

Director del capítulo  
*Juan Guasch Farrás*

## Sumario

Control ambiental en interiores: principios generales <i>A. Hernández Calleja</i> . . . . .	45.2
El aire en interiores: métodos de control y depuración <i>E. Adán Liébana y A. Hernández Calleja</i> . . . . .	45.7
Objetivos y principios de la ventilación general y de la ventilación de dilución <i>Emilio Castejón</i> . . . . .	45.11
Criterios de ventilación para edificios no industriales <i>A. Hernández Calleja</i> . . . . .	45.14
Sistemas de calefacción y aire acondicionado <i>F. Ramos Pérez y J. Guasch Farrás</i> . . . . .	45.18
El aire en interiores: ionización <i>E. Adán Liébana y J. Guasch Farrás</i> . . . . .	45.24

## ● CONTROL AMBIENTAL EN INTERIORES: PRINCIPIOS GENERALES

A. Hernández Calleja

Las personas que viven en áreas urbanas pasan entre el 80 y el 90 % de su tiempo realizando actividades sedentarias en espacios interiores, tanto durante el trabajo como durante el tiempo de ocio (véase la Figura 45.1).

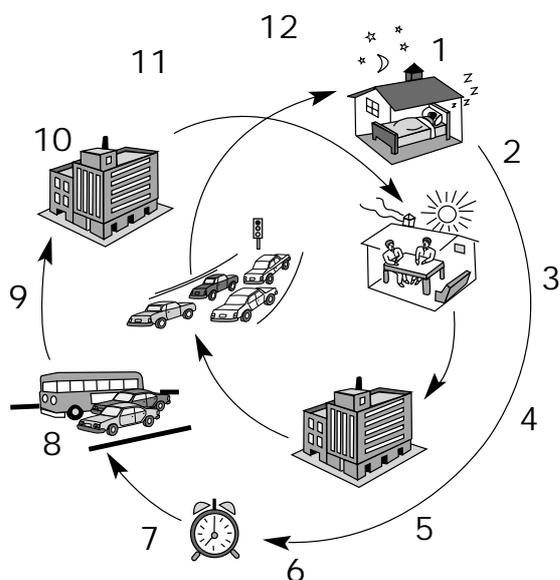
Este hecho ha llevado a la creación de ambientes interiores más confortables y homogéneos que los exteriores, sujetos a condiciones climáticas variables. Para ello, ha sido necesario acondicionar el aire de estos espacios, calentándolo en invierno y enfriándolo en verano.

Para que el sistema de acondicionamiento fuera eficaz y rentable, había que controlar el aire que entraba en los edificios desde el exterior, cuyas características térmicas eran contrarias a las deseadas. Ello se tradujo en edificios cada vez más herméticos y en un control más riguroso de la cantidad de aire exterior utilizada para renovar las atmósferas interiores más viciadas.

Con la crisis energética de principios del decenio de 1970 —y la consiguiente necesidad de ahorrar energía— cambió la situación, se redujo drásticamente el volumen de aire exterior utilizado para ventilación. Lo que se hacía entonces era reciclar muchas veces el aire del edificio. Por supuesto, el objetivo era reducir el coste del acondicionamiento del aire. Pero comenzó a ocurrir otra cosa: aumentó considerablemente el número de quejas, molestias y problemas de salud de los ocupantes de los edificios. Lo cual, a su vez, repercutió en los costes sociales y financieros debidos al absentismo y llevó a los especialistas a estudiar el origen de las quejas que, hasta entonces, se pensaban ajenas a la contaminación.

No es difícil explicar qué fue lo que provocó las quejas: se construyen edificios cada vez más herméticos, se reduce el volumen de aire de ventilación, se utilizan más productos y materiales para aislar los edificios térmicamente, se multiplica y diversifica el número de productos químicos y materiales

Figura 45.1 • Los habitantes de las ciudades pasan entre un 80 y un 90 % de su tiempo en interiores.



sintéticos utilizados y gradualmente se pierde el control individual del ambiente. Todo ello se traduce en un ambiente interior cada vez más contaminado.

