

NTP 741: Ventilación general por dilución

Ventilation générale par dilution
General dilution ventilation

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

Redactoras:

Núria Cavallé Oller
Ingeniero Químico

Ana Hernández Calleja
Licenciada en Ciencias Biológicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

La presente NTP expone los principios de diseño de una instalación de ventilación general por dilución, considerando los distintos objetivos preventivos a cumplir. Se desarrollan los cálculos necesarios para dimensionar un sistema de ventilación por dilución para el control de los agentes químicos presentes, normalmente en naves o talleres industriales, con el objetivo de prevenir los riesgos por exposición inhalatoria. También se pone en evidencia la necesidad de un sistema de ventilación general para el correcto funcionamiento de los sistemas de extracción localizada en este tipo de locales.

Introducción

El fundamento de las técnicas de ventilación es el suministro y extracción del aire de un local o edificio, de forma natural o mecánica. Con ello se persigue sustituir un aire de características no deseables (debido a humedad, temperatura, presencia de agentes químicos u olor desagradable) por otro cuyas características se consideren adecuadas para alcanzar unas condiciones ambientales previamente definidas.

Con el objetivo de evitar los riesgos para la salud y alcanzar un cierto grado de bienestar, todo lugar de trabajo debe cumplir unos requisitos mínimos en cuanto a ventilación general. Dichos requisitos se encuentran establecidos en el Real Decreto 486/1997 y son, por lo tanto, valores "In negociables" y, en cualquier caso, punto de partida para mejorar las condiciones de trabajo. En función del resultado de la evaluación de riesgos, se adecuará la ventilación a cada objetivo concreto.

En lo que respecta a la prevención del riesgo químico (regulado por el Real Decreto 374/2001), la ventilación general constituye un principio general (artículo 4), más que una técnica específica de prevención de los riesgos derivados de agentes químicos (artículo 5). La técnica de ventilación denominada extracción localizada, que capta el agente en las inmediaciones del foco de emisión, se muestra más adecuada como medida específica de control; sin embargo, en algunos casos particulares que se expondrán aquí, es posible recurrir a la ventilación general también como medida específica de control. En los establecimientos industriales donde se generan contaminantes cuya exposición no es posible reducir de otro modo, o que por su baja toxicidad y/o cantidad no requieran de otras medidas, la ventilación general adquiere una especial importancia y su dimensionamiento e instalación deben ser abordados desde un punto de vista distinto del empleado en locales donde no existe emisión de agentes químicos al medio ambiente laboral (por ejemplo, oficinas, locales residenciales, etc).

Por otra parte, en cualquier caso se deberá contemplar la ventilación general como técnica complementaria de la extracción localizada por la necesidad de reponer el aire extraído y permitir el correcto funcionamiento de los sistemas de extracción.

En la tabla 1 se resumen los distintos objetivos que puede contemplar un sistema de ventilación general, así como el mecanismo de actuación en el que se basa.

En la presente NTP se abordan los puntos 3 y 4 del cuadro 1. En las NTP 742 y 343 el punto 1 y parte del punto 2.

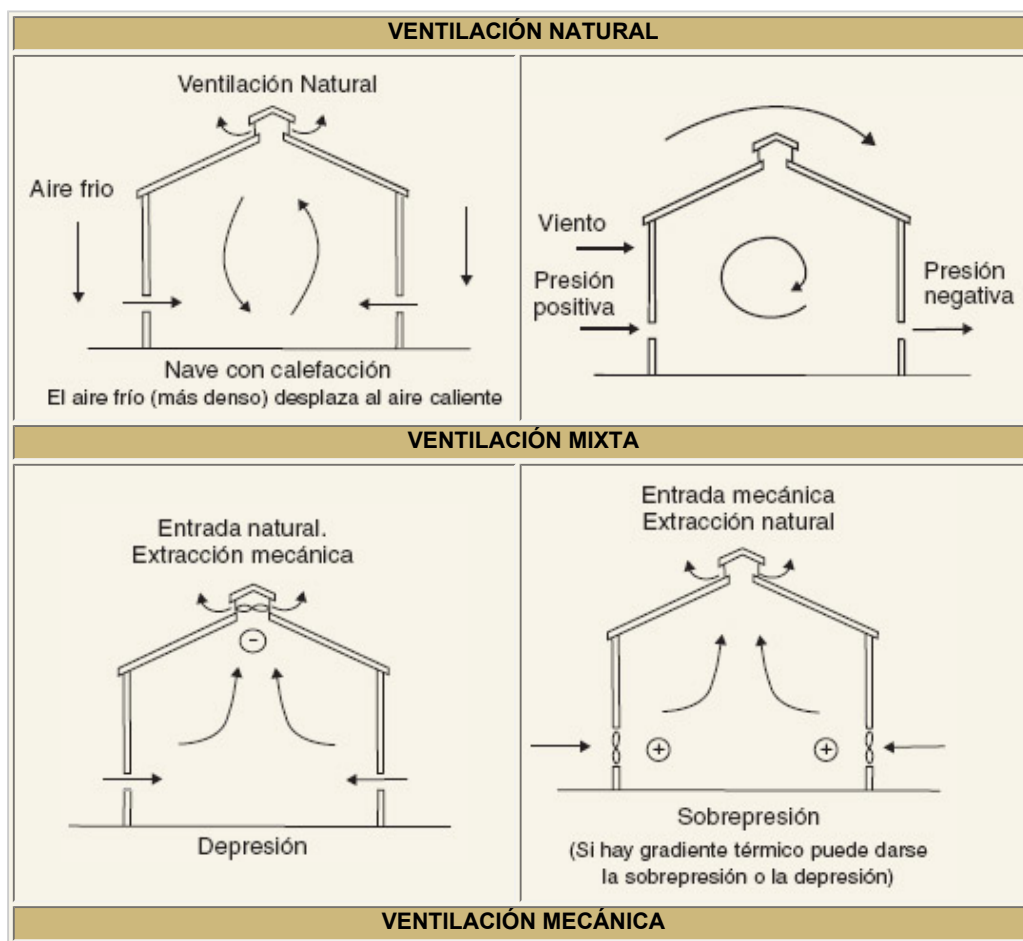
Tabla 1 Usos de la ventilación general en función de los objetivos preventivos

