , y de acuerdo a la ecuación (5.3), resulta

$$Q_R = K \cdot G / C \quad (\text{m}^3 / \text{s}) \quad (5.4)$$

Donde:  $Q_R$  : caudal real de ventilación en  $\text{m}^3 / \text{s}$   
 $Q$  : caudal teórico de ventilación en  $\text{m}^3 / \text{s}$

K : factor de seguridad para tener en cuenta que la mezcla no es completa

Este factor K se basa en varias consideraciones:

- 1) La eficacia de la mezcla y la distribución del aire introducido en el local o espacio que se ventila (ver Figura 5.3).
- 2) La toxicidad del solvente que se maneja. Se han sugerido las siguientes recomendaciones, en función de la concentración máxima permisible ponderada en ocho (8) horas (CMP), para elegir el valor de K más conveniente:

Sustancia ligeramente tóxica: CMP > 500 ppm  
Sustancia moderadamente tóxica: CMP 500 - 100 ppm  
Sustancia altamente tóxica: CMP < 100 ppm.

- 3) La consideración de cualquier otra circunstancia que el higienista considere importante sobre la base de su experiencia y a las características de la situación concreta. Incluidas en este criterio se encuentran circunstancias tales como:
  - a) La duración del proceso, el ciclo de operaciones y la ubicación habitual de los trabajadores con relación a las fuentes contaminantes.
  - b) La ubicación y número de fuentes contaminantes en el local o área de trabajo.
  - c) La reducción en la eficiencia funcional de los equipos mecánicos de ventilación.
  - d) Otras circunstancias que puedan afectar a la concentración de sustancias peligrosas en la zona respiratoria de los trabajadores.

El valor de K, elegido de acuerdo con estas consideraciones se encuentra entre 1 y 10.

### 5.2.2. Cálculo de la ventilación por dilución en estado de régimen

Como se ha visto, la concentración de un gas o vapor en estado de régimen, es decir cuando alcanza un valor constante en el tiempo, se expresa mediante la ecuación (5.4). El caudal (**Q**) de aire sin contaminar que se requiere para mantener la concentración de una sustancia tóxica a un nivel aceptable puede calcularse fácilmente si además de determinar el caudal másico (**G**), se elige la concentración (**C**) igual al valor de la concentración máxima permisible ponderada en ocho (8) horas (CMP), expresada en miligramos por metro cúbico (mg/m<sup>3</sup>), valor que corresponde a la sustancia contaminante en consideración, obtenido de la legislación vigente. O sea que la expresiones (5.3) y (5.4) se transforman en:

$$Q = G / CMP \quad (\text{m}^3 / \text{s}) \quad (5.5)$$

$$Q_R = K \cdot G / CMP \quad (\text{m}^3 / \text{s}) \quad (5.6)$$

Cuando la concentración (**C**) se expresa en partes por millón (ppm), en lugar de usar las unidades de masa de contaminante por volumen de aire ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), el caudal volumétrico (**Q**) se expresa en metro cúbico por hora ( $\text{m}^3/\text{h}$ ):

$$Q = \frac{G \times 10^6}{C} \quad (\text{m}^3 / \text{h}) \quad (5.7)$$

donde: **G** : velocidad de generación ( $\text{m}^3 / \text{h}$ )  
**C** : partes por millón (ppm)

Observación:

$C' = C \cdot 10^{-6}$ : parte por uno igual a partes por millón por  $10^{-6}$  (ppm  $\cdot 10^{-6}$ ).

El valor de la velocidad de generación viene dada por:

$$G = \frac{24,45 \times d \times E}{M} \quad (\text{m}^3 / \text{h}) \quad (5.8)$$

donde: **G** : velocidad de generación ( $\text{m}^3 / \text{h}$ )  
**24,45** : volumen de vapor, en  $\text{m}^3$  en condiciones normales, generado por la evaporación de un litro de un solvente de densidad unitaria y peso molecular unitario  
**d** : densidad relativa del solvente líquido  
**E** : velocidad de evaporación del solvente ( $\text{l} / \text{h}$ )  
**M** : peso molecular del solvente

y reemplazando en (5.7):

$$Q = \frac{24,45 \times 10^6 \times d \times E}{M \times C} \quad (\text{m}^3 / \text{h}) \quad (5.9)$$

o la ecuación equivalente:

$$Q = \frac{24,45 \times 10^6 \times d \times E}{M \times CMP} \quad (\text{m}^3 / \text{h}) \quad (5.10)$$

y según la ecuación (5.6):

$$Q_R = K \times \frac{24,45 \times 10^6 \times d \times E}{M \times CMP} \quad (\text{m}^3 / \text{h}) \quad (5.11)$$

**Ejemplo:**

El metilcloroformo se evapora de un depósito a una velocidad de evaporación (**E**) de 0,71 litros por hora. ¿Cuáles son los caudales teórico (**Q**) y

real ( $Q_R$ ) de ventilación que deben emplearse para mantener la concentración del vapor por debajo del valor CMP?

Datos: Para el metilcloroformo:

CPM = 350 ppm = 1910 mg / m<sup>3</sup>, d = 1,32, M = 133,4.

Se supone que el factor de seguridad que se adopta vale cinco: K = 5.

Suponiendo una mezcla perfecta, y suponiendo que la concentración del contaminante en el ambiente de trabajo se hace igual al CPM, expresado en (mg/m<sup>3</sup>), el caudal teórico de ventilación ( $Q$ ), se obtiene aplicando la ecuación (5.5); para ello se determina el caudal másico expresado como (mg/s):

$$G = E \text{ (l/h)} \cdot d \text{ (kg/l)} \cdot 10^6 \text{ (mg/kg)} / 3600 \text{ (s/h)}$$

$$G = 0,71 \cdot 1,32 \cdot 10^6 / 3600 = 260,3 \text{ mg/s}$$

y reemplazando en (5.5):

$$Q = G / \text{CMP} = 260,3 / 1910 = 0,136 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,136 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3600 \text{ s/h} = 491 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\mathbf{Q = 0,136 \text{ m}^3/\text{s} = 491 \text{ m}^3/\text{h}} \quad (5.12)$$

Si ahora se calcula el caudal teórico de ventilación ( $Q$ ), según la (5.10), resulta:

$$Q = 24,45 \cdot 10^6 \cdot 1,32 \cdot 0,71 / (133,4 \cdot 350) = 491 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\mathbf{Q = 491 \text{ m}^3/\text{h}}$$

valor que coincide con el de la expresión (5.12).

