

10. Ventilación general en ambientes de trabajo

Todo lugar de trabajo necesita ventilarse por medios naturales o mecánicos, para cumplir con dos grandes requerimientos ambientales: el primero a fin de proporcionar el oxígeno suficiente para el mantenimiento de la vida, mediante el suministro de aire fresco del exterior en cantidad suficiente, y el segundo para abatir la contaminación ambiental del lugar causada por la presencia de dióxido de carbono, olores corporales, exceso de calor y humos o vapores producidos por los procesos industriales que se realizan. Sin embargo, las necesidades de ventilación para el suministro de oxígeno, son inferiores a las requeridas para evitar la contaminación.

El oxígeno que requiere una persona sentada es de aproximadamente 0.15 litros/segundo/persona de aire fresco, mientras que para remover los olores y el dióxido de carbono que se exhala se necesitan 5 litros de aire fresco por segundo.

La eliminación de la contaminación ambiental en un lugar de trabajo puede lograrse por varios medios: sustitución, control en el origen y dilución del contaminante hasta un nivel aceptable. Cuando la sustitución o el control en el origen son difíciles de efectuar, la ventilación general es una solución aceptable, si el agente de riesgo no es de alta toxicidad. Como guía general y para estimar el riesgo potencial de una sustancia se puede utilizar el cuadro 10.1. No obstante, es importante recordar que el valor límite permisible (VLP) no es un factor indicativo de la toxicidad del agente.

Cuadro 10.1

Categoría de toxicidad	VLP (ppm)*	VLP (mg/m ³)
Ligeramente tóxico	500	0.5
Moderadamente tóxico	100 - 500	0.101 - 0.5
Altamente tóxico	100	0 - 0.1

* ppm = Partes de contaminante por millón de partes de aire.

Es conveniente anotar que los vapores inflamables en su mayoría, tienen valores límites permisibles (VLP) cuyas cifras están por debajo de su límite inferior de explosividad con valores del orden del 1% en volumen (10 000 ppm), mientras que los solventes inflamables tienen valores límites permisibles de 100 ppm o menores.

La ventilación es un método para controlar el ambiente, mediante la utilización estratégica del flujo de aire, consiste en la renovación del aire por medios naturales o mecánicos, con el fin de reducir la emisión de olores molestos, remover un contaminante, diluir la concentración de los contaminantes dispersos y mantener las condiciones físicas de temperatura y humedad.

Las tres grandes aplicaciones de la ventilación industrial son:

- La prevención de incendios y explosiones.
- El control de la contaminación atmosférica para lograr niveles aceptables para la salud y el bienestar de los trabajadores.
- El control del calor y de la humedad para conseguir condiciones de trabajo confortables.

Los términos ventilación general y ventilación de dilución son utilizados indistintamente. Cuando la ventilación general se refiere al suministro o remoción de aire de un área, local o edificación, con el fin de proporcionar bienestar y comodidad, se denomina ventilación de dilución con aire limpio, con lo que se logra reducir la molestia o el riesgo para la salud.

La ventilación general es más utilizada para la remoción de volúmenes de aire caliente o para la remoción de concentraciones bajas de contaminantes no tóxicos, o de baja toxicidad de fuentes pequeñas y no centralizadas.

La ventilación general puede lograrse por medios naturales o mecánicos; a menudo, los mejores resultados se consiguen con el suministro o extracción de aire, al emplear simultáneamente los medios o procedimientos.

REQUERIMIENTOS PARA UN SISTEMA GENERAL DE VENTILACION

Los requisitos que debe cumplir un sistema de ventilación, en términos de la eficiencia que se necesita obtener, no son estáticos sino que varían dependiendo de los factores siguientes:

- Número de personas que ocupan el área, oficina o planta.

- Condiciones interiores del ambiente físico del local (temperatura del aire, humedad, temperatura radiante).
- Condiciones climáticas exteriores.
- Tipo de actividad realizada en las áreas que requieren ser ventiladas, y
- Grado de contaminación de las mismas.