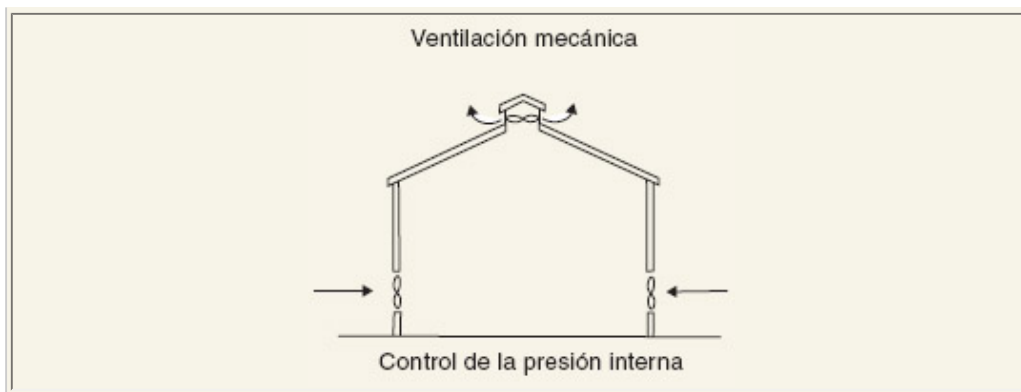
OBJETIVO	EJEMPLOS	FUNDAMENTO LEGAL Y/O TÉCNICO
1. Reducción de los olores desagradables y ambientes viciados	Todos los lugares de trabajo, incluidos locales de descanso	RD 486/1997 RD 1751/1998
BIENESTAR		
2. Reducción de la contaminación generada de forma prácticamente exclusiva por los ocupantes: <ul style="list-style-type: none"> • renovación del aire • clima interior • ambiente acústico 	Oficinas, escuelas, determinadas zonas de hospitales, etc...	RD 486/1997 RD 1751/1998 UNE-EN 13779
CONTROL DEL RIESGO		
Agentes Químicos		
3. Reducción de la concentración ambiental de agentes químicos	Talleres y naves industriales, bajo una serie de condiciones limitantes (ver apartado 2 de esta NTP)	RD 486/1997 RD 374/2001
4. Aporte del aire necesario para compensar la demanda de los sistemas de extracción localizada	Talleres y naves industriales donde el control de la exposición se realiza con extracción localizada	RD 486/1997 RD 374/2001 RD 665/1997
5. Reducción de la concentración de agentes químicos inflamables o explosivos en equipos utilizados en el proceso	Hornos, estufas, túneles de secado, etc...	RD 374/2001
Calor		
6. Evitar la exposición a temperaturas extremas por calor	Fundiciones, lavanderías, etc.	RD 486/1997

Ventilación mecánica y ventilación natural

Un sistema de ventilación general puede ser completamente mecánico (entradas y salidas mecánicas), natural (entradas y salidas no forzadas) o bien mixto (entrada mecánica y salida natural y viceversa) (figura 1).

Figura 1
Ventilación natural vs ventilación mecánica





Sea cual sea el sistema empleado, es necesario que los caudales de diseño se aseguren en todo momento, según establece el Real Decreto 486/1997. Cuando el sistema utilizado es la ventilación natural, es difícil un control riguroso del caudal de ventilación. Un sistema de este tipo requiere que exista un gradiente de temperaturas que fuerce el movimiento del aire o bien la existencia de viento fuera del edificio (o ambas simultáneamente). La variación climática, a lo largo de la jornada o a lo largo de las estaciones, hace que sea un sistema expuesto a numerosas variables que limitan su eficacia. Por todo ello, es un sistema desaconsejado, cuyo uso se restringe a casos particulares fuera del entorno industrial.

