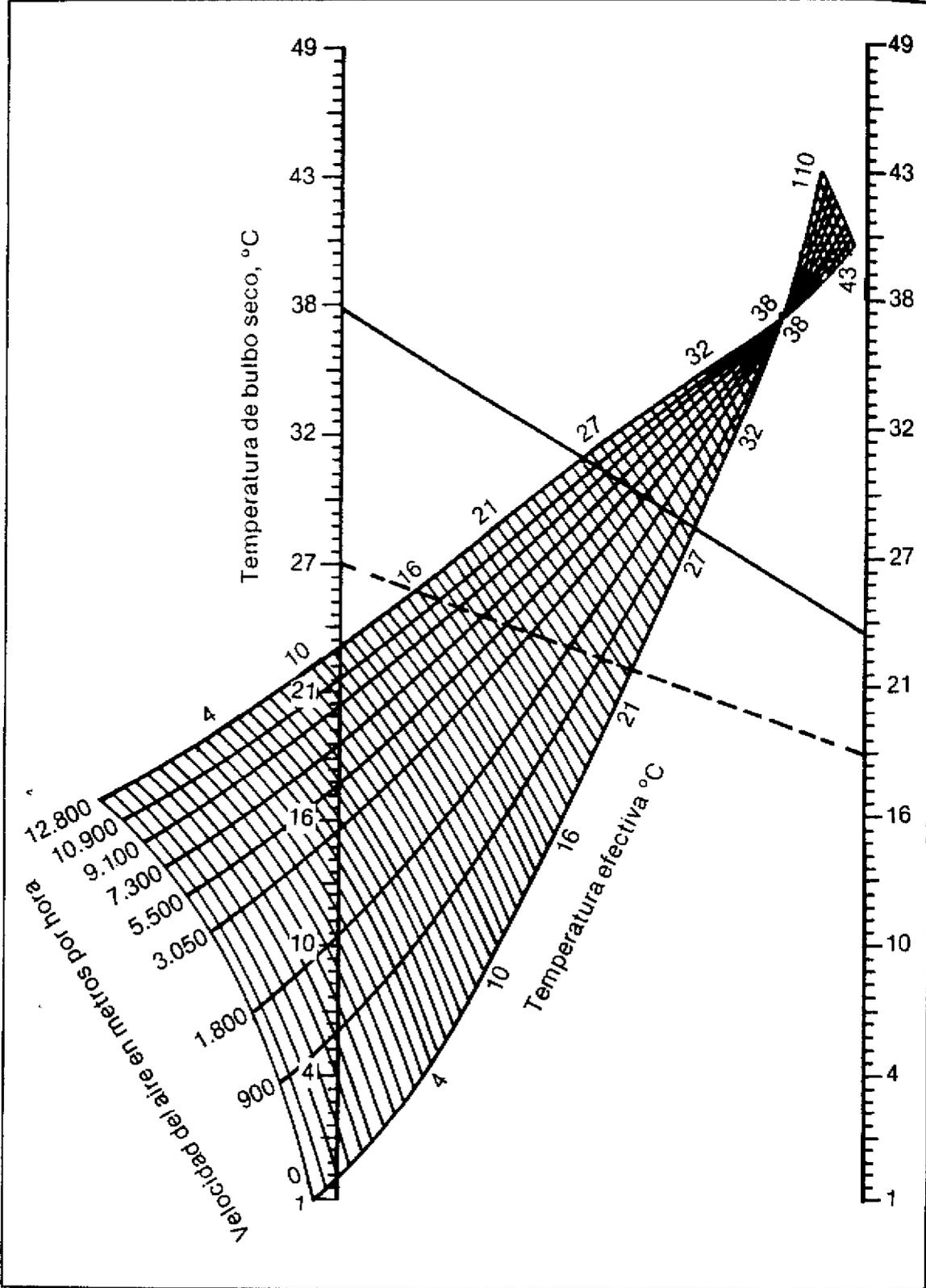


Figura 10.6

Temperatura efectiva aplicable a hombres desnudos hasta la cintura, en reposo o efectuando trabajo fisico ligero