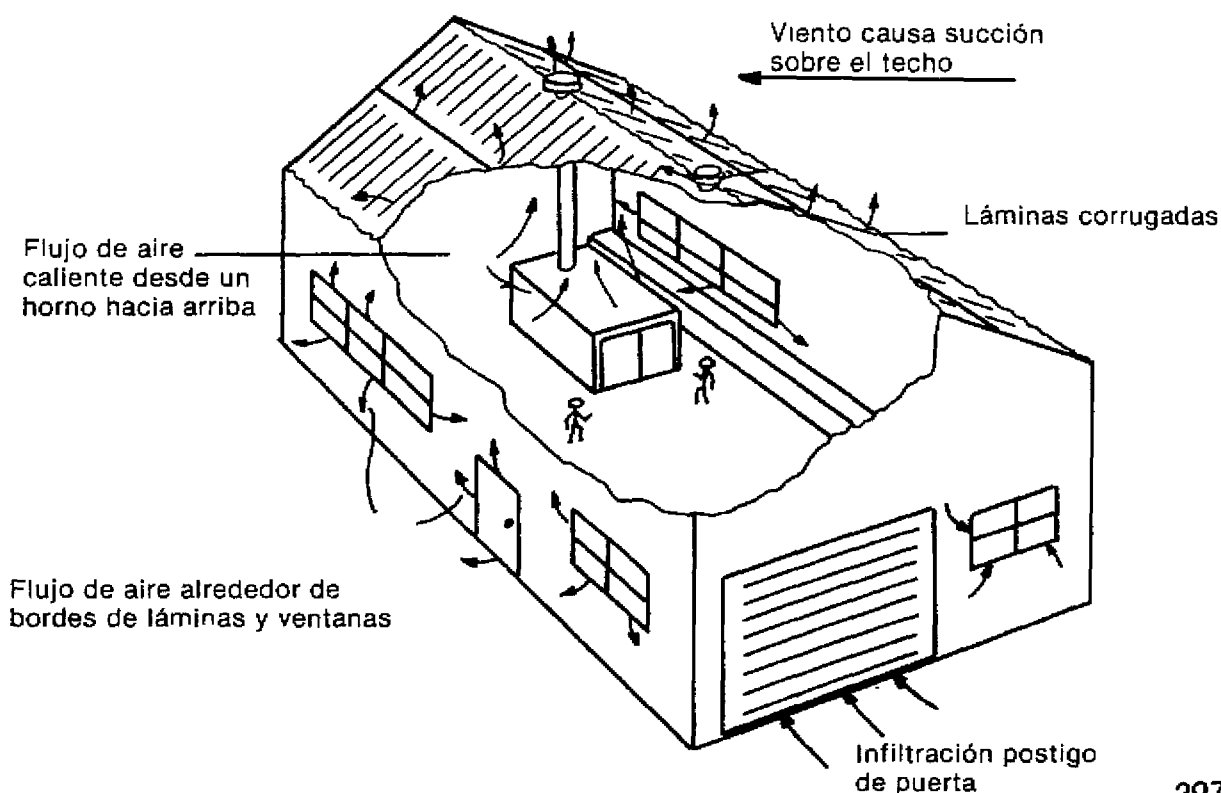
Estos factores pueden variar durante un día de trabajo y el sistema que se diseñe deberá por lo tanto ser flexible y adaptarse a estos cambios.

Infiltración

La infiltración es un término que se emplea para identificar el flujo de aire, que entra y sale de la edificación, a través de las pequeñas aberturas y rendijas; este flujo proporciona una ventilación natural al lugar. La magnitud de este caudal de flujo depende de: la velocidad del viento, su dirección, el tamaño del edificio, la construcción (pesada o ligera), y las condiciones térmicas interiores (figura 10.1).

Figura 10.1

Trayectorias de infiltración y ventilación natural para una edificación industrial



VENTILACION NATURAL

La ventilación natural se produce por fuerzas térmicas de convección o por las fuerzas resultantes de las diferencias en la presión del viento.

Estos dos efectos que operan simultáneamente en la mayoría de los casos, son el resultado de las diferencias naturales en la presión y en la densidad del aire, causan desplazamientos naturales e infiltración de aire a través de ventanas, puertas, paredes, pisos y otras aberturas. Obviamente, si fuera suficiente, la ventilación natural sería mucho más económica que la ventilación mecánica, pero las corrientes de viento y la convección térmica son difíciles de predecir; por esto, la ventilación natural no es considerada realmente como un método primario de control, ya que su empleo está supeditado a tales condiciones naturales.

En la ventilación natural que se produce por efecto térmico, el aire fluye por la diferencia de presión ocasionada en el cambio de densidad que sufre el aire al variar su temperatura. Por esta razón, este es un método utilizado en países de climas fríos, donde la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del local es considerable.

Cuando el viento sopla, ejerce en las fachadas de las edificaciones una presión sobre el lado donde su fuerza es mayor y una succión en el lado de menor fuerza. Si en estas fachadas existen aberturas, la diferencia de presión resultante provoca un flujo de aire entre las dos aberturas.