En talleres y naves industriales es habitual la utilización de sistemas de ventilación mixtos o combinados. Éstos permiten controlar la mayor parte de las variables del sistema y resultan menos costosos que los sistemas con entrada y salida mecánicas.

En los sistemas completamente mecánicos todos los parámetros están bajo control y además se añaden ventajas tales como conseguir la presurización adecuada del local, la preparación del aire de entrada según unas características determinadas, aprovechamiento energético por recuperación de calor del aire extraído y una mejor distribución del aire. En la tabla 2 se muestra una comparación de los distintos tipos de ventilación mencionados.

Se elegirá el sistema que resulte más adecuado según sean las características del local y las necesidades concretas de ventilación.

Tabla 2
Ventilación natural, mixta o mecánica

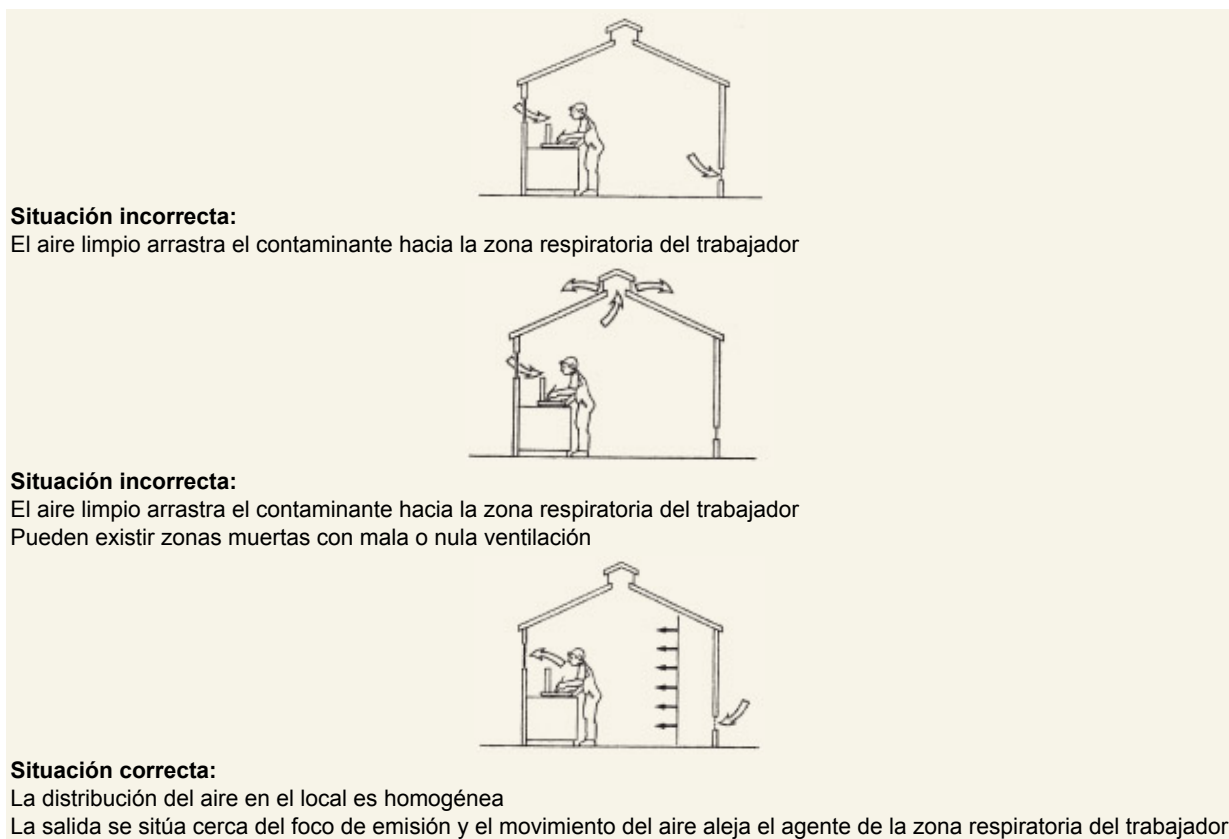
Características	Sistema de ventilación			
	Ventilación natural	Ventilación mixta: entrada natural, salida mecánica	Ventilación mixta: entrada mecánica, salida natural	Ventilación mecánica
Ámbito de aplicación	Utilización de fuerzas convectivas. Talleres altos y estrechos	Uso habitual para edificios relativamente bajos	Utilización de las fuerzas convectivas	Utilización general
Posibilidad de actuar sobre la distribución del aire introducido	No	No	Si	Si
Posibilidad de controlar la calidad del aire introducido	No	No	Si	Si
Posibilidad de controlar la presión dentro del local	No	No (depresión)	Sí, con gradiente térmico (depresión o sobrepresión) No, sin gradiente térmico (sobrepresión)	Si (depresión o sobrepresión)
Posibilidad de recuperar calor del aire extraído	No	Si	No	Si
Independencia del viento en:				
• entradas	No	No	Si	Si
• salidas	No	Si	No	Si
Problemas particulares	Incapacidad de asegurar el caudal, corrientes de aire, aire insuficiente	Corrientes de aire		Solución costosa para caudales elevados