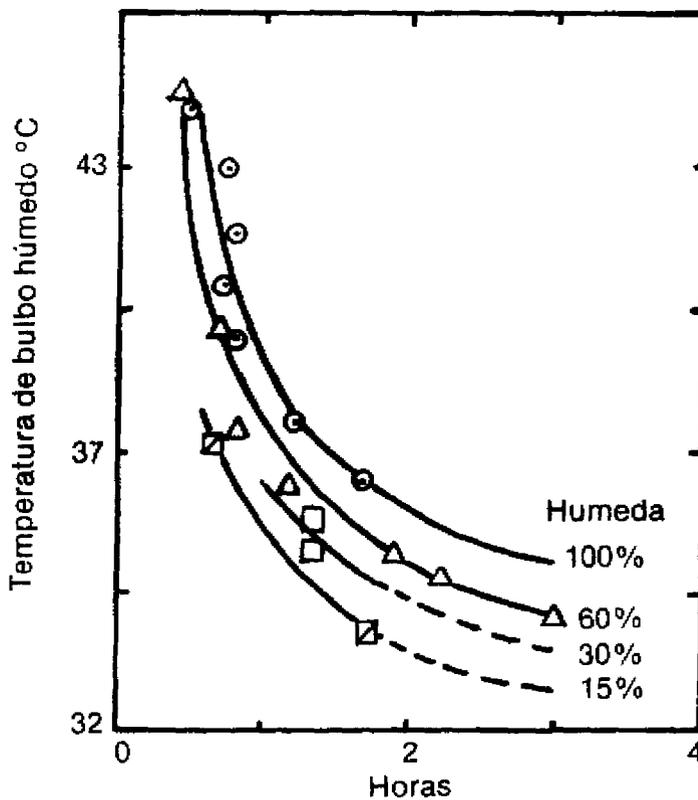
El cuadro 10.3 presenta los valores límites tolerables de temperatura efectiva para diferentes condiciones de trabajo. La figura 10.7 relaciona los límites de tolerancia a diferentes temperaturas de bulbo húmedo y humedades para hombres en descanso y vestidos hasta la cintura. La figura 10.8 presenta los mismos datos, para temperatura efectiva. Los límites tolerables se reducen considerablemente cuando las cargas de calor metabólico son altas.

Para calcular los volúmenes de aire requeridos en el control del calor, es necesario considerar los incrementos de calor provenientes de las siguientes fuentes:

- El calor del cuerpo producido por los ocupantes.
- Aparatos eléctricos, motores, máquinas y procesos exotérmicos.

Figura 10.7

Tiempos tolerados para hombres en reposo desnudos hasta la cintura, para aire quieto y diversas humedades relativas y temperaturas de bulbo húmedo



Cuadro 10.3

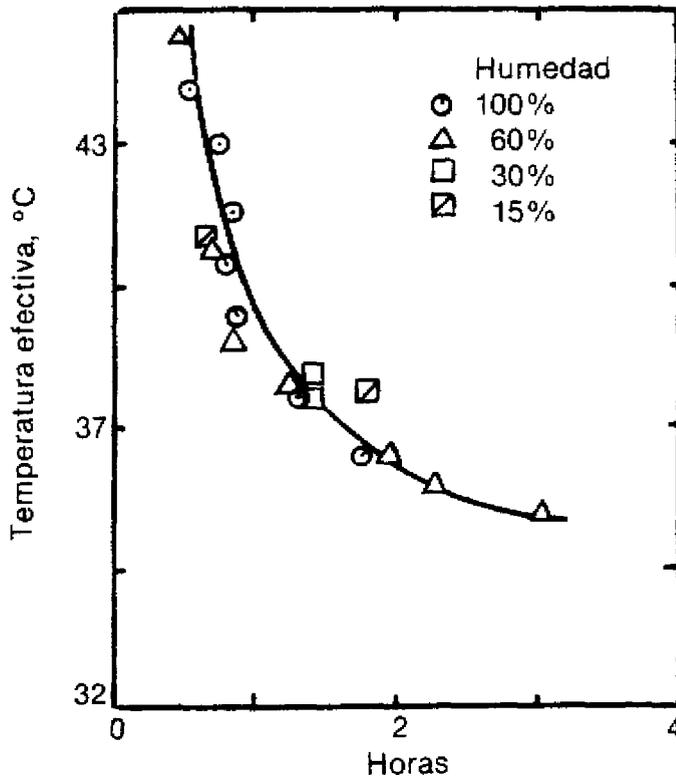
Temperaturas altas de bulbo húmedo y seco* que pueden tolerarse en el trabajo por hombres sanos. aclimatados que usan ropa para tiempo cálido (18)