Es entonces cuando los ocupantes de los edificios cuyo ambiente se ha degradado reaccionan, en su mayor parte, quejándose del ambiente en el que viven y presentando síntomas clínicos. Los síntomas más frecuentes son la irritación de las membranas mucosas (ojos, nariz y garganta), dolores de cabeza, insuficiencias respiratorias y una mayor incidencia de resfriados, alergias y demás.

A la hora de definir las posibles causas de tales quejas, la aparente sencillez de esta tarea se convierte en complejidad cuando se intenta establecer una relación causa-efecto. En este caso, es preciso considerar todos los factores (ya sean ambientales o de otro tipo) y su relación con las quejas o los problemas de salud que han aparecido.

La conclusión (después de muchos años de estudiar la cuestión) es que estos problemas tienen muy diversas causas. Son excepciones aquellos casos en los que se ha establecido

Tabla 45.1 • Los contaminantes de interiores más comunes y sus fuentes.

Situación	Fuentes de emisión	Contaminante
Exterior	<b>Fuentes fijas</b>	
	Establecimientos industriales, producción de energía	Dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, material en partículas, monóxido de carbono, compuestos orgánicos
	Automóviles	Monóxido de carbono, plomo, óxidos de nitrógeno
	Suelo	Radón, microorganismos
Interior	<b>Materiales de construcción</b>	
	Piedra, hormigón	Radón
	Compuestos de madera, chapeado	Formaldehído, compuestos orgánicos
	Aislamiento	Formaldehído, fibra de vidrio
	Ignífugos	Asbesto
	Pintura	Compuestos orgánicos, plomo
	<b>Equipos e instalaciones</b>	
	Sistemas de calefacción, cocinas	Monóxido y dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos, material en partículas
	Fotocopiadoras	Ozono
	Sistemas de ventilación	Fibras, microorganismos
	<b>Ocupantes</b>	
	Actividad metabólica	Dióxido de carbono, vapor de agua, olores
	Actividad biológica	Microorganismos
	<b>Actividad humana</b>	
Hábito de fumar	Monóxido de carbono, otros compuestos, material en partículas	
Ambientadores	Fluorocarburos, olores	
Limpieza	Compuestos orgánicos, olores	
Ocio, actividades artísticas	Compuestos orgánicos, olores	

claramente la relación causa-efecto, como en el caso del brote de legionelosis, por ejemplo, o los problemas de irritación o de incremento de la sensibilidad debidos a la exposición al formaldehído.

El fenómeno recibe el nombre de *síndrome del edificio enfermo* y se define como los síntomas que afectan a los ocupantes de un edificio en el que las quejas derivadas de malestares físicos son más frecuentes de lo que podría esperarse razonablemente.

En la Tabla 45.1 se presentan algunos ejemplos de contaminantes y las fuentes de emisiones más comunes que pueden asociarse con una disminución de la calidad del aire en interiores.

Además de la calidad del aire interior, que resulta afectada por contaminantes químicos y biológicos, el síndrome del edificio enfermo se atribuye a muchos otros factores. Algunos son físicos, como el calor, el ruido y la iluminación; otros son psicosociales, entre los cuales destacan la organización del trabajo, las relaciones laborales, el ritmo de trabajo y la carga de trabajo.

El aire interior desempeña un papel muy importante en el síndrome del edificio enfermo y, por consiguiente, controlar su calidad puede contribuir, en la mayoría de los casos, a rectificar o mejorar las condiciones que dan lugar a la aparición del síndrome. Con todo, conviene recordar que la calidad del aire no es el único factor que hay que considerar a la hora de evaluar ambientes interiores.

### Medidas de control ambiental en interiores

La experiencia demuestra que la mayoría de los problemas de los ambientes interiores son consecuencia de decisiones tomadas durante el diseño y la construcción del edificio. Aunque estos problemas pueden resolverse más adelante tomando medidas correctivas, hay que señalar que es más eficaz y rentable prevenir y corregir las deficiencias durante el diseño del edificio.