Debido a la mezcla incompleta, el caudal real ( $Q_R$ ) debe ser:

$$Q_R = K \cdot Q = 5 \cdot 0,136 = 0,68 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ o}$$

$$Q_R = K \cdot Q = 5 \cdot 491 = 2455 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\mathbf{Q_R = 0,68 \text{ m}^3/\text{s} = 2455 \text{ m}^3/\text{h}}$$

### 5.2.3. Reducción de la concentración de contaminantes

Cuando se conoce la concentración inicial del contaminante en el aire, pero no se incorpora contaminante por ser nulo el caudal másico emitido por la fuente, la ecuación (5.1) se expresa como sigue:

$$\mathbf{V \cdot dC = - Q \cdot C \cdot dt}$$



$$\int_{C_0}^{C_1} \frac{dC}{C} = -\frac{Q}{V} \int_{t_0}^{t_1} dt, \text{ y}$$

$$\ln\left(\frac{C_1}{C_0}\right) = -\frac{Q}{V} \times (t_1 - t_0), \text{ y}$$

$$t_1 - t_0 = -\frac{V}{Q} \times \ln\left(\frac{C_1}{C_0}\right) \quad (5.13)$$

**Ejemplo:**

En un local de volumen  $V = 2800 \text{ m}^3$ , el caudal de ventilación es  $Q = 3400 \text{ m}^3/\text{h}$  siendo la concentración de metilcloroformo de 1400 ppm. ¿Cuánto tiempo será necesario para que la concentración se reduzca hasta 350 ppm?

Aplicando la ecuación (5.13):

$$\Delta t = - 2800 / 3400 \cdot \ln (350 / 1400) = 1,142 \text{ horas} = 68,5 \text{ minutos.}$$

**5.2.4. Mezclas de sustancias**

Muchas veces la ventilación por dilución se aplica al caso de mezclas de vapores. Cuando se encuentran presentes dos o más sustancias tóxicas debe tomarse en consideración los efectos aditivos, si existen, en lugar de los efectos individuales. Cuando la información disponible es incompleta, se deben considerar a los contaminantes como de efectos aditivos.

Para este caso, si se verifica que:

$$C_1 / CPM_1 + C_2 / CPM_2 + \dots + C_n / CPM_n > 1 \quad (5.14)$$

se considera que se supera el valor CMP de la mezcla (ver Resolución 295/03).

En ausencia de información en contrario, la ventilación por dilución debe ser calculada a partir de que los diferentes riesgos son aditivos. Se calcula la cantidad de aire necesaria para diluir cada uno de los componentes de la mezcla hasta alcanzar su CMP, y se toma como caudal de ventilación la suma de dichas cantidades individuales.

Pueden hacerse excepciones a dicha regla cuando existen buenas razones para creer que los efectos principales de los diferentes componentes de la mezcla no son aditivos sino independientes, como ocurre cuando los efectos de dichos componentes son de tipo puramente local sobre distintos órganos del cuerpo. En tal caso se excede el valor límite cuando alguna de las fracciones  $C_1 / CPM_1$  o  $C_2 / CPM_2$ , etc., supera la unidad.

Por lo tanto, cuando se encuentren presentes dos o más sustancias tóxicas y se sabe que sus respectivos efectos son independientes, se debe calcular el caudal de ventilación necesario para cada componente de la mezcla

y emplear el mayor de los valores obtenidos como caudal de ventilación por dilución.

#### **Ejemplo:**

Se lleva a cabo una operación limpieza y encolado, en las que se liberan metil etil cetona (MEK) y tolueno. Ambos tienen acciones narcotizantes y sus efectos se consideran aditivos. La toma de muestras da una concentración de 150 ppm de MEK y de 50 ppm de tolueno. Se supone que se liberan 0,95 litros por hora de cada uno. Se elige un valor de  $K = 4$  para el MEK y de  $K = 5$  para el tolueno. La densidad del MEK es de 0,805 y la del tolueno de 0,866. El peso molecular del MEK es de 72,1 y el del tolueno es de 92,13.

Utilizando la ecuación (5.14), la suma de las fracciones  $[(150/200 + (50/100) = 1,25]$  es superior a la unidad, por lo tanto se supera el CMP de la mezcla. El caudal real de aire requerido, en condiciones normales, para lograr la dilución de la mezcla se calcula usando la ecuación (5.11):

$$Q \text{ (para MEK)} = 4 \cdot 24,45 \cdot 10^6 \cdot 0,805 \cdot 0,95 / (71,1 \cdot 200) = 5260 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q \text{ (para el tolueno)} = 5 \cdot 24,45 \cdot 10^6 \cdot 0,866 \cdot 0,95 / (92,13 \cdot 50)$$

$$Q \text{ (para el tolueno)} = 21833 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q \text{ (para la mezcla)} = 5260 + 21833 = 27093 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q \text{ (para la mezcla)} = 27093 \text{ m}^3/\text{h} = 7,53 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### **5.2.5. Ventilación por dilución para prevención de incendios y explosiones**

Otro objetivo de la ventilación por dilución es reducir la concentración de vapores en el interior de un recinto cerrado (hornos de cocción o secado, conductos de ventilación, etc.) hasta valores por debajo del límite inferior de inflamabilidad (LII). Debe insistirse en que esta aplicación carece de sentido cuando se trata de locales de trabajo en los que están presentes los trabajadores. La razón de ello es evidente cuando se comparan los valores numéricos de la concentración máxima permisible ponderada en ocho (8) horas (CMP) y del límite inferior de inflamabilidad (LII).

Por ejemplo, el CMP del xileno es de 100 ppm. El LII del xileno vale el 1%, es decir 10000 ppm. Para que una mezcla de aire y xileno (o cualquier otra sustancia) sea segura contra incendios y explosiones, ha de ser mantenido por debajo del 25 % del LII, o sea, 2500 ppm. La exposición a tal concentración puede causar severos daños e incluso la muerte. Pero en lugares de procesos cerrados debe emplearse ventilación por dilución con el fin de mantener las concentraciones por debajo del LII.