Actividad	Humedad Relativa %	Movimiento del aire					
		4.5 · 7.6 m/s		30.5 m/s		92 m/s	
		Bulbo/s	Bulbo/h	Bulbo/s	Bulbo/h	Bulbo/s	Bulbo/h
Estación de verano Actividades ligeramente sedentarias (85 TE)	80	31.6	28.8	32.7	29.4	33.8	30.5
	60	34.4	27.7	35.5	34.4	36.6	29.4
	40	37.7	26.0	38.2	27.1	39.4	27.7
	20	42.7	23.8	43.3	23.8	43.3	23.8
	5	48.2	20.5	47.7	20.5	47.2	20.0
Estación de verano Trabajo pesado (80 TE)	80	28.3	25.5	29.9	27.1	31.6	28.3
	60	31.0	24.4	32.2	25.5	33.8	26.6
	40	33.8	22.7	35.0	23.8	36.0	24.4
	20	37.7	20.5	38.2	21.1	38.8	21.1
	5	41.6	17.7	41.6	17.8	41.1	17.2
Estación de invierno Trabajo ligero o pesado (75 TE)	80	25.5	22.7	27.1	25.0	29.4	26.0
	60	27.1	21.6	29.4	23.3	31.1	24.4
	40	29.9	20.0	31.6	21.1	32.7	22.2
	20	32.7	17.2	33.8	18.3	34.4	18.8
	5	36.0	14.4	36.0	14.4	36.0	15.0

* Incluye el efecto del calor radiante.

Figura 10.8

Tiempos tolerados a diversos valores de temperatura efectiva



- Energía solar transmitida al interior del local a través de ventanas, paredes y techo del edificio.
- Conducción térmica a través de los materiales de construcción del edificio, por la diferencia de temperatura entre el aire exterior e interior del local.

El calor producido por las personas en estado de reposo es de 100 kcal/hora. La pérdida de calor correspondiente a diferentes grados de ejercicio físico, se presenta en el cuadro 10.4

El calor procedente de motores eléctricos y de otros aparatos que se calientan al usarlos, puede estimarse en el cuadro 10.5

La temperatura interior de los establecimientos se eleva por la acción solar, transmitida a través de ventanas, paredes y techos de la edificación. La influencia solar sobre la temperatura de los inmuebles depende de varios factores:

Cuadro 10.4

Calor que despiden las personas (kcal/hora)

Personas sentadas en reposo	100
Personas efectuando un trabajo ligero	150
Personas caminando a una velocidad de 5 km/hora	250
Personas caminando a una velocidad de 7 km/hora	350

Fuente: *Guía práctica de ventilación*, W.C. Osborne.

Cuadro 10.5

Calor aproximado que generan los motores eléctricos

Potencia del motor, KW	kcal/hora a plena carga		kcal/hora por kilovatio	
	Emisión total	Pérdidas	Emisión total	Pérdidas
0.25	335	135	1 420	535
0.50	670	200	1 300	415
1.00	1 150	300	1 150	300
5.00	5 230	1 000	1 050	200
25.00	24 500	3 000	980	120
100.00	94 500	9 400	945	95

Fuente: *Guía práctica de ventilación*, W.C. Osborne

claridad de la atmósfera, sombra de los árboles, color de las superficies externas y velocidad del viento.