Principios de ventilación por dilución

El diseño de un sistema de ventilación para el control de riesgos para la salud se basa en los siguientes principios generales:

1. **Calcular el caudal de aire necesario** para conseguir una dilución suficiente del contaminante y mantener su concentración por debajo de un valor aceptable. El cálculo se basará en el tipo de contaminante, su nivel de generación y sus características físico-químicas. Para agentes químicos, este aspecto se encuentra tratado en el apartado 5 de esta NTP
2. **Ubicar la salidas de aire** del local cerca de los focos de contaminación, consiguiendo así un cierto efecto "extracción localizada" de ese foco, además de evitar que el agente se disperse totalmente dentro del local. En cuanto a las entradas, se procurará que arrastren el aire limpio a las zonas más contaminadas, creando un cierto efecto "ventilación por desplazamiento".
3. **Considerar el recorrido esperable del aire en la zona**, de modo que, idealmente, la secuencia sea: entrada de aire-trabajador-foco-salida de aire. En la figura 2 se muestran situaciones correctas o incorrectas respecto a esta cuestión. Modelizar el movimiento de aire en un local no es en absoluto fácil. Aún así, debe estudiarse la posible existencia de zonas muertas, corrientes en el local debido a puertas, ventanas, movimientos naturales del aire, como ejemplo, la tendencia ascensional del aire caliente. Asimismo deberá evitarse el posible disconfort térmico de los trabajadores o la percepción de corrientes de aire molestas.
4. **Prever la reposición del aire extraído**, contemplando todas las fuentes que constituyen una demanda de aire (como los sistemas de extracción localizada). Aquí pueden darse dos situaciones diferentes:
 - Local a depresión o a presión negativa (con respecto a la atmosférica): se extrae más aire que el que entra. Esta situación puede ser conveniente cuando, además de la dilución de la contaminación del local, se pretende que esa contaminación no pase a otras áreas (por ejemplo, laboratorios, naves junto a oficinas, etc).
 - Sin embargo, si no están previstos puntos de suministro de aire o el local es muy hermético, esto irá en perjuicio de la eficacia del sistema de ventilación, dado que, como no se puede hacer el vacío, el caudal de extracción se reduce.
 - Local a sobrepresión o a presión positiva (con respecto a la atmosférica): entra en el local más aire del que se extrae. El aire sobrante se difundirá por las aberturas o resquicios que encuentre. Esta situación es la que se encuentra a menudo en edificios, por ejemplo de oficinas en los que además de ventilar se prepara el aire que se suministrará a los locales. En este caso no interesa la entrada incontrolada de aire del exterior sin tratar y a condiciones térmicas diferentes de las deseadas. Otros ejemplos: aislamiento del trabajador, cabinas de peaje autopista, etc.
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 exterior u otra abertura se encuentre situada cerca del punto de descarga. Para el caso de chimeneas en la parte superior de las naves, se aconseja que su altura sea por lo menos 1,3 veces la altura de la nave.

Figura 2
Entrada, salida y distribución del aire en los locales



La ventilación por dilución como técnica de control de la exposición a agentes químicos

La ventilación general permite un cierto grado de flexibilidad en su concepción y supone una baja interferencia con los equipos, procesos y trabajadores de una nave o taller. Aún así, debe tenerse en cuenta que existen una serie de limitaciones e inconvenientes a su uso como técnica de control de la exposición a agentes químicos:

- siempre va a existir un nivel de fondo del contaminante

- si los trabajadores están muy cerca de los focos, puede no proteger adecuadamente
- dificultades de cálculo del caudal de dilución necesario, por la dificultad de estimar la eficacia de la mezcla de aire y la tasa de emisión de contaminante al ambiente laboral
- utiliza grandes caudales de aire
- muestra dificultad para absorber picos de emisión de contaminantes

Por ello, su aplicación para el control de la exposición se restringe a las situaciones en que se cumplen, por orden, las siguientes características:

1. *No es posible o no resulta efectivo implementar otras medidas preventivas prioritarias*, tales como: sustitución total o parcial del agente químico, modificación del proceso para evitar la emisión de agentes químicos al ambiente, encerramiento del proceso, y especialmente, instalación de extracciones localizadas, entre otras.
2. *La toxicidad del contaminante es baja*. La ventilación general implica siempre la existencia de unos valores de fondo de los contaminantes, puesto que no los elimina en origen sino que los diluye, rebajando la concentración final. Por ello, ante la presencia de agentes muy tóxicos, con valor límite muy bajo, esta técnica no es eficaz y deberá recurrirse a otras medidas.
3. *La cantidad de contaminante generada es baja*. En caso contrario, el caudal de aire que sería necesario resultaría excesivo, suponiendo un coste desmesurado.
4. *Los trabajadores están suficientemente alejados del foco* de contaminación de forma que pueda producirse la dilución de los contaminantes antes de que alcancen la zona respiratoria del trabajador.
5. *Existen muchos focos dispersos*, por lo que resulta inviable implementar extracciones localizadas.
6. *La tasa de emisión del contaminante al medioambiente laboral es razonablemente uniforme*. Dados los elevados caudales que implica, la ventilación general no puede sobredimensionarse para absorber cualquier pico de emisión. En esos casos, deberían preverse otras medidas preventivas.

Cálculo del caudal requerido para la prevención del riesgo para la salud de los trabajadores

Para calcular el caudal que es necesario suministrar y extraer de un local, con el fin de mantener la concentración por debajo de un determinado valor, es necesario disponer de datos reales sobre la velocidad de emisión (o generación) del agente químico al medio ambiente laboral. Normalmente estos datos se pueden obtener en la propia planta si ésta dispone de registros adecuados sobre el consumo de materiales.

Ecuación general de la ventilación por dilución

Cuando se libera un agente químico al ambiente de un local y se extrae un determinado caudal volumétrico del mismo, se cumple el siguiente balance de materia:

$$\text{Acumulación} = \text{Generación} - \text{Eliminación}$$

Es decir, que toda acumulación de agente químico en el local proviene directamente de la emisión que se realiza, sustrayendo lo que se elimina con el caudal de extracción. En términos de ecuación diferencial, la anterior expresión resulta en:

$$VdC = Gdt - Q'Cdt$$

donde:

V: volumen del local, m³

G: velocidad de generación, mg/h

Q': caudal efectivo de ventilación, m³/h

C: concentración del gas o vapor, mg/m³

t: tiempo, h

El estado estacionario o de equilibrio se caracteriza por la no acumulación de contaminante, es decir, se libera al ambiente tanta cantidad de agente como se elimina, por lo que el término dC se iguala a 0:

$$Gdt = Q'Cdt$$

Integrando esta ecuación entre dos tiempos, t₁ y t₂:

$$\int_{t_2}^{t_1} Gdt = \int_{t_2}^{t_1} Q'Cdt$$

Si consideramos la concentración C (situación de equilibrio) y la velocidad de generación G como constantes, tendremos:

$$G (t_2 - t_1) = Q' C (t_2 - t_1)$$

Es decir:

$$Q' = \frac{G}{C}$$

Se introduce un factor de seguridad en el cálculo del caudal (K), de modo que:

$$Q = Q' K$$

Y por último:

$$Q = (G/C) K$$

donde:

Q: caudal real de ventilación, m³/h

Q': caudal efectivo de ventilación, m³/h

K: factor de seguridad para contemplar mezclas no completas

G: velocidad de generación, mg/h

C: concentración que no se desea superar, mg/m³

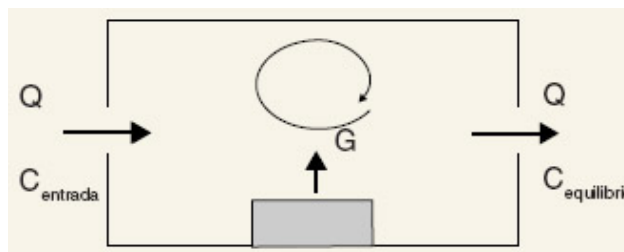
Si la concentración se introduce en tanto por uno (‰) en lugar de mg/m³, la velocidad de generación se expresará en m³/h. La concentración en ‰ es igual a la concentración en ppm (partes por millón) dividida por 10⁶.

En el caso de que el aire suministrado al local no estuviera libre del contaminante, en el denominador debería aparecer la diferencia entre la concentración que no se desea superar y la concentración del aire de entrada. En el caso que nos ocupa, la reducción de la exposición a agentes químicos, no es razonable contemplar un aire de entrada con presencia del contaminante. Ello sí puede darse en otras aplicaciones de la ventilación por dilución (por ejemplo, la entrada de aire con un cierto contenido en CO₂ en una oficina).

El volumen del local no interviene en el cálculo del caudal de ventilación necesario en régimen estacionario. Sí interviene en el cálculo de las renovaciones por hora, magnitud frecuentemente utilizada en cálculos de ventilación general, pero que desde el punto de vista técnico, puede sólo considerarse una aproximación.

En la figura 3 se muestra, esquemáticamente, la relación entre las variables de la ecuación que rige el cálculo del caudal de dilución necesario en un local donde exista una fuente de emisión de contaminación química.