La gran variedad de las posibles fuentes de contaminación determina la multiplicidad de las medidas correctivas que pueden tomarse para mantenerlas bajo control. En el diseño de un edificio intervienen profesionales de diversos campos, como arquitectos, ingenieros, interioristas y otros. Por consiguiente, en esta fase es importante tener en cuenta los diferentes factores que contribuyen a eliminar o minimizar los problemas que pueden surgir en el futuro a causa de la mala calidad del aire. Los factores que es preciso considerar son:

- la elección del solar;
- el diseño arquitectónico;
- la elección de los materiales;
- los sistemas de ventilación y aire acondicionado utilizados para controlar la calidad del aire en interiores.

#### **Elección del solar de construcción**

La contaminación del aire puede proceder de fuentes que se encuentren cerca o lejos del solar elegido. Es un tipo de contaminación que incluye, principalmente, gases orgánicos e inorgánicos derivados de la combustión —ya sea de automóviles, fábricas o centrales eléctricas próximas al solar— y partículas suspendidas en el aire de origen diverso.

La contaminación del suelo incluye compuestos gaseosos procedentes de materias orgánicas enterradas y de las emanaciones de radón. Tales contaminantes pueden penetrar en el edificio a través de grietas de los materiales de construcción que estén en contacto con el suelo o por migración a través de materiales semipermeables.

La evaluación de los diferentes solares posibles deberá realizarse durante las fases de planificación de la construcción del

edificio. Para que la elección del solar sea la más acertada deberán tenerse en cuenta los datos y circunstancias siguientes:

1. Datos que demuestren los niveles de contaminación ambiental en la zona, para evitar fuentes de contaminación alejadas.
2. Análisis de fuentes de contaminación adyacentes o próximas, teniendo en cuenta factores como la cantidad de tráfico rodado y las posibles fuentes de contaminación industrial, comercial o agrícola.
3. Niveles de contaminación en el suelo y en el agua, entre ellos los compuestos orgánicos volátiles o semivolátiles, el gas radón y otros compuestos radiactivos derivados de la desintegración del radón. Es una información de gran utilidad si hay que decidir sobre un cambio de solar o si hay que tomar medidas para mitigar la presencia de estos contaminantes en el futuro edificio. Entre las medidas que pueden tomarse cabe citar el sellado eficaz de los canales de penetración o el diseño de sistemas de ventilación general que aseguren la creación de presión positiva en el futuro edificio.
4. Información sobre el clima y la dirección predominante del viento en la zona, así como sobre las variaciones diarias y estacionales. Son aspectos importantes para decidir la orientación más adecuada del edificio.

Por otra parte, es preciso controlar las fuentes locales de contaminación utilizando diversas técnicas específicas, como el drenaje o limpieza del suelo, su despresurización o la utilización de pantallas arquitectónicas o paisajísticas.

#### **Diseño arquitectónico**

La integridad del edificio ha sido, durante siglos, un requisito fundamental a la hora de planificar y diseñar un nuevo edificio. A estos efectos, tanto en la actualidad como en el pasado se han tenido en cuenta la capacidad de los materiales para resistir la degradación producida por la humedad, los cambios de temperatura, la circulación del aire, la radiación, el ataque de agentes químicos y biológicos o los desastres naturales.

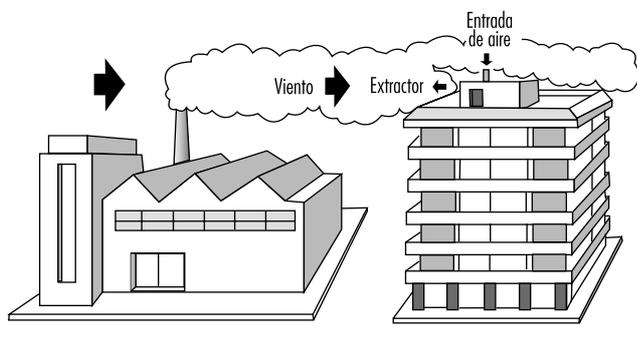
Ello no supone un problema en el contexto actual; es más, en el proyecto deben tomarse las decisiones adecuadas en relación con la integridad y el bienestar de los ocupantes. Durante esta fase del proyecto es preciso tomar decisiones acerca de cuestiones como el diseño de interiores, la elección de los materiales, la ubicación de las actividades que con posibilidad de convertirse en fuentes de contaminación, las aberturas del edificio al exterior, las ventanas y el sistema de ventilación.