A partir de los cuadros 10.6 y 10.7 se pueden estimar los incrementos del calor por radiación solar a través de las paredes y del techo.

Cuadro 10.6

Calentamiento solar a través de los muros
 Transmisión máxima en tiempo claro,
 con una temperatura interior igual
 a la exterior a la sombra

Material y construcción	kcal. Este u oeste	kcal. Sudeste u oeste	kcal. Sur
Muros de ladrillo:			
Muro simple, exterior sin protección			
espesor 0.06 m	112	65	13.2
0.11 m	88	51	10.4
0.22 m	61	35	7.2
0.33 m	44	26	3.2
0.45 m	37	22	4.4
0.56 m	31	18	3.6
al menos 0.03 m	51	30	6.0
2 ladrillos 0.6 m + 0.06 m	47	28	5.6
0.11 m + 0.06 m	41	24	4.8
0.11 m + 0.11 m	34	20	4.0
0.22 m + 0.11 m	29	17	3.4
0.22 m + 0.22 m	142	82	16.8
0.05 m	122	71	14.4
0.10 m	108	63	12.8
0.15 m	95	55	11.5
0.20 m	88	51	10.4
0.25 m	112	65	13.2
0.25 m	105	61	12.4
0.30 m	95	55	11.2
0.40 m	85	49	10.0
Muros de hormigón sin protección:			
Muros de piedra sin protección:			

(Continúa)

(Continuación)

Material y construcción	kcal. Este u oeste	kcal. Sudeste u oeste	kcal. Sur
Muros exteriores de madera. espesor total:			
de madera 0.02 m	112	65	13.2
0.03 m	98	57	11.6
0.04 m	85	49	10.0
0.05 m	74	44	8.8
0.08 m	58	34	6.8
0.10 m	47	28	5.6
Pared de placa ondulada de fibrocemento	170	98	20.0
Ventana exterior de vidrio con simple chasis de madera	500	300	105
Ventana exterior de simple chasis y doble vidrio	103	59	11.9

Los valores indicados se refieren a superficies de color oscuro, para colores medio claros multiplicar por 0.75. No es aconsejable usar factores para paredes muy claras, pues suelen ensuciarse.

Cuadro 10.7

Calentamiento solar a través del techo

Transmisión máxima en tiempo claro, con una temperatura interior igual a la exterior a la sombra.

Techo de cielo raso sobre caballetes:	(kcal/m h)
— Caja de yeso de 0.11 m aproximadamente sobre tablas juntas	100-140
Techo de carpintería de madera o hierro:	
— Placas onduladas de palastro, zinc o fibrocemento	375
Cubierta de tejas:	
— Simple recubrimiento de doble maderamen	250
— Doble recubrimiento y doble maderamen	225
Vidrio: 3 a 6 mm sobre hierro con juntas embetunadas	735

Fuente: *Guía Práctica de Ventilación*. W. C. Osborne.

VENTILACIÓN POR DILUCION PARA CONTROLAR EL RIESGO PARA LA SALUD

La ventilación general por dilución consiste en lograr que en un local de trabajo los contaminantes liberados en la atmósfera se diluyan continuamente por la introducción de aire no contaminado al cual el trabajador pueda exponerse en forma segura durante su jornada laboral.

La ventilación por dilución se utiliza cuando:

- La cantidad de contaminantes que se genera no es excesiva, ya que de lo contrario, el volumen de aire necesario para la dilución la haría muy costosa.
- Los trabajadores están lejos de la generación del contaminante, o éste se encuentra en una concentración lo suficientemente baja para que los trabajadores no tengan una exposición superior a los valores límites permisibles (VLP).
- La toxicidad del contaminante es baja, con un VLP alta.
- La generación del contaminante es razonablemente uniforme.