La magnitud de la diferencia de presión depende de la velocidad del viento y del ángulo de incidencia de la dirección de éste sobre la fachada. El valor de la presión positiva máxima que puede provocar el viento con una velocidad en kilómetros por hora está dado por:

$$VP = 0.0048 (V)^2$$

donde VP = presión en milímetros de agua.

Se ha demostrado que para ángulos de incidencia del viento entre 90 y 60°, el gradiente máximo de presión se mantiene aproximadamente constante con un valor de 2 VP, reduciéndose linealmente al disminuir el ángulo de incidencia.

No hay una correspondencia directa entre el caudal de aire que entra en un local y su velocidad en el interior del mismo; generalmente las velocidades en el interior del local son mayores con ángulos de incidencia hasta de 30°, a pesar de que el caudal de aire (ventilación) sea menor en este caso.

El microclima se afecta por el tamaño y el distanciamiento de las edificaciones y por otros elementos que circundan el centro de trabajo. La temperatura del aire es mayor en los núcleos urbanos que en sus alrededores: pero es mayor el efecto que se produce sobre la velocidad del aire por las edificaciones y obstáculos vecinos. La reducción de la velocidad del viento depende principalmente de la altura del obstáculo, de su permeabilidad y de su posición normal a la dirección del viento. Esta reducción de la velocidad del viento es un factor que limita el empleo de la ventilación.

Al diseñar un local deben tenerse en cuenta no sólo los obstáculos existentes sino también los futuros. La ubicación de las edificaciones y de otros obstáculos puede favorecer el aumento de la velocidad del aire en ciertos lugares, como sucede con las cortinas de árboles que encauzan el flujo del aire hacia áreas donde es necesario.

La velocidad y dirección del viento varían considerablemente durante el transcurso del día, principal desventaja para la utilización de la ventilación natural. Se requiere entonces de un estudio del comportamiento de la velocidad y dirección de los vientos del lugar donde se pretende ubicar un centro de trabajo.

Cuando se pretende utilizar ventilación natural es necesario diseñar las aberturas, de manera que funcionen alternativamente como entradas o salidas del aire. La selección de las velocidades y direcciones en el diseño no debe basarse en valores promedio durante periodos largos. El método más indicado es hacer el estudio durante el tiempo que coincide con el horario laboral y en los periodos más críticos de la jornada, referidos especialmente a la temperatura del aire.

La cantidad de aire que entra a un edificio, bajo un esquema de ventilación natural, depende del viento y de los efectos térmicos dentro de la instalación.

En el interior de un edificio, el aire más caliente tiende a subir y escapa por las aberturas, grietas y lumbreras de las estructuras superiores; el aire más frío tiende a infiltrarse por el proceso contrario a través de las estructuras inferiores del mismo.

Debido a que los efectos térmicos son más predecibles que las fuerzas exteriores del viento, representan mayor utilidad en el diseño de sistemas de ventilación general.

Una ventilación natural se puede lograr mediante: ventanas, puertas, tragaluces, ductos conectados a rejillas y aberturas especialmente diseñadas para tal fin.

Las leyes que rigen la ventilación natural son las siguientes:

- Los elementos que la conforman deben distribuirse de acuerdo con la estructura del edificio y a la acción del viento.
- Las aberturas deben estar localizadas de tal forma que no sean obstruidas por otros edificios o árboles.
- Es preferible que las aberturas de entrada y salida sean de igual tamaño.
- El edificio debe orientarse correctamente, desde el punto de vista de las aberturas para ventilación, las cuales deben quedar localizadas en la dirección del viento.
- Debe existir distancia vertical entre las aberturas para que puedan utilizarse las diferencias de temperatura en la movilización de masas de aire.
- En las instalaciones industriales de un solo piso se recomienda la ventilación mediante aberturas en el techo, las cuales operan por las diferencias de presión.

VENTILACIÓN GENERAL MECÁNICA

Las modernas y complejas plantas industriales, caracterizadas por baja altura y gran área, así como las edificaciones de múltiples pisos construidas de ladrillo y vidrio, presentan problemas de ventilación. En estos casos, la ventilación es prácticamente nula, lo que hace necesario utilizar la de tipo mecánico.

La ventilación general en las grandes industrias se logra mediante el empleo de ventiladores de techo o el suministro de aire al interior de las áreas de trabajo a través de un ducto.