#### **Aberturas del edificio**

La planificación del lugar que van a ocupar esas aberturas y su orientación son medidas de control eficaces durante el diseño del edificio, a fin de minimizar la cantidad de contaminación que penetre en él procedente de fuentes de contaminación previamente detectadas. Es conveniente tener en cuenta lo siguiente:

- Las aberturas deben quedar alejadas de las fuentes de contaminación y no encontrarse en la dirección predominante del viento. Si las aberturas están próximas a salidas de humos o escapes, será preciso planificar el sistema de ventilación de modo que se produzca una presión de aire positiva en esa zona, a fin de evitar el retorno del aire evacuado, tal como puede verse en la Figura 45.2.
- Es preciso tener especial cuidado de asegurar el drenaje y evitar las filtraciones en los puntos de contacto del edificio con el suelo, en los cimientos, en las superficies embaldosadas, en los lugares donde estén ubicados los conductos y el sistema de desagüe y en otros puntos.

Figura 45.2 • Penetración de la contaminación del exterior.



- Los accesos a muelles de carga y garajes deben construirse lejos de los puntos normales de entrada de aire al edificio así como de las entradas principales.

#### Ventanas

Durante los últimos años se ha invertido la tendencia observada en los decenios de 1970 y 1980, y actualmente existe propensión a incluir ventanas practicables en los nuevos proyectos arquitectónicos. Lo cual comporta varias ventajas. Una de ellas es la posibilidad de obtener ventilación suplementaria en las zonas que lo necesiten (se supone que son pocas), siempre y cuando el sistema de ventilación disponga de sensores para prevenir desequilibrios en dichas áreas. Hay que tener en cuenta que la posibilidad de abrir una ventana no siempre garantiza la entrada de aire fresco en el edificio: si el sistema de ventilación está presurizado, no se conseguirá más ventilación por abrir una ventana. Otras ventajas son de carácter meramente psicosocial, ya que permiten que los ocupantes tengan un cierto grado de control individual sobre su entorno y acceso visual directo al exterior.

#### Protección contra la humedad

El principal medio de control consiste en reducir la humedad de los cimientos del edificio, donde es frecuente que se desarrollen y propaguen microorganismos, especialmente hongos.

La deshumidificación de la zona y la presurización del suelo pueden evitar la aparición de agentes biológicos, así como la penetración de los contaminantes químicos que pueda haber en el suelo.

Otra medida que hay que considerar es el sellado y control de las áreas cerradas del edificio más susceptibles a la humedad del aire, ya que la humedad puede dañar los materiales utilizados en los revestimientos del edificio, con lo que dichos materiales pueden convertirse en una fuente de contaminación microbiológica.

#### Planificación de espacios interiores

Es importante conocer, durante las fases de planificación, el uso que se dará al edificio o las actividades que en él se desarrollarán. Sobre todo, es importante conocer qué actividades pueden constituir una fuente de contaminación, lo que permitirá posteriormente limitarlas y controlarlas. Algunos ejemplos de dichas actividades dentro de un edificio son la preparación de alimentos, los trabajos de imprenta y artes gráficas, el hábito de fumar y el uso de máquinas fotocopadoras.

La ubicación de estas actividades en recintos específicos, separados y aislados de otras actividades, debe decidirse de tal manera que los ocupantes del edificio se vean afectados lo menos posible.

Es aconsejable que estos procesos estén provistos de un sistema de extracción localizado y de sistemas de ventilación general con características especiales. La primera de estas medidas tiene por objeto controlar los contaminantes en la fuente de emisión. La segunda, aplicable cuando existen numerosas fuentes, cuando éstas están dispersas en un espacio determinado o cuando el contaminante no sea excesivamente peligroso, debe cumplir los requisitos siguientes: debe ser capaz de proporcionar volúmenes de aire fresco adecuados en función de los niveles establecidos para la actividad en cuestión, no debe utilizar de nuevo parte alguna del aire del local ni mezclarlo con el flujo general de ventilación del edificio y debe incluir extracción forzada suplementaria si es necesario. En estos casos es preciso planificar cuidadosamente la circulación del aire en los recintos para evitar la transmisión de contaminantes entre espacios contiguos (puede crearse, por ejemplo, una presión negativa en un espacio determinado).