- Los contaminantes son gases y vapores que se mezclan fácil y uniformemente con el aire del local de trabajo y cuya tasa de generación es relativamente constante y puede ser determinada fácilmente.

La ventilación por dilución no es recomendable para contaminantes desmenuzados “particulados” (polvos y humos) porque:

- A menudo son muy tóxicos y se requeriría de cantidades de aire para dilución excesivamente grandes.
- Generalmente su velocidad y cantidad de producción son altas.
- Es difícil obtener información sobre su producción o emisión.

Cálculo del volumen o caudal de aire necesario para la dilución:

- Un método para dilución consiste en conocer las condiciones que prevalecen durante las operaciones normales, lo cual permitirá evaluaciones a fin de determinar la concentración real del contaminante y el volumen de infiltración natural del aire en local de trabajo. El volumen del aire para dilución se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_{ad} = \frac{C_p \times I_n \times K}{VLP}$$

donde: C_p = Concentración prevalente, (ppm)

I_n = Infiltración, m^3/min .

Cuadro 10.8

Factores de seguridad (K) según diferentes condiciones de distribución

Toxicidad	Pobre	Regular	Buena	Excelente
Ligera	7	4	3	2
Moderada	8	5	4	3
Alta	11	8	7	6

- Un método más razonable es utilizar los datos sobre la tasa de liberación del contaminante para determinar el volumen del aire necesario para diluir el contaminante hasta niveles seguros, y deben considerarse los siguientes factores:
 - La cantidad de líquido evaporado o la tasa de generación de vapor.
 - Esta información puede obtenerse de los registros de control de producción, y del departamento de compra.
 - Las constantes físicas del contaminante, toxicidad y condiciones del local.
 - La Ley de Avogadro, la cual establece que volúmenes iguales de diferentes gases a la misma temperatura y presión, contienen igual número de moléculas. Por tanto, una libra mol de un gas ocupará el mismo volumen que una libra mol de cualquier otro gas, si ambos están a la misma temperatura y presión y no ocurre reacción química alguna.
 - El volumen molecular en condiciones industriales estándar de 70°F y 14.7 psia.
 - Un factor de seguridad (K) para mantener las concentraciones de aire por debajo de VLP, al utilizar los más altos valores de K para las condiciones críticas. K es función de la cantidad de generación de vapor, efectividad de ventilación y toxicidad del contaminante.
- Aplicar la ecuación:

$$V_{ad} = \frac{24.12 \times 10^6 \times V \times D \times K}{M V \times VLP}$$

Donde:

V = Volumen de contaminantes evaporados en litros/hora

D = Gravedad específica del contaminante en kg/litro

VLP = Valor o concentración límite permisible del contaminante en ppm

MW = Peso molecular del contaminante.

Esta ecuación es aplicable a líquidos orgánicos volátiles. La ventilación para dilución de gases puede diseñarse aplicando esta misma ecuación.

Ecuaciones para el diseño:

Generalmente, la tasa de ventilación y el volumen del local se relacionan para conocer el número de cambios de aire por minuto o por hora. Estos términos, usados con bastante frecuencia como requisitos de ventilación, casi siempre se emplean incorrectamente.

Los cambios externos del aire no pueden tomarse como criterio de ventilación, especialmente cuando se requiere del control de riesgos ambientales, calor y olores. La ventilación necesaria depende del problema y no del tamaño del local donde se presenta.

Los requisitos de ventilación que se basan únicamente en el volumen del local no tienen validez. Los cálculos de los cambios de aire requeridos solamente pueden efectuarse sobre la base de un balance de materiales para los contaminantes de interiores.

También pueden realizarse cálculos similares para el aumento o decrecimiento de la concentración por hora en el ambiente, no obstante, se requeriría no sólo la tasa de cambios, sino también la tasa de generación del contaminante. Solamente en contadas excepciones, el número de cambios de aire tiene aplicación válida en el diseño de sistemas de ventilación industrial, como es el caso de situaciones relativamente comunes o estables, por ejemplo, cuartos de reunión, oficinas, escuelas y espacios similares, donde el propósito de la ventilación es simplemente el control del olor, de la temperatura y humedad, y no la contaminación del aire como resultado de la actividad del trabajo.