Figura 3
Emisión de agentes químicos en un local sometido a un caudal de ventilación



Valor del factor K

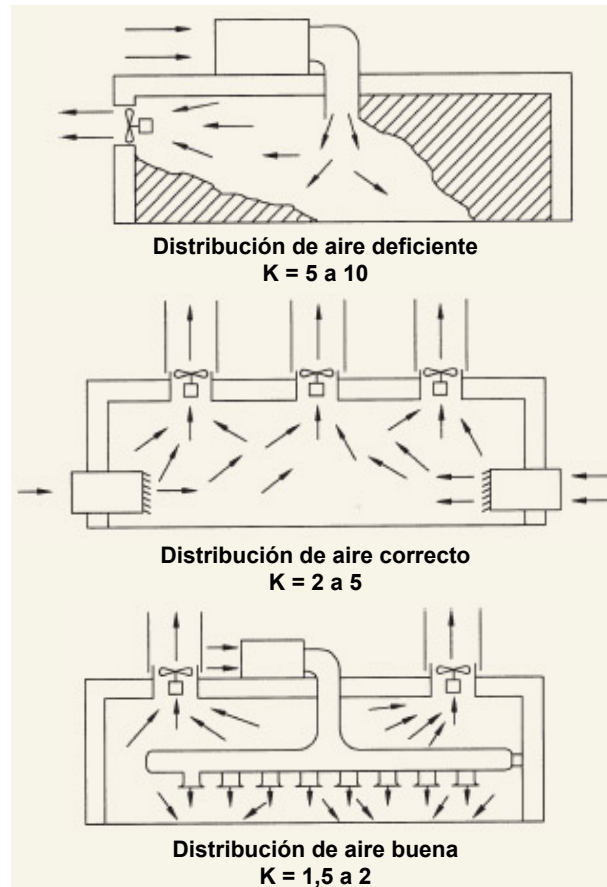
El valor del factor de seguridad K varía entre 1 y 10 de acuerdo con una serie de consideraciones:

1. La eficacia de la mezcla y distribución del aire introducido en el local o espacio que se ventila.
2. La toxicidad del disolvente. Aunque el valor límite ambiental (VLA) y la toxicidad de una sustancia no son sinónimos (intervienen otros factores, como la capacidad de pasar al ambiente, determinada por la presión de vapor del disolvente), sí se trata de un indicador, por lo que a menor valor límite, mayor valor de K se debe emplear. Como criterio orientativo, podría considerarse la ventilación general no debería usarse como técnica de control de la exposición a agentes químicos para agentes con valor límite inferior a 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, por ejemplo:

- La duración del proceso, el ciclo de operaciones y la ubicación habitual de los trabajadores con relación a los focos de contaminación.
- La ubicación y número de focos de contaminación en el local o área de trabajo.
- Los cambios estacionales en la cantidad de ventilación natural.
- La reducción en la eficacia funcional de los equipos mecánicos de ventilación.
- Otras circunstancias que puedan afectar a la concentración de sustancias peligrosas en la zona respiratoria de los trabajadores.

En la figura 4 se muestran esquemáticamente distintas situaciones de distribución del aire y el factor K que comporta cada caso.

Figura 4
Factores de dilución en locales con diferentes tipos de ventilación



Caso particular: Estimación de la generación de vapor a partir de datos de consumo de un disolvente

El valor de G (velocidad de generación de vapor) no es un dato fácilmente conocido. En el caso de un disolvente que se evapora dentro de un local, una forma de estimar la generación de vapor consiste en calcular la cantidad de líquido que se evapora, y mediante el balance de materia entre la fase líquida y la fase vapor, calcular el volumen que ocupa ese vapor emitido al ambiente (a unas determinadas condiciones de temperatura y presión del vapor).

La cantidad de líquido que se evapora por unidad de tiempo, la denominamos velocidad de evaporación del disolvente (E). La concentración que no se desea superar (C), se toma normalmente igual al valor límite o a un porcentaje de éste. Para disolventes líquidos, realizando las transformaciones anteriormente mencionadas, la velocidad de generación de vapor viene dada por la siguiente expresión:

$$G = \frac{24,0 \cdot d \cdot E}{M}$$

donde:

G: velocidad de generación del vapor, m³/h

d: densidad del disolvente líquido, kg/l

E: velocidad de evaporación del disolvente, l/h

M: peso molecular del disolvente, g/mol

y la cifra 24,0 corresponde al volumen molar del vapor en condiciones estándar de presión y temperatura ($P = 1 \text{ atm}$, $T = 20^\circ\text{C}$), (m^3/kmol o l/mol).

Y sustituyendo en la fórmula del caudal:

$$Q' = \frac{24,0 \cdot 10^6 \cdot d \cdot E}{M \cdot C}$$

donde:

C: concentración que no se desea superar, ‰_1

El resto de magnitudes y unidades son las anteriormente definidas.