La ecuación (5.11) se modifica para calcular las cantidades de aire necesarias para lograr la dilución por debajo del LII. Sustituyendo el CMP por el LII resulta, para las condiciones normales de temperatura y presión:

$$Q_R = \frac{24,45 \times 100 \times d \times E \times F_s}{M \times LII \times B} \quad (\text{m}^3 / \text{h}) \quad (5.15)$$

donde:

**LII:** límite inferior de inflamabilidad expresado en partes por cien (%). Dado que el LII se expresa en (%), en lugar de en partes por millón (ppm) como el CMP, el factor  $10^6$  se convierte en 100.

**F<sub>s</sub>:** factor de seguridad que depende del porcentaje del LII que debe alcanzarse para estar en condiciones de seguridad. En la mayor parte de los procesos como en el caso de hornos de cocción o secado, se ha encontrado que un procedimiento razonable consiste en mantener una concentración inferior al 25% del LII en todo momento y en todo punto del equipo. En los hornos de cocción o secado continuos que son ventilados adecuadamente, se emplea un valor F<sub>s</sub> de cuatro (4) que corresponde al 25% del LII. En los hornos discontinuos, con buena distribución de aire, la existencia de picos en el flujo del calor exige valores de F<sub>s</sub> entre 10 y 12 para mantener las condiciones de seguridad en todo momento. En hornos de cocción o secado continuos o discontinuos sin recirculación o con ventilación deficiente, pueden ser necesarios valores de F<sub>s</sub> más elevados.

**B:** constante que tiene en cuenta el hecho de que el límite inferior de inflamabilidad de las mezclas de vapores en aire disminuye a temperaturas elevadas. El valor de B es igual a la unidad para temperaturas hasta 120 ° C e igual a 0,7 cuando la temperatura es mayor a 120 ° C.

#### **Ejemplo:**

Una partida de estanterías esmaltadas por inmersión es cocida en un horno con recirculación a 175 ° C durante 60 minutos. El esmalte aplicado a las estanterías contiene, como sustancias volátiles, 0,95 litros de xileno. ¿Qué caudal de ventilación será necesario para diluir la concentración del vapor de xileno en el interior del horno, hasta un valor seguro en todo momento?.

Para el xileno: LII = 1 %; d = 0,88; M = 106; F<sub>s</sub> = 10; B = 0,7.

Utilizando la ecuación (5.15) resulta:

$$Q = 24,45 \cdot 100 \cdot 0,88 \cdot 0,95 \cdot 10 / (106 \cdot 1 \cdot 0,7) = 275,5 \text{ (m}^3 / \text{h)}$$

Puesto que la ecuación anterior se refiere a condiciones normales, el caudal de aire a una temperatura de 175 ° C, que corresponde a las condiciones de funcionamiento, se obtiene utilizando la relación:

$$Q_R = (Q_{CN}) \cdot (\text{Cociente de temperaturas absolutas})$$

$$Q_R = 275,5 \cdot (273+175) / (273+20) = 421 \text{ (m}^3 / \text{h)}$$

$$\mathbf{Q_R = 421 \text{ m}^3 / \text{h}}$$

Se puede consultar la publicación número 86 del National Board of Fire Underwriter's titulada *Standard for Class A Ovens and Furnaces*. En ella se encuentra una lista completa de solventes y sus propiedades. Además se describen dispositivos de seguridad que se deben considerar al diseñar ventilaciones por dilución destinadas a la prevención de incendios.

### **5.3. Ventilación por dilución para el control del calor**

Otra aplicación específica de la ventilación general es el control del calor en ambientes industriales. En este caso, el objetivo del sistema de ventilación es prevenir las molestias excesivas que pueden producir daños en la salud de aquellas personas que trabajan en esos ambientes. Son aquellas situaciones en las que el calor puede superar las capacidades de defensa del organismo, dando lugar a respuestas fisiológicas extremas, que en algunos casos llegan a poner en peligro la existencia. Como consecuencia de esto se origina una reducción en la productividad, patologías personales y accidentes.

El número de industrias que presentan condiciones térmicas desfavorables es muy elevado: industria de fundición de metales, del vidrio, de la cerámica, textil, minera, etc. Esto se debe a que en esos locales de trabajo hay instalados equipos que intercambian calor, con el medio y los trabajadores, como los hornos, trenes de laminación, calderas, cañerías de vapor, secaderos, evaporadores, motores eléctricos, iluminación artificial y otros. A esto se puede sumar un diseño inadecuado de los edificios que causa el aumento de la temperatura interior debido a la radiación solar.

En consecuencia, la introducción de cualquier sistema de ventilación debe ser precedida de una evaluación fisiológica en términos del estrés térmico potencial para los ocupantes del ambiente caluroso de que se trate. Por ello se recomienda que en el proceso de diseño de un sistema de ventilación para el control del ambiente térmico se incluya un estudio basado en los criterios de exposición a la carga térmica para los trabajadores (ver por ejemplo la Norma ISO 7933:1989 - Ambientes térmicos calurosos).

Se debe comentar que la ventilación industrial para el control del calor puede requerir el acondicionamiento del aire. Pero esto último se utiliza habitualmente para evitar condiciones térmicas del ambiente que pueden perjudicar, específicamente, a los diferentes procesos llevados a cabo en las industrias, por ejemplo condiciones de temperatura y humedad en determinadas operaciones de la industria textil, y no para crear situaciones de confort requeridas por los operarios. En cambio, en la mayoría de las instalaciones comerciales, de oficinas y en las residencias, los objetivos buscados por los sistemas de aire acondicionado son el confort de sus ocupantes y clientes. Todos los aspectos referidos al acondicionamiento del aire no son considerados dentro de los objetivos de este curso.

### 5.3.1. Sistemas de ventilación para el control del calor

Para que la ventilación general, ya sea mecánica o natural, sirva a los fines de eliminar el calor, como así también sirva para eliminar el exceso de humedad, se debe disponer de una provisión de aire de renovación más fría y/o más seca.

Si los procesos que generan calor permiten la instalación de campanas suspendidas sobre ellos o su encerramiento parcial o total, se puede recurrir a la instalación de conductos de tiro natural o a la ventilación localizada que extraigan el calor producido y se evite de esa manera que se difunda por todo el ambiente de trabajo (ver Capítulo 2 para la determinación del caudal de aire a extraer por las campanas).