SUMINISTRO DE AIRE FRESCO

Para industrias y oficinas amplias, se recomienda suministrar un volumen de aire fresco de 8 litros por segundo por ocupante. La *Guía CIBS** también sugiere como volumen de aire el mayor valor entre la cantidad mínima de 5 litros/segundo/persona ó 0.8 litros/segundo/m² de superficie de piso. Este requerimiento mínimo implica un caudal total de ventilación no inferior a 0.6, cambios de aire por hora en fábricas y un cambio de aire por hora en oficinas. Un caudal de ventilación de uno a dos cambios de aire por hora será suficiente para remover los olores provocados por la sudoración del cuerpo, pero se

* *CIBS Guide*, Section B₂, Ventilation and air conditioning, Chartered Institution of Building Services, 1976.

será necesaria una ventilación adicional para la remoción de humo de cigarrillo; no obstante, en talleres de trabajo grandes con baja densidad de ocupación, este requerimiento adicional es pequeño (figura 10.2).

VENTILACION PARA EL BIENESTAR

Este tipo de ventilación se refiere al control de las cualidades físicas y químicas del aire. La *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE), la define como el proceso de tratamiento del aire para controlar simultáneamente su temperatura, humedad, limpieza y distribución, con el fin de reunir ciertos requerimientos. La ventilación para el bienestar también contribuye a mantener la salud, ya que el trabajo en condiciones extremas de temperatura y humedad puede tener un efecto adverso sobre el estado físico de los trabajadores.

Para evitar el calor, puede emplearse la ventilación natural o la ventilación general. En la ventilación natural el caudal o flujo de aire es producido por:

- La infiltración del viento.
- El efecto de chimenea que depende de la diferencia de la temperatura y de la altura de la chimenea.

Dentro de las ventajas que presenta la ventilación natural se señalan:

- El bajo costo.
- Las grandes cantidades de aire que pueden manejarse.
- El amplio empleo en industrias con exposiciones a calor.

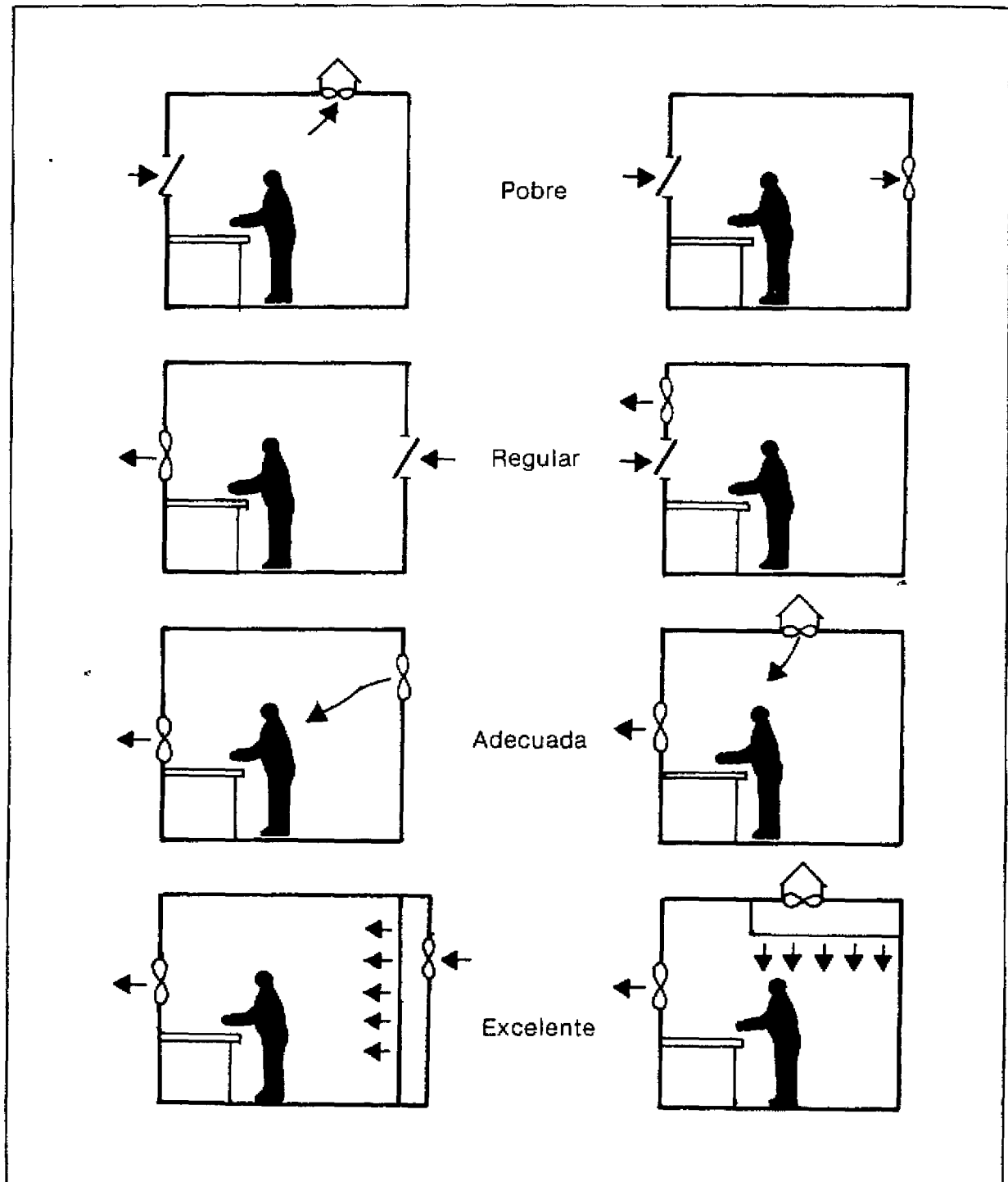
Las desventajas que presenta la ventilación natural se refieren a que sus resultados dependen de el viento y la temperatura exterior, las edificaciones próximas y la orientación del establecimiento de trabajo.