Cálculos durante el estado transitorio en que aumenta la concentración

La concentración de contaminante puede calcularse al cabo de cualquier período de tiempo desde que se inicia la generación de contaminante. En el momento inicial de la actividad, la concentración es cero. A partir de ese momento la concentración irá aumentando rápidamente hasta alcanzar el estado de equilibrio o estado estacionario en el que se iguala el aumento de concentración con la eliminación. La figura 5 y sus ecuaciones nos permiten conocer, por una parte, en cuanto tiempo se alcanzará una concentración determinada o qué concentración habrá al cabo de un período de tiempo.

$$\Delta t = -\frac{V}{Q'} \left[\ln \left(\frac{G - Q'C}{G} \right) \right], C_1 = 0$$
$$C_2 = \frac{G}{Q'} \left[1 - e^{(-Q'\Delta t/V)} \right]$$

donde:

C_2 : concentración después del período Δt , ‰_1

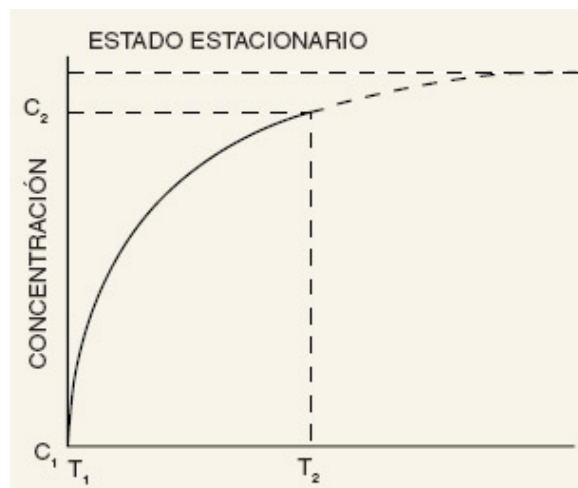
Δt : período de tiempo transcurrido entre los dos puntos considerados, h

V: volumen del local, m^3

Q' : caudal efectivo de ventilación, m^3/h

G: velocidad de generación del vapor, m^3/h

Figura 5
Aumento de la concentración



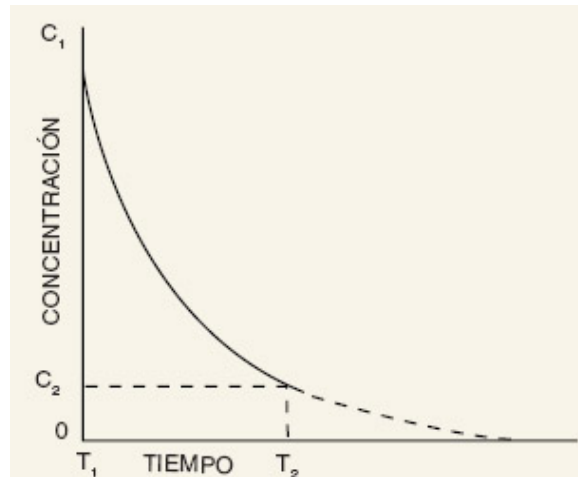
Cálculos durante el estado transitorio en que disminuye la concentración

Del mismo modo, cuando se detiene la actividad, es decir cuando $G = 0$, las ecuaciones que nos permiten estimar el tiempo necesario para reducir la concentración de C_1 a C_2 o qué concentración habrá al cabo de un período de tiempo son:

$$\Delta t = - \frac{V}{Q'} \left[\ln \left(\frac{C_2}{C_1} \right) \right]$$

$$C_2 = C_1 e^{(-Q'\Delta t/V)}$$

Figura 6
Disminución de la concentración



Cálculo del caudal para el control de la exposición a varios agentes químicos simultáneamente

En muchas ocasiones el líquido para cuyos vapores se quiere establecer una ventilación por dilución, se tratará de una mezcla. En este caso se deberá calcular el caudal para cada uno de los componentes y en el caso de

que las sustancias que forman la mezcla tengan efectos aditivos, se sumarán todos los caudales obtenidos.

Si se conoce que los efectos no son aditivos, se escogerá y empleará el mayor de los valores obtenidos como caudal de ventilación que permita mantener la concentración por debajo de los niveles aceptables.

La ventilación general para la compensación de aire

Si en un local se desea extraer un determinado caudal de aire, es necesario introducir la misma cantidad de aire en el mismo. En caso contrario, la extracción no se hará efectiva y solamente se extraerá la cantidad que se pueda compensar por entrada de aire a través de ventanas, puertas, resquicios, grietas, etc.