Cuando no es posible el uso de la ventilación localizada por extracción, se debe recurrir a la ventilación general o por dilución. Para poder calcular el caudal de aire de renovación de la ventilación general se debe previamente:

- 1) Realizar un balance del calor que se transfiere al ambiente, proveniente de todas las fuentes, que actúan simultáneamente, existentes en el local, y/o proveniente de la radiación solar que recibe el mismo, y que genera calor sensible, que es el calor que cede un cuerpo sin cambiar de estado, y/o proveniente del calor latente, que es el calor que cede un cuerpo al cambiar de estado.
- 2) Determinar el aumento de la temperatura o de la humedad que se considere adecuado a la situación bajo análisis.

### 5.3.2. Cálculo de la caudal para el control del calor sensible

Las normas de algunos países, para la ventilación natural de locales con fuentes calientes, establecen que la temperatura del aire en la zonas de trabajo no debe superar en más de 5 °C a la temperatura ambiente del exterior:

$$\Delta t_z = t_z - t_e \leq 5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.16)$$

donde: **t<sub>z</sub>**: temperatura del aire en la zona de trabajo  
**t<sub>e</sub>**: temperatura del aire exterior

Calculada la potencia térmica, proveniente del calor sensible generado por las diferentes fuentes, por medio del balance térmico realizado en el local, y conociendo la temperatura de salida y la temperatura de entrada del aire, para régimen estacionario se plantea la siguiente expresión:

$$H = Q \cdot \rho \cdot C_m \cdot (t_s - t_e) \quad (W) \quad (5.17)$$

donde:

- H**: Potencia térmica del calor sensible, recibida por el ambiente (W),  
**Q**: Caudal volumétrico del aire debido a la ventilación (m<sup>3</sup> / s),

**Comentario [MSOFFICE1]:** Cuando se comente las forma de ventilación ext o iny hablar que la VG para calor siempre es po ext.

$\rho$ : Densidad del aire a la temperatura media  
 $C_m$ : Calor específico másico del aire (J / kg / ° K), que se puede tomar igual a:  $C_m = 1005$  J / kg / ° K,  
 $t_s$ : Temperatura del aire de salida del local (° C) y  
 $t_e$ : Temperatura del aire de entrada al local (° C)  
 $t_m$ : Temperatura media

La temperatura media ( $t_m$ ) es:

$$t_m = (t_e + t_s) / 2 \quad (^\circ\text{C})$$

La diferencia entre las temperaturas  $t_s$  y  $t_e$  también se la denomina  $\Delta t_s$ :

$$\Delta t_s = t_s - t_e \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.18)$$

Despejando de la ecuación (5.17) el valor del caudal volumétrico, resulta:

$$Q = H / [\rho \cdot C_m \cdot (t_s - t_e)] = H / (\rho \cdot C_m \cdot \Delta t_s) \quad (\text{m}^3 / \text{s}) \quad (5.19)$$

Otra forma de expresar la ecuación (5.17) es:

$$H = G \cdot C_m \cdot (t_s - t_e) \quad (\text{W}) \quad (5.20)$$

donde:  $G = Q \cdot \rho$ : Caudal másico del aire debido a la ventilación (kg / s).

Despejando de la ecuación (5.20) el valor del caudal másico, resulta:

$$G = H / [C_m \cdot (t_s - t_e)] = H / (C_m \cdot \Delta t_s) \quad (\text{kg} / \text{s}) \quad (5.21)$$

Se puede usar tanto la expresión (5.19) como la expresión (5.21).

Para calcular la potencia térmica (**H**) es necesario realizar el balance del calor sensible, que comprende la incidencia de la carga solar sobre el local a ventilar y el calor producido por los motores, la iluminación y por otras fuentes tales como calderas, hornos, secaderos, cañerías de vapor, etc, que no desprendan vapor de agua al ambiente. En el caso de la carga de calor generada por las personas, esta es en parte sensible y en parte latente por el vapor de agua que se elimina por medio de la sudoración. En la mayoría de los casos, la carga de calor sensible supera ampliamente a la carga debida al calor latente y por lo tanto se pueden realizar los cálculos en base a dicho calor sensible.

**Comentario [MGB2]:** Es correcto hablar solo de vapor de agua o el calor latente sirve también para otras sustancias.

En las ecuaciones (5.17) y (5.19) a (5.21) no aparece explícitamente el término  $\Delta t_z = t_z - t_e$ , pero los ensayos realizados demuestran que existe una relación entre  $\Delta t_s$  y  $\Delta t_z$ . Aumentando o disminuyendo  $\Delta t_s$  se produce también un aumento o disminución de  $\Delta t_z$ , pero aún no se ha establecido una relación general entre ambas temperaturas. La distribución de las temperaturas en el interior de un edificio es el resultado de la interacción entre los chorros convectivos, producidos por las fuentes calientes, las corrientes de ventilación y

los chorros de aire provenientes de otros lugares. Ya que aún no ha sido estudiada en forma adecuada la relación existente entre estas distintas corrientes, la deducción de una relación entre  $\Delta t_s$  y  $\Delta t_z$  es un problema complejo y cuya solución está pendiente. En consecuencia se trabaja con datos empíricos aproximados.

$$\text{Si llamamos: } m = \Delta t_z / \Delta t_s \quad (5.22),$$

y en la ecuación (5.19) multiplicamos el numerador y denominador por  $\Delta t_z$  y luego reemplazamos por la expresión (5.22), resulta:

$$Q = m \cdot H / (\rho \cdot C_m \cdot \Delta t_z) \quad (m^3 / s) \quad (5.23),$$

Haciendo lo mismo a partir de la ecuación (5.21), resulta:

$$G = m \cdot H / (C_m \cdot \Delta t_z) \quad (kg / s) \quad (5.24)$$

En estas dos últimas ecuaciones se puede considerar que  $m$  es un coeficiente de  $H$  que indica la proporción del calor producido que influye en la zona de trabajo, o sea, la proporción del calor producido que determina el valor  $\Delta t_z$ . Una vez que se conoce experimentalmente el valor numérico de  $m$ , se determina  $\Delta t_s = \Delta t_z / m$  y a continuación se calcula el caudal volumétrico  $Q$ , usando (5.19), o el caudal másico  $G$ , usando (5.21).