El bienestar térmico para los trabajadores está sujeto a las condiciones ambientales de temperatura del aire, humedad, calor radiante, concentración de humo de tabaco, concentración de olores y movimiento del aire, condiciones que deben evaluarse antes de diseñar un sistema de ventilación general y de esta manera calcular el volumen de aire fresco para reducir los factores indeseables del aire a niveles tolerables.

Entre los efectos que se producen por la ocupación de locales no ventilados o pobremente ventilados están:

Figura 10.2

Condiciones típicas de distribución de aire



- La reducción del contenido de oxígeno.
- El aumento de la cantidad de CO₂.
- La producción de olores por la transpiración de la piel de los ocupantes.
- El aumento de la temperatura del medio por el calor generado.
- El aumento de la humedad del ambiente por respiración, transpiración de la piel y diferentes operaciones y equipos.

Una persona contribuye en promedio con 0.017 m³ de CO₂ en una hora. El aire usualmente contiene 0.03% de CO₂ (3 partes por 10 000). La cantidad de CO₂ que existe en un local puede calcularse con la ecuación:

$$C = \frac{0.017 + 0.0003 V}{V}$$

donde:

V = Volumen de aire suministrado por persona, m³.

0.017 = Cantidad de CO₂ en m³ por persona y por hora.

0.0003 = Cantidad normal de CO₂ en el aire.

C = Cantidad de CO₂ en m³ por m³ de aire del local.

Si se requiere que el CO₂ no sobrepase de 5 partes por 10 000, el volumen de aire fresco que debe ser suministrado por persona cada hora puede calcularse de:

$$V = \frac{0.017}{0.0047} = 4 \text{ m}^3/\text{hora/persona}$$

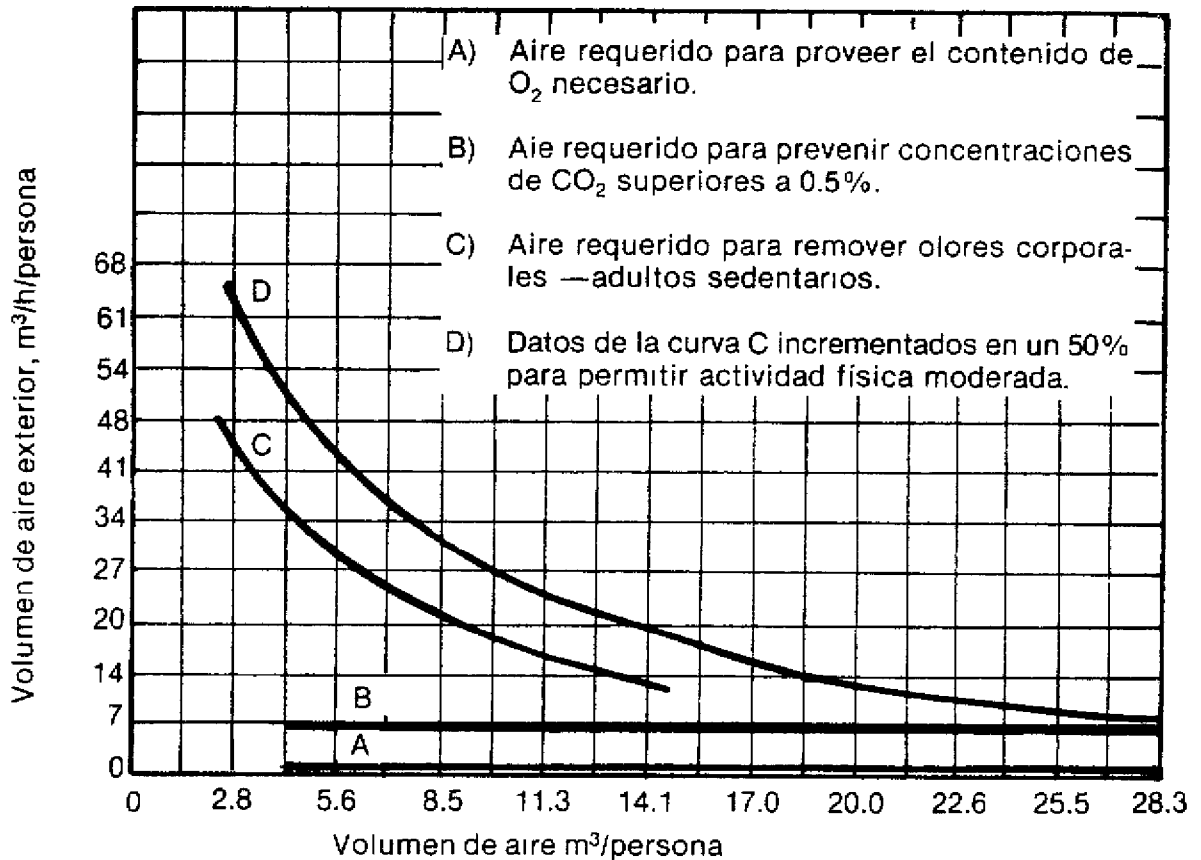
La figura 10.3 permite estimar el volumen necesario de aire exterior por persona desde el punto de vista de contenido de oxígeno, anhídrido carbónico y remoción de olores.

Los requerimientos de ventilación para zonas de oficinas, comercio y residenciales se indican en el cuadro 10.2.

Si se considera que el aire puro antes de inhalarlo contiene un 20% de oxígeno y después de inhalarlo aproximadamente 16%; un operario en trabajo normal que necesita 1 000 litros de aire puro por hora, consumirá aproximada-

Figura 10.3

Requerimientos de ventilación



mente 40 litros de oxígeno por hora. La cantidad neta de oxígeno utilizado es de 20 - 16% o sea 4%.

Las necesidades de oxígeno de los trabajadores dependen fundamentalmente de la intensidad del trabajo. Una persona en estado de reposo aspira unos 500 litros de aire por hora, aumentando a 2 000 litros/hora cuando se realice un trabajo fuerte.

El suministro de aire requerido para proveer el oxígeno es:

$$Q = 4.25 \times M$$

donde:

Q = Volumen de aire en litros por hora.

M = Régimen metabólico en kcal/hora.

Cuadro 10.2

Cantidades de suministro de aire exterior recomendadas para diferentes ocupaciones de espacio

Aire exterior m ³ /hora/persona*	Tipo de espacio o destino
8.5 - 17	Locales de techo alto tales como: bancos, auditorios, almacenes, teatros, locales donde no se fuma.
17 - 25.5	Apartamentos, barberías, peluquerías, cuartos de hotel, cuartos donde se fuma ligeramente.
25.5 - 34	Cafeterías, oficinas generales, droguerías, cuartos de hospitales, comedores colectivos, restaurantes, lugares donde se fuma moderadamente.
34 - 51	Oficinas privadas, bares, locales donde se fuma mucho.
51 - 102	Salones de conferencias, clubes nocturnos, locales con aglomeraciones de público donde se fuma muchísimo.

* Con base en espacios no menores de 5 m³ por persona en áreas de piso no inferiores a 1.5 m² por persona.