La entrada de aire de compensación, pues, es necesaria para:

- asegurar la eficacia de los sistemas de ventilación (general y extracciones localizadas)
- asegurar la eficacia de sistemas o equipos con un requerimiento de aire (tales como sistemas de combustión)
- eliminar corrientes de aire a gran velocidad provenientes de oberturas al exterior del local que podrían causar disconfort a los trabajadores por corrientes de aire
- evitar la entrada de aire desde zonas adyacentes contaminadas, si es el caso

Ejemplo de aplicación

Una nave industrial de una empresa de calderería tiene unas dimensiones de 20 m de largo por 8 m de ancho y 3,5 m de altura media. Para operaciones de limpieza que, por las características geométricas de la pieza deben realizarse manualmente, se utiliza un producto compuesto por un 20 % de ciclopentano, un 20 % de acetona y un 60 % de n-heptano. El consumo estimado de dicho producto es de 4 litros diarios (es decir, 0,5 l/h). En la tabla se muestran los datos necesarios para dimensionar un sistema de ventilación general para el control de la exposición a dichos disolventes:

	VLA-ED (ppm)	densidad (kg/l)	peso molecular (g/mol)
Ciclopentano	600	0,745	70,1
Acetona	500	0,786	58,1

n-Heptano	500	0,684	100,2
-----------	-----	-------	-------

El caudal de ventilación necesario para cada disolvente es:

$$Q_{\text{ciclopentano}} = \frac{24,0 \cdot 0,745 \cdot 0,1}{70,1 \cdot 600} \cdot 10^6 = 43 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{acetona}} = \frac{24,0 \cdot 0,786 \cdot 0,1}{58,1 \cdot 500} \cdot 10^6 = 65 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{n-heptano}} = \frac{24,0 \cdot 0,684 \cdot 0,3}{100,2 \cdot 500} \cdot 10^6 = 98 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal total necesario es de 206 m³/h, teniendo en cuenta que los efectos de los disolventes pueden ser aditivos. Si en lugar de considerar mezcla perfecta (K=1), se considera el peor de los casos en cuanto a distribución del aire (K=10), el valor de este caudal asciende hasta 2.060 m³/h.

Posteriormente, en este taller se incorporan dos puestos de soldadura, con sus respectivas extracciones localizadas. El caudal de extracción de cada una de ellas es de 2.500 m³/h. En este caso, el factor limitante es el requerimiento de aire de las extracciones localizadas, por lo que se debe modificar el sistema de ventilación general para que aporte, por lo menos 5.000 m³/h. Con este caudal de extracción, también se controla el riesgo por exposición, siendo las concentraciones de las sustancias muy inferiores a sus límites de exposición:

$$C_{\text{ciclopentano}} = \frac{24,0 \cdot 0,745 \cdot 0,1}{70,1 \cdot 5000} = 5,1 \text{ ppm}$$

$$C_{\text{acetona}} = \frac{24,0 \cdot 0,786 \cdot 0,1}{58,1 \cdot 5000} = 6,5 \text{ ppm}$$

$$C_{\text{n-heptano}} = \frac{24,0 \cdot 0,684 \cdot 0,3}{100,2 \cdot 5000} = 9,8 \text{ ppm}$$

y valores 10 veces superiores si se toma el factor K = 10.

Aparte del caudal, otras características de diseño del sistema son el tipo de entrada y salida del aire y las dimensiones de las aberturas. Por ejemplo, si se opta por la extracción forzada y la impulsión natural, el dimensionamiento de las entradas fijas de aire se calcula partiendo de la velocidad máxima del aire que no queremos sobrepasar en la entrada. Velocidades superiores a 2 m/s en la entrada, provocarían sensación de corrientes y por lo tanto disconfort en los trabajadores, que se encuentran como mínimo a 1,5 m de distancia. Si se toma este valor máximo, la superficie necesaria de las aberturas es:

$$S = (5.000/3.600) / 2 = 1,4 \text{ m}^2$$

Ello puede conseguirse mediante 35 rejillas de 20 por 20 cm de lado distribuidas a lo largo del local, o bien 2 aberturas de 3,5 m de alto y 20 m de largo (a lo largo de las 2 fachadas largas del local), entre otras opciones.

La entrada natural de aire puede provocar disconfort térmico a los trabajadores, especialmente en invierno. Si se diseña una entrada mecánica es posible el acondicionamiento del aire antes de su entrada en el local, evitando este problema.

Bibliografía

1. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH).
Industrial Ventilation. A Manual of Recommended Practice.
25ª edición en español. 2004.
2. INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ (INRS).
Principes généraux de ventilation.
Guide pratique de ventilation ED 695. 3ª edición 1989.
3. ALDEN J.L, KANE J.M.
Design of Industrial Ventilation Systems.
Industrial Press Inc. NewYork, 1982.
4. BATURIN V.V.
Fundamentos de ventilación industrial.
Editorial Labor. Barcelona, 1976.

5. SALVATORE R. DINARDI.
Calculation methods for industrial hygiene.
John Wiley & Sons Inc. Canada, 1995. 70
 6. Real Decreto 374/2001, de 6 de abril sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. BOE núm. 104 de 1 de mayo de 2001.
 7. Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. BOE núm. 97 de 23 de abril de 1997.
-