En el libro "Fundamentos de Ventilación Industrial" de V. V. BATURIN -1° Edición (Capítulo 13: Renovación de aire - página 451) se indican valores empíricos de  $m$  en función de la actividad industrial desarrollada en diferentes locales de industrias, y que figuran en el *Reglamento de la URSS para el Diseño de los Sistemas de Ventilación y Calefacción de los Edificios para producción y Auxiliares de las Empresas industriales*:

Naves de colada de acerías con hornos eléctricos	0,3
Hornos de recocido	0,3
Talleres para electrólisis de aluminio	0,65
Fundiciones	0,25
Forjas (con hornos)	0,25

Y se aclara en dicha publicación que estos datos son consecuencia de ensayos realizados en locales particulares y no hay modo de justificar su generalización.

Para la ventilación de locales donde las fuentes de calor provienen de actividades distintas de las indicadas en el listado anterior, una aproximación considerada adecuada es adoptar un valor de  $m$  igual a 0,5.

#### 5.4. Cálculo basado en el método de las renovaciones por hora

El cálculo del caudal volumétrico de la ventilación general por el método de las renovaciones por hora, utilizado para ventilación forzada y natural, está

basado en que por comparación con instalaciones que funcionan correctamente, se sabe que en función de su actividad fabril, el caudal de aire que se debe evacuar es una función directa de su volumen. En la mayoría de los tratados de ventilación se publican unas tablas que dan, a partir del dato de una actividad industrial, el número de renovaciones por hora que se debe lograr para ventilar correctamente ese local (ver TABLA 5.1). Es decir que el caudal necesario para la ventilación es el resultado de multiplicar el número de veces que se obtiene de la tabla mencionada multiplicado por el volumen del local:

$$Q = \text{N}^\circ \text{ de renovaciones / hora} \cdot V \text{ (m}^3 \text{ / h)} \quad (5.25),$$

donde: **Nº de renovaciones por hora** (1 / h) se obtiene de la TABLA 5.1, y

**V:** Volumen del local (m<sup>3</sup>)

La sencillez de la solución del problema, que tiene en cuenta una sola variable, es la causa de su inexactitud.

Supongamos que se analiza un local en donde se instalan máquinas herramientas, tales como tornos y fresadoras. Lo normal es que ubiquen sobre la superficie del local con una densidad de máquinas que permitan el desarrollo adecuado del trabajo y que su altura al no tener puentes grúas, salvo contados casos, sea de 4 a 6 metros. Se ha comprobado que la ventilación de este tipo de locales es adecuada cuando se selecciona un promedio de 6 renovaciones por hora (ver TABLA 5.1), y este valor sirve para todos los casos semejantes.

Pero si se ha elegido un taller de 15 metros de altura o las máquinas están demasiado separadas, ya no se está frente a una situación habitual y por lo tanto no se pueden utilizar las tablas dadas para este fin. Como norma general se recomiendan realizar las siguientes consideraciones:

- Tener en cuenta a altura del local. Si esta altura es el doble de lo habitual para una determinada actividad, se debe dividir el número de las renovaciones por dos o viceversa. Seguir una relación de proporcionalidad.

- Tener en cuenta la densidad de los medios de producción. Seguir como en el caso anterior una relación de proporcionalidad.

#### **Ejemplo:**

Se desea calcular el caudal volumétrico requerido para la ventilación de un taller de planchado de una tintorería, que posee las siguientes dimensiones: 15 metros de longitud, 6 metros de ancho y 4 metros de alto. El volumen del local es:  $V = 15 \cdot 6 \cdot 4 = 360 \text{ m}^3$ , y eligiendo el número de renovaciones igual a 25, resulta que el caudal de aire se obtiene reemplazando en la expresión (5.25):

$$Q = 25 \cdot 360 = 9000 \text{ m}^3 \text{ / h}$$

$$Q = \mathbf{9000 \text{ m}^3 \text{ / h}}$$



**TABLA 5.1****Requerimiento de RENOVACIONES POR HORA**

ACTIVIDAD	N° de renovaciones por hora
Almacenes	2 a 6
Bares y cantinas	8 a 12
Cines	10 a 15
Cocinas comerciales	15 a 20
Cría de animales	3 a 9
Embotelladoras (zona de lavadoras)	10 a 15
Embotelladoras (zona de pasteurizado)	12 a 16
Fábricas de papel	8 a 20
Fábricas de vidrio (hornos)	30 a 50
Fábricas de vidrio (máquinas)	20 a 40
Forja en caliente	18 a 30
Forja en frío	6 a 8
Fundiciones livianas	12 a 15
Fundiciones pesadas	18 a 25
Garajes	4 a 8
Iglesias	1 a 2
Manufactura general	6 a 8
Mataderos	10 a 15
Naves de calderas	20 a 30
Pabellones polideportivos	2 a 4
Salas de baile	12 a 16
Talleres de pintura	30 a 60
Talleres mecánicos	4 a 8
Tintorerías (zona de limpieza)	10 a 20
Tintorerías (zona de planchado)	20 a 30
Tratamientos químicos	15 a 25
Tratamientos térmicos	20 a 40
Trenes de laminación	15 a 20

## 5.5. UBICACIÓN DE ABERTURAS

Además del cálculo del caudal de aire a mover, también es importante la ubicación de las aberturas de entrada y de salida del aire de ventilación con respecto a la posición de los trabajadores y de las fuentes que generan el calor. El aire fresco que ingresa al local siempre debe pasar primero por los puestos de trabajo y luego dirigirse en dirección a las fuentes calientes. Estas consideraciones se aplican con independencia de la utilización de la ventilación forzada o natural (ver Figuras 5.4 y 5.5).

Para consultar sobre el tema de la ubicación de las aberturas en los locales en los que se aplica la ventilación general, se puede consultar el libro ya mencionado: "Fundamentos de Ventilación Industrial" de V. V. BATURIN - 1ª Edición (Capítulo 7: Circulación de aire en locales isotérmicos). Ver también en INTERNET: "Manual Práctico de Ventilación" de Salvador ESCODA S.A. 2ª Edición (Conceptos de ventilación – La Ventilación – página 30 y siguientes).

<http://www.salvadorescoda.com/tecnico>

### **MANUAL PRÁCTICO DE VENTILACIÓN - 2ª EDICIÓN**

## 5.6. VENTILACIÓN GENERAL MECÁNICA

Un principio fundamental en la ventilación general es que los contaminantes químicos y/o el calor deben ser evacuados lo antes posible.

En el caso de los contaminantes químicos la disposición de los ventiladores depende de la ubicación de las fuentes y la distribución de las aberturas de entrada y salida adoptadas, que pueden estar ubicadas sobre las paredes y las cubiertas de los locales.