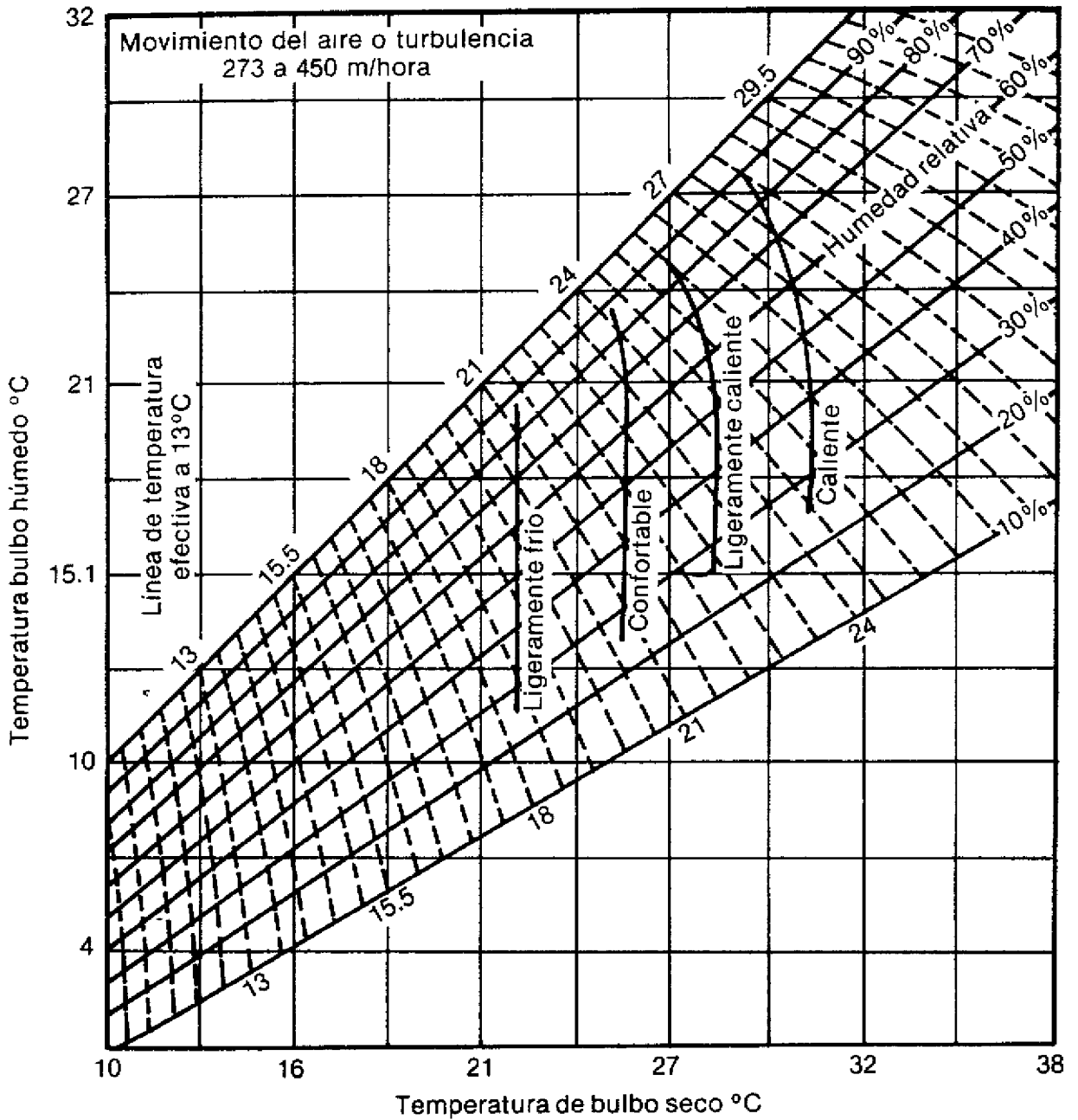
En locales de trabajo cerrados es necesario garantizar una entrada de aire fresco y suficiente para el mantenimiento de las concentraciones adecuadas de O₂ y CO₂. Existen normas que recomiendan el suministro de 30 a 50 metros cúbicos de aire limpio y fresco por persona.

Desde el punto de vista del bienestar térmico, se han desarrollado varios índices para describir un ambiente cómodo. La *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* ha elaborado una carta de bienestar para personas en actividad sedentaria y vestimenta normal, donde utiliza como parámetros las temperaturas de bulbo húmero y bulbo seco (figura 10.4). La zona de bienestar se considera como la combinación de condiciones ambientales, térmicamente neutras para el organismo humano.