Los requisitos de la ventilación por dilución deben expresarse en m^3 por minuto y no en número de cambios de aire por minuto.

La concentración de un gas en un tiempo determinado puede expresarse por un balance material diferencial que, una vez integrado, suministra una base para relacionar la ventilación a la tasa de generación y remoción de un contaminante.

Uno de los efectos más importantes en el diseño de sistemas de ventilación por dilución, con frecuencia olvidado o subestimado, es el suministro de aire de remplazo en cantidad suficiente y dirigido adecuadamente para sustituir el aire extraído. Con la extracción localizada lo más cerca posible de la fuente de contaminación, todo el aire pasa a través de la zona, el contaminante se diluye tan pronto como éste se genera. En tales condiciones, el factor K es de 1, puesto que no se requiere de ningún factor de seguridad. Sin embargo, las condiciones ideales varían considerablemente de las reales.

Las condiciones usuales regulares son aquellas donde la toxicidad del contaminante es moderada; el ventilador está ubicado próximo a la operación que

produce vapores; el aire reemplaza por infiltración a través de las puertas, ventanas y paredes, ocurriendo una dilución razonable del contaminante si el trabajador no se encuentra demasiado cerca o dentro de la zona de liberación del contaminante concentrado. En esta situación, puede tomarse un factor K de 4, esperándose una concentración promedio en el local de trabajo de 1/4 del valor límite permisible y no superior al valor permisible en ninguna parte del local.

No obstante, estas condiciones usuales de distribución del aire son igualmente escasas en la práctica, requiriéndose la selección de un factor de seguridad mayor que refleje las condiciones reales de distribución del aire (pobre, regular, buena o excelente).

La influencia de la distribución de aire en los factores de seguridad se presenta en el cuadro 10.8. La figura 10.9 muestra condiciones típicas de distribución de aire.

Efecto de la toxicidad

Al emplear arbitrariamente los valores de 400 ppm como valor límite permisible para sustancias ligeramente tóxicas, 200 ppm para moderadamente tóxicas y 50 ppm para altamente tóxicas, el volumen del aire para dilución puede calcularse mediante las siguientes ecuaciones:

Sustancias ligeramente tóxicas:

$$\text{Vad (m}^3\text{/min)} = \frac{(1 \times 60) (d) (\text{litros evaporados/minuto}) (k)}{\text{Peso molecular}}$$

Sustancias moderadamente tóxicas:

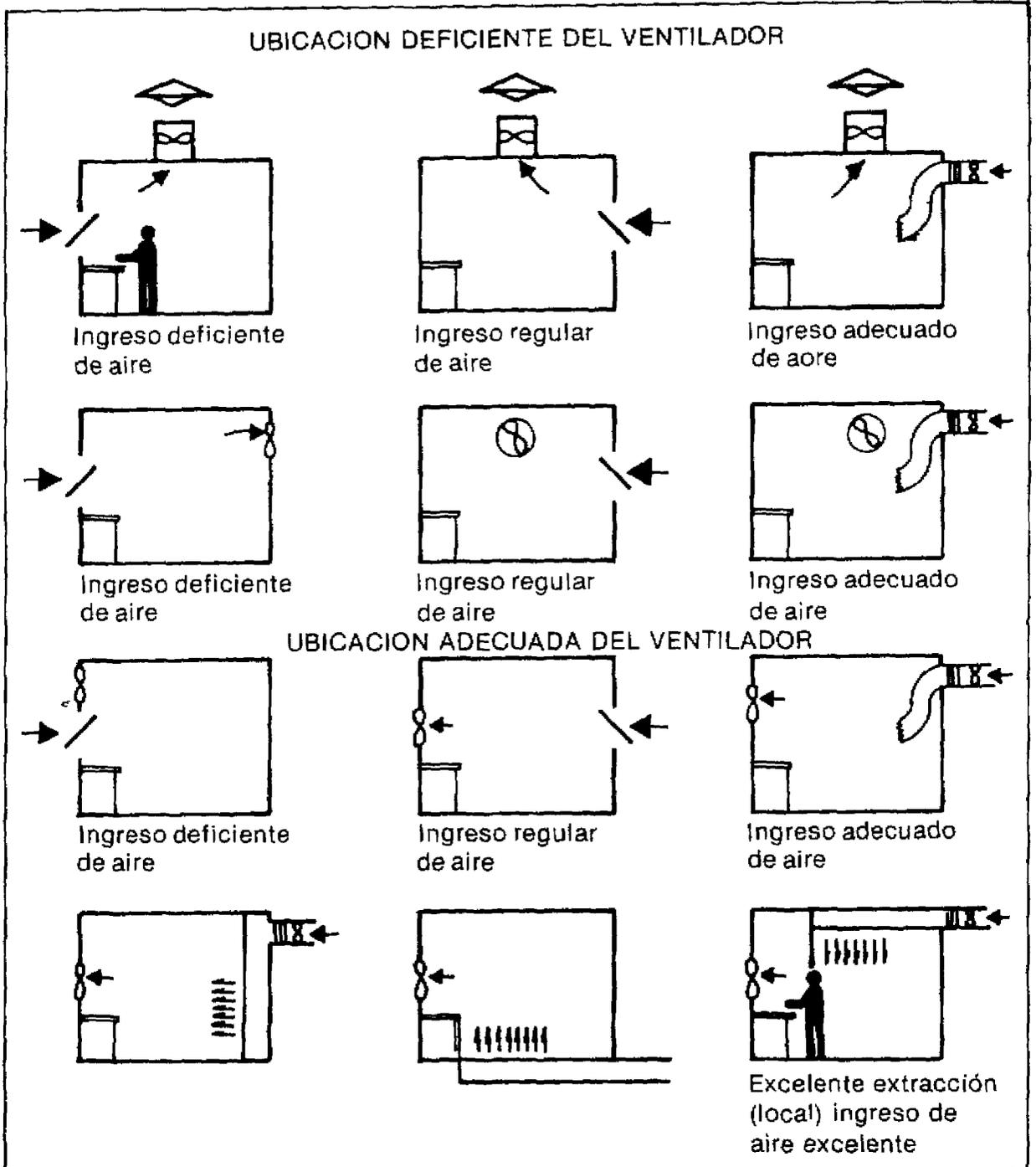
$$\text{Vad (m}^3\text{/min)} = \frac{(2 \times 60) (\text{litros evaporados/minuto}) (k)}{\text{Peso molecular}}$$

Para sustancias altamente tóxicas:

$$\text{Vad (m}^3\text{/min)} = \frac{(8 \times 10^6) (d) (\text{litros evaporados/minuto}) (K)}{\text{Peso molecular}}$$

Figura 10.9

Ubicación incorrecta, regular, adecuada y excelente de ventiladores y entradas de aire en la ventilación por dilución



Fuente: Industrial Ventilation. 17a. edición.

donde:

d = Gravedad específica del líquido.

K = Factor de seguridad. Se asumen los valores de 4.5 y 8 para las sustancias de toxicidad baja, moderada y alta, respectivamente.

Para estimar los volúmenes de aire para la dilución de dos o más sustancias presentes en el ambiente, es necesario considerar si sus efectos son aditivos o independientes.

— Efectos aditivos. En el caso de ausencia de información, se consideran los efectos de los diferentes riesgos como aditivos.

Suma de fracciones:

$$VD = \frac{C_1}{VLP_1} + \frac{C_2}{VLP_2} + \dots + \frac{C_n}{VLP_n}$$

donde:

C_n = Concentración ambiental de la sustancia.

VLP = Valor o concentración permisible para cada sustancia.

n = Número de sustancias.