En el caso del calor, que puede arrastrar también a partículas gases y vapores, lo ideal es que la columna de aire ascendente salga al exterior rápidamente al llegar al techo. Por ello es muy importante que los ventiladores se monten sobre el techo y se distribuyan ocupando la mayor superficie posible. Además, debido a que los ventiladores seleccionados son del tipo axial, y funcionan generalmente como extractores con descarga libre, la depresión que crean en su zona de influencia es muy pequeña y para lograr que la masa de aire que llega a ellos sea extraída inmediatamente deben ser empleados el mayor número de ventiladores posible, a igualdad de caudal a extraer.

Si los ventiladores de extracción en lugar de colocarse sobre el techo del local se los ubica sobre las paredes cerca de los techos, pero distantes del centro del local, no son capaces de evacuar a la capa de aire caliente cargado de impurezas que por su baja densidad relativa llega hasta el techo. El aire caliente, en contacto con el techo más frío comienza a descender por las paredes, también frías respecto al aire interior, perdiendo energía cinética por

los rozamientos con ellas, provocando la caída de las partículas más pesadas, y creando un ambiente sucio a pesar de estar ventilándose.

## 5.7. VENTILACIÓN GENERAL NATURAL

La ventilación general natural de los edificios es consecuencia de la diferencia de densidad entre el aire interior y el aire exterior, provocada por la transferencia de calor al ambiente de trabajo, y del viento. Las entradas y salidas de aire se diseñan de tal forma que el aire interior pueda mantener las condiciones requeridas, cualquiera sea la situación atmosférica externa.

Las diferencias de temperatura y la velocidad del viento pueden transportar grandes cantidades de aire y las experiencias realizadas en diferentes lugares del mundo confirman valores de los caudales máxicos, en talleres de laminación de, por ejemplo,  $20 \cdot 10^6$  kg/h aproximadamente. En naves que albergan procesos calientes, el aire transferido puede ser del orden de millones de kilogramos por hora.

Si esos caudales de aire se tuvieran que mover por medios mecánicos, se consumiría una enorme cantidad de energía. Entonces, la gran importancia económica de la ventilación natural reside en que se pueden mover esas cantidades de aire sin consumir energía mecánica.

Se ha demostrado que la ventilación natural renueva un volumen de aire varias veces superior al volumen renovado por la ventilación mecánica. O sea que el papel desempeñado por esta última es insignificante, para la eliminación del calor de grandes naves industriales, a pesar de sus elevados costos de instalación y funcionamiento. En estos casos conviene utilizar la ventilación mecánica para hacer más efectiva la ventilación natural, mediante el uso de cortinas de aire y suministro y extracción localizados.

La renovación natural del aire es deseable particularmente en los talleres donde se liberan cantidades importantes de calor, talleres calientes, y como ejemplo se mencionan altos hornos, hornos de reverbero, laminadoras, forjas, fundiciones, talleres de tratamiento térmico, salas de calderas, etc. En muchas ocasiones resulta útil el empleo de la ventilación natural en combinación con la ventilación localizada. La ventilación natural no puede ser usada en aquellos locales industriales donde el aire requiere tratamiento previo por razones tecnológicas, por ejemplo inyección de aire acondicionado.

El siguiente Esquema N° 1 corresponde al corte transversal de un local con una fuente caliente ubicada a lo largo de su eje, donde:

H (w): es la potencia térmica entregada por la fuente al ambiente de trabajo y que se determina a través de un balance del calor intercambiado.

H (m): distancia entre los ejes de las aberturas superiores e inferiores.

$G_1$  y  $G_3$  (kg / s): caudales máxicos de aire entrantes.

$G_2$  y  $G_4$  (kg / s): caudales máxicos de aire salientes.

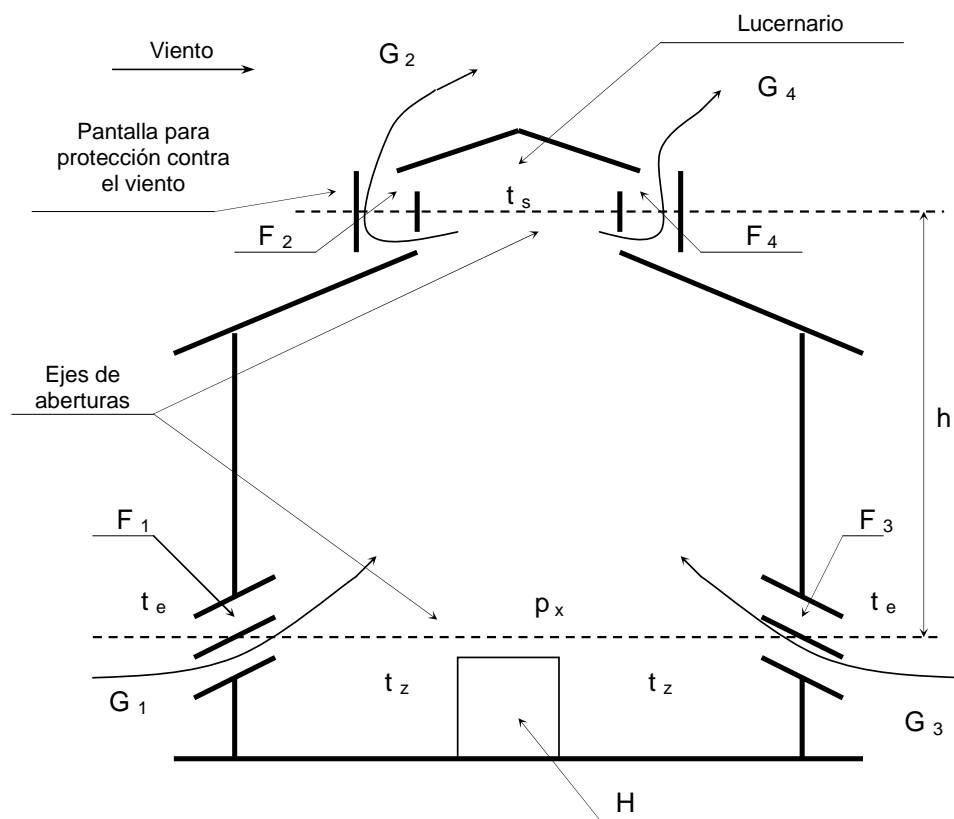
$F_1$  y  $F_3$  (m<sup>2</sup>): áreas de aberturas inferiores.