El índice de temperatura efectiva es un criterio válido cuando se presenta sudación y no existe carga de calor por radiación, y se utiliza para especificar las condiciones térmicas permisibles. Las figuras 10.5 y 10.6 presentan valores de temperatura efectiva para personas vestidas normalmente en reposo o en actividad moderada e incluye el efecto de la velocidad del aire. Cuando existe calor radiante en el lugar de trabajo, se hace necesario corregir la temperatura efectiva.

Figura 10.4

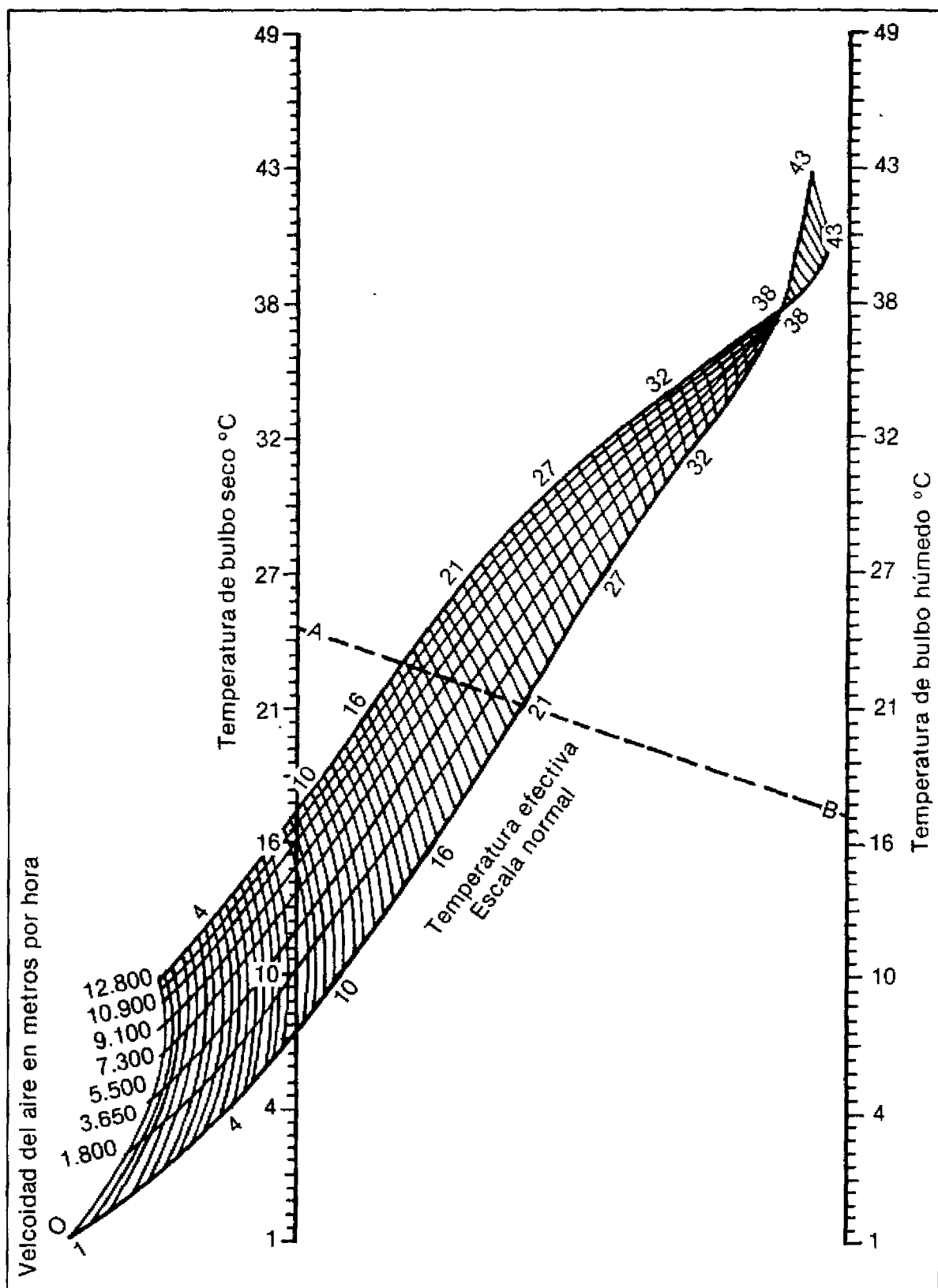
Carta de confort para aire quieto



Fuente: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers.

Figura 10.5

Índice de temperatura efectiva aplicable a personas en reposo con ropa normal



Fuente: Industrial Ventilation.