VD = El volumen de dilución necesario es la suma de los volúmenes de dilución calculados para cada uno de los componentes o sustancias.

— Se requiere de dilución si la suma de las fracciones anteriores exceda a la unidad.

$$VD = V_1 + V_2 + \dots + V_n ; VC > 1.$$

— Si se conoce que los componentes de la mezcla tienen efectos locales e independientes sobre el organismo humano, el límite permisible se excede cuando:

$$\frac{C_n}{VLP_n}; \text{ tiene un valor mayor que la unidad}$$

Para esta situación se calcula el volumen de dilución para cada componente. El volumen de aire necesario para la ventilación por dilución será el mayor valor.

VENTILACIÓN PARA PREVENIR INCENDIOS Y EXPLOSIONES

Uno de los objetivos de la ventilación por dilución es disminuir la concentración de vapores dentro de un establecimiento para reducir el límite inferior de explosividad.

Cuando los trabajadores se encuentran expuestos a un gas (vapor) el concepto que debe aplicarse primero debe ser el de controlar el riesgo para la salud. Esta aclaración es fundamental puesto que los valores límites permisibles o concentraciones aceptables para el control del riesgo son generalmente de 1 a 3 veces por debajo del límite inferior de explosividad (LIE). En el cuadro 10.9 se comparan estos valores.

La exposición a concentraciones por debajo del límite inferior de explosividad podrían causar narcosis, daños severos y muerte. Por lo tanto, es muy importante no confundir los requerimientos de la ventilación general o de dilución cuando se emplean para controlar el riesgo de salud con los correspondientes para prevenir incendios y explosiones.

Cuadro 10.9

Comparación entre valores límites permisibles y de explosividad

Material	Valor límite permisible ppm	Límite inferior de explosividad	
		%	ppm
Acetona	1 000	2.55	25 500
Etolol	1 000	3.28	32 800
Isopropanol	400	2.02	20 200
Tolueno	100	1.27	12 700
Tileno	100	1.00	10 000

Cálculo del volumen de aire necesario para dilución:

Para estimar el volumen de aire necesario para diluir el contaminante hasta valores por debajo del límite inferior de explosividad se emplean las siguientes ecuaciones:

$$Vd \text{ (m}^3 \text{ por litro evaporado)} = \frac{24.12 \times d \times 100}{MW \times LIE \times B \times p}$$

donde:

MW = Peso molecular del líquido.

B = 1 para temperaturas hasta 120°C.

B = 0.7 para temperaturas sobre 120°C

p = Factor de seguridad decimal que depende del porcentaje del límite inferior de explosividad necesario para condiciones seguras, 0.04 utilizado para hornos ventilados continuamente, 0.10 - 0.12 en estufas con buena distribución de aire y tasas de secamiento rápido. Se deben emplear valores mayores en el caso de hornos con ventilación inadecuada.

LIE = Límite inferior de explosividad expresado en porcentajes (partes por 100).

d = Gravedad específica.

Cuando están presentes varias sustancias peligrosas, el método más seguro consiste en obtener los límites inferior y superior de explosividad para la mezcla de componentes combustibles. En este caso, el límite inferior de explosividad de la mezcla sería:

$$LIE = \frac{100}{\frac{P_1}{LIE_1} + \frac{P_2}{LIE_2} + \dots + \frac{P_n}{LIE_n}}$$

donde:

P = Porcentaje del vapor de una sustancia en la mezcla

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = 100\%$$

El volumen de aire necesario para la dilución, se calcula utilizando el valor límite inferior de explosividad de la mezcla.

Otro método considera los componentes de la mezcla que requieren de la más alta cantidad de aire para la dilución. En este caso se establecen los siguientes procedimientos:

— Calcular para cada componente el valor de: $\frac{\text{Gravedad específica}}{(\text{MW} \times \text{LIE})}$

— Calcular el volumen de aire para dilución con base en el componente de más alto valor, y emplear este volumen.