$F_2$  y  $F_4$  (m<sup>2</sup>): áreas de aberturas superiores.

$T_e$ : temperatura exterior,  $t_z$ : temperatura de la zona de trabajo,

$t_s$ : temperatura de salida.

$P_x$ : presión en la zona de trabajo



**ESQUEMA Nº 1**

Sobre el techo de la nave se construye un lucernario que contiene a las aberturas superiores y de esa forma se evita o disminuye la formación de la capa de aire contaminado contra el techo del local, según se comentó en 5.6..

La expresión:

$$\mathbf{G} = \mathbf{G}_1 + \mathbf{G}_3 = \mathbf{G}_2 + \mathbf{G}_4 \quad (\text{kg / s}) \quad (5.26)$$

indica que los caudales máscicos entrantes son iguales a los salientes e iguales al caudal máscico necesario para eliminar el calor **H** entregado por las fuentes calientes al ambiente de trabajo.

Con las ecuaciones (5.24) y (5.26) se plantea un sistema de dos ecuaciones y presenta diversas incógnitas: los dos caudales de entrada (**G**<sub>1</sub> y **G**<sub>3</sub>) y los dos caudales de salida (**G**<sub>2</sub> y **G**<sub>4</sub>), las cuatro áreas de las aberturas (**F**<sub>1</sub> a **F**<sub>4</sub>), la temperatura de la zona de trabajo (**t**<sub>z</sub>), la temperatura de salida (**t**<sub>s</sub>) y la presión en la zona de trabajo (**p**<sub>x</sub>). El sistema presenta infinitas soluciones, pero estableciendo relaciones entre las incógnitas se obtiene soluciones adecuadas. Además debe lograrse un valor de la presión de la zona de trabajo (**p**<sub>x</sub>) que permita la entrada del aire por las aberturas inferiores de sotavento, aún cuando sus presiones exteriores sea inferiores a las presiones exteriores de las aberturas situadas a barlovento.

Este tema excede al objetivo del curso y para quienes deseen profundizar en él se puede recurrir a la referencia ya citada anteriormente: "Fundamentos de Ventilación Industrial" de V. V. BATURIN -1º Edición (Capítulo 13: Renovación de aire).

### 5.8. Legislación vigente

En los artículos 64 a 70 del Capítulo 11 – Ventilación, del Título IV del Anexo I, del Decreto 351/79, reglamentario de la Ley Nacional 19587, se regula en materia de Ventilación y se establecen los requisitos mínimos que deben ser cumplidos en los establecimientos.

En el artículo 66 es establece la ventilación mínima de los locales que se debe determinar en función del número de personas presentes en él. A continuación se dan dos tablas, una para actividad sedentaria y otra para actividad moderada, de las que se obtiene el caudal de aire necesario en m<sup>3</sup> por hora y por persona. Estos caudales mínimos deben satisfacerse en todos los establecimientos, utilizando los medios adecuados para tal fin y que no son especificados.

En el artículo 67 se explicita que ante la presencia de contaminación que pueda ser perjudicial para la salud, tal como carga térmica, vapores, gases, nieblas, polvos u otras impurezas en el aire, la ventilación contribuirá a mantener permanentemente en todo el establecimiento la concentración adecuada de oxígeno y la de contaminantes dentro de los valores admisibles y evitará la existencia de zonas de estancamiento. Pero nuevamente no se indican los medios a utilizarse para cumplir con estos requisitos. Es decir que el profesional actuante deberá satisfacer esos requisitos usando el criterio que a

su juicio sea el más adecuado, para resolver cada situación en la que deba actuar.

En conclusión, la reglamentación establece *condiciones mínimas de caudal por persona* en cada establecimiento y en el caso de la presencia de contaminantes en el ámbito laboral, se construirán sistemas de ventilación con el fin último de resguardar la salud, y se verificará el funcionamiento satisfactorio de los mismos a través de la evaluación de las condiciones del ambiente de trabajo, que deberá cumplir con los valores límites umbrales establecidos por la reglamentación legal vigente.

**NOTA:** Las figuras 5.3 a 5.5 han sido obtenidas del libro **VENTILACION INDUSTRIAL** Generalitat Valenciana. Conselleria de Treball i Afers Socials. Direcció General de Treball. Paseo de la Alameda, 16 - 46010 Valencia. ESPAÑA.

## **BIBLIOGRAFIA**

### **VENTILACION INDUSTRIAL**

Generalitat Valenciana. Conselleria de Treball i Afers Socials. Direcció General de Treball. Paseo de la Alameda, 16.  
46010 Valencia. ESPAÑA.

### **INDUSTRIAL VENTILATION - A Manual of Recommended Practice.**

Committee on Industrial Ventilation. P. O. Box 16153. Lansing. Michigan 48901 USA.

American Conference of Governmental Industrial Hygienist. 6500 Glenway Avenue, Bldg. D - 7. Cincinnati, Ohio 45211 USA.

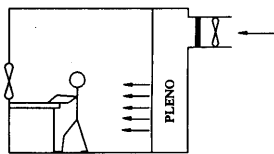
### **FUNDAMENTOS DE VENTILACION INDUSTRIAL**

V. V. BATURIN. Editorial LABOR S.A. Calabria, 235 - 239. Barcelona - 15. ESPAÑA.

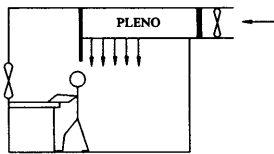
**VENTILACION INDUSTRIAL - Descripción y diseño de los sistemas de ventilación industrial.** Rubens E. POCOVÍ – Universidad Nacional de SALTA. Ediciones MAGNA PUBLICACIONES. Catamarca 285. San Miguel de Tucumán. República ARGENTINA

# VENTILACIÓN GENERAL

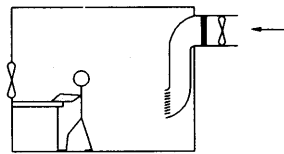
## VALORES DE K SUGERIDOS PARA DISTINTAS ENTRADAS Y SALIDAS DE AIRE



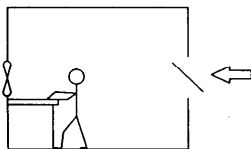
ENTRADA DE AIRE ÓPTIMA  
EXTRACCIÓN ÓPTIMA  
K = 1,0 MÍNIMO



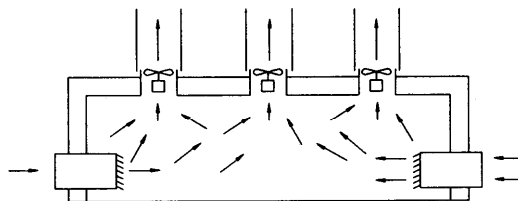
ENTRADA DE AIRE ÓPTIMA  
EXTRACCIÓN ÓPTIMA  
K = 1,0 MÍNIMO



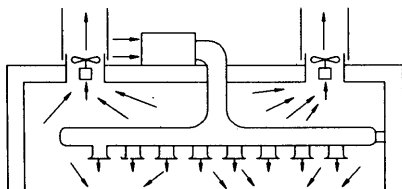
ENTRADA DE AIRE ÓPTIMA  
EXTRACCIÓN ÓPTIMA  
K = 1,5 MÍNIMO



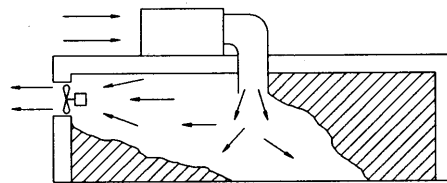
ENTRADA DE AIRE CORRECTA  
EXTRACCIÓN ÓPTIMA  
K = 2,5 MÍNIMO



CORRECTO  
K = 2 A 5  
REF. 2.2



BUENO  
K = 1,5 A 2  
REF. 2.2



MALO  
K = 5 A 10  
REF. 2.2

NOTA: LOS VALORES DE K INDICADOS TIENEN SÓLO EN CUENTA LAS ENTRADAS Y SALIDAS DEL AIRE, Y SON ORIENTATIVOS. PARA ELEGIR EL VALOR DE K A EMPLEAR EN LA ECUACIÓN DEBE TENERSE TAMBIÉN EN CUENTA EL NÚMERO Y SITUACIÓN DE LOS TRABAJADORES, EL FOCO DE CONTAMINANTE Y LA TOXICIDAD DEL MISMO.

FIGURA 5.3



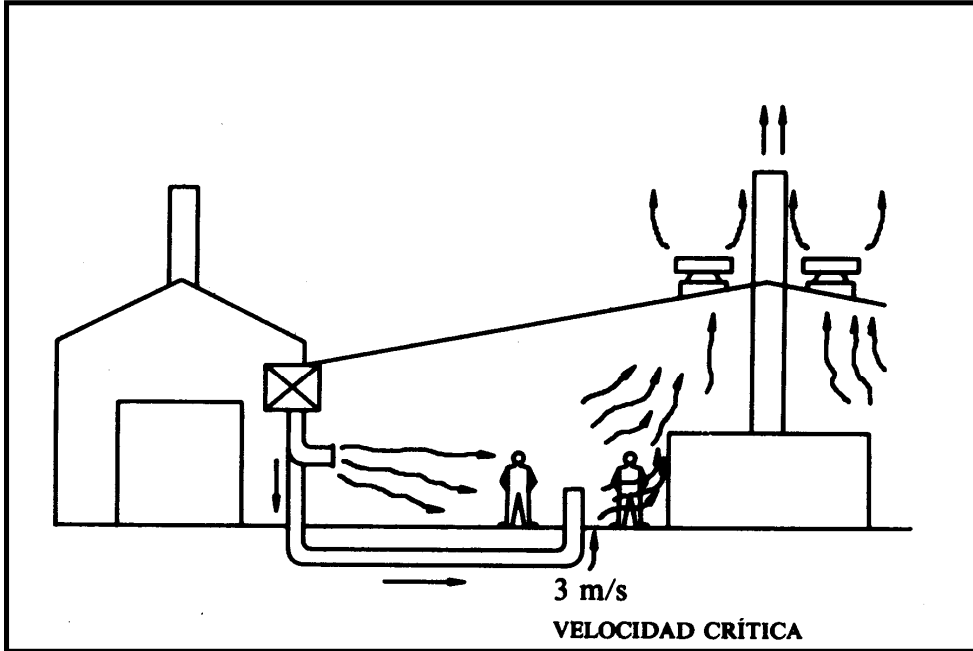


FIGURA 5.4 - VENTILACIÓN MECÁNICA

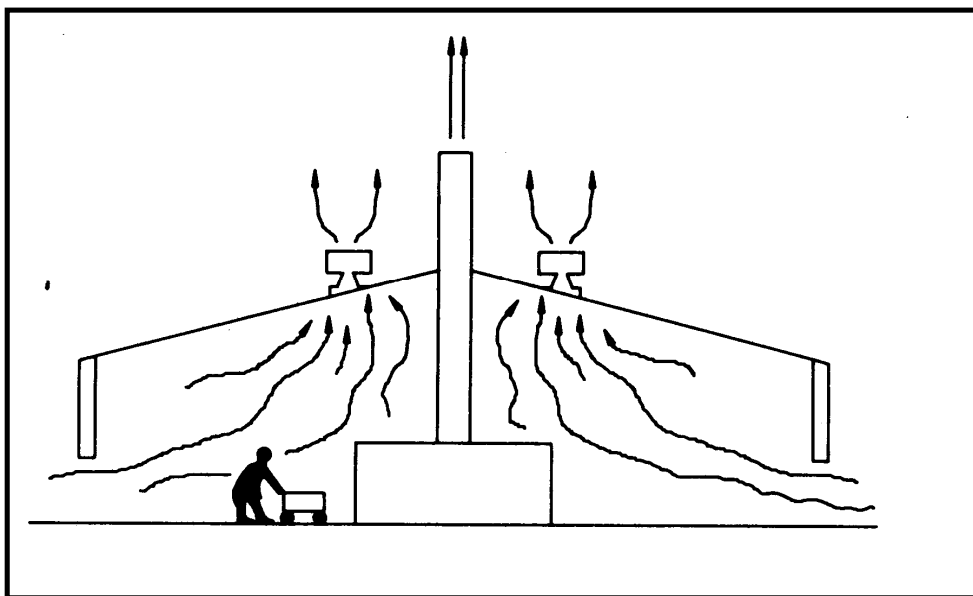


FIGURA 5.5 - VENTILACIÓN NATURAL