A veces se logra el control mediante la eliminación o la reducción de contaminantes en el aire al filtrar o depurar éste químicamente. Para utilizar estas técnicas de control hay que tener en cuenta las características físicas y químicas de los contaminantes. Por ejemplo, los sistemas de filtración son adecuados para eliminar partículas del aire —en tanto que la eficacia del filtro se corresponda con el tamaño de las partículas filtradas—, pero permiten el paso de gases y vapores.

En espacios interiores, la eliminación de la fuente de contaminación es el método más eficaz de controlar ésta. Un buen ejemplo son las restricciones y prohibiciones del hábito de fumar en el lugar de trabajo. Si se permite fumar, generalmente es en zonas restringidas equipadas con sistemas de ventilación especiales.

#### Elección de los materiales

Para intentar evitar posibles problemas de contaminación en un edificio, es conveniente prestar atención a las características de los materiales de construcción y decoración, al mobiliario, a las actividades de trabajo que se realizarán normalmente y a los métodos que se utilizarán para limpiar y desinfectar el edificio y para el control de insectos y plagas. También es posible reducir los niveles de compuestos orgánicos volátiles (COV), por ejemplo, si se emplean únicamente materiales y equipamientos cuyos índices de emisión de estos compuestos sean conocidos y si se seleccionan aquellos que tengan los niveles más bajos.

Hoy en día, aunque algunos laboratorios e instituciones han realizado estudios sobre emisiones de este tipo, la información sobre los índices de emisión de contaminantes de los materiales de construcción es más bien escasa, y ello se agrava por la gran cantidad de productos existentes y la variabilidad que presentan a lo largo del tiempo.

A pesar de esta dificultad, algunos productores han comenzado a estudiar sus productos y a incluir, habitualmente a petición del consumidor o del profesional de la construcción, información sobre las investigaciones realizadas. Cada vez son más los productos calificados como "respetuosos con el medio ambiente", "no tóxicos", etcétera.

Ahora bien, todavía hay muchos problemas que resolver. Entre ellos cabe citar el alto coste de los análisis necesarios, en lo que atañe al tiempo tanto como al dinero; la falta de normas que regulen los métodos de ensayo de muestras; la complicada interpretación de los resultados obtenidos debido al desconocimiento de los efectos de algunos contaminantes para la salud, y la falta de acuerdo entre los investigadores respecto a si es preferible utilizar materiales con alto nivel de emisión durante un período breve en lugar de materiales con un nivel bajo durante períodos de tiempo más largos.

Lo cierto es que en los próximos años el mercado de los materiales de construcción y decoración será más competitivo y sufrirá una mayor presión legislativa. Con ello se eliminarán algunos productos o a se sustituirán por otros que tengan menores índices de emisión. Ya se están tomando medidas de este tipo con los adhesivos utilizados en la producción de moquetas, a lo que se añade, en la producción de pinturas, la eliminación de compuestos peligrosos, como el mercurio y el pentaclorofenol.

Hasta que se tenga más información y madure la reglamentación legislativa en este campo, los encargados de elegir los materiales y productos más apropiados para la construcción de edificios nuevos serán los profesionales. He aquí algunas consideraciones que pueden ayudarles a tomar una decisión:

- Es preciso disponer de información sobre la composición química del producto y los índices de emisión de contaminantes, así como sobre cualquier aspecto concerniente a la salud, la seguridad y el confort de los ocupantes expuestos a los mismos. Esta información deberá facilitarla el fabricante del producto.
- Es preciso elegir los productos que tengan los índices de emisión de contaminantes más bajos posibles, atendiendo en especial a la presencia de compuestos carcinógenos y teratógenos, irritantes, toxinas sistémicas, compuestos odoríferos y demás.
- Deberán especificarse los adhesivos o materiales que presenten grandes superficies de emisión o absorción, como los materiales porosos, los textiles, las fibras sin revestimiento y similares, y restringirse su uso.
- Será necesario implantar procedimientos preventivos para la manipulación e instalación de estos materiales y productos. Durante y después de su instalación, se ventilará el recinto exhaustivamente y se utilizará el proceso de *horneado* (véase más adelante) para acelerar el curado de ciertos productos. También deberán aplicarse las medidas higiénicas recomendadas en cada caso.
- Uno de los procedimientos recomendados para minimizar la exposición a las emisiones de nuevos materiales durante las fases de instalación y acabado, así como durante la ocupación inicial del edificio, es ventilar el mismo durante 24 horas con un 100 por cien de aire exterior. La eliminación de compuestos orgánicos por medio de esta técnica evita su retención en los materiales porosos, que pueden actuar como depósitos y después como fuentes de contaminación al liberar los compuestos almacenados al medio ambiente.
- Otra medida es incrementar la ventilación al máximo nivel posible antes de volver a ocupar un edificio que haya quedado cerrado durante un cierto tiempo: durante las primeras horas del día, los fines de semana o las vacaciones.
- En algunos edificios se ha utilizado un procedimiento especial para acelerar el "curado" de nuevos materiales, conocido como *horneado*, por el cual la temperatura del edificio se eleva durante 48 horas o más, manteniendo la circulación del aire al mínimo. Las altas temperaturas favorecen la emisión de compuestos orgánicos volátiles. Después se ventila el edificio y se reduce así su carga contaminante. Los resultados obtenidos hasta la fecha demuestran que este procedimiento puede ser eficaz en algunas situaciones.

### **Los sistemas de ventilación y el control de los climas en interiores**

La ventilación es uno de los métodos más importantes para controlar la calidad del aire en los espacios cerrados. Hay en ellos tantas y tan diversas fuentes de contaminación que resulta casi

imposible controlarlos por completo en la fase de diseño. Como ejemplo citaremos la contaminación generada por los propios ocupantes del edificio, a partir de las actividades que desarrollan y de los productos que utilizan para su higiene personal; en general, el diseñador no controla esas fuentes de contaminación.

Por consiguiente, el método de control normalmente utilizado para diluir y eliminar los contaminantes de los espacios interiores contaminados es la ventilación; puede realizarse con aire exterior limpio o con aire reciclado y convenientemente depurado.

Es necesario considerar muchas cuestiones diferentes a la hora de diseñar un sistema de ventilación que haya de servir adecuadamente como método de control de contaminación. Entre ellas cabe citar la calidad del aire exterior que se vaya a utilizar; los requisitos especiales de ciertos contaminantes o de la fuente que los genera; el mantenimiento preventivo del propio sistema de ventilación, que también debe tenerse en cuenta como posible fuente de contaminación, y la distribución del aire dentro del edificio.

En la Tabla 45.2 se resumen las cuestiones principales en el diseño de un sistema de ventilación necesarias para mantener ambientes interiores de calidad.

En un sistema típico de ventilación/aire acondicionado, el aire que se toma del exterior y que se mezcla con una proporción variable de aire reciclado pasa a través de diferentes sistemas de acondicionamiento del aire, suele filtrarse, calentarse o enfriarse según la estación y se humidifica o deshumidifica en función de las necesidades.

Una vez tratado, el aire se distribuye por conductos a cada una de las áreas del edificio y se reparte a través de rejillas de dispersión. Después se mezcla en todos los espacios ocupados, provocando un intercambio térmico y renovando la atmósfera interior hasta que finalmente se extrae de cada recinto por conducciones de retorno.

La cantidad de aire exterior que debe utilizarse para diluir y eliminar contaminantes es objeto de debate y de él se han ocupado muchos estudios. En los últimos años han cambiado las recomendaciones relativas a los niveles de aire exterior y se han publicado nuevas normas de ventilación, en la mayoría de los casos para aumentar los volúmenes de aire exterior utilizados. Aun así, estas recomendaciones son insuficientes para controlar eficazmente todas las fuentes de contaminación, y la razón está en que las normas establecidas se basan en la ocupación y no tienen en cuenta otras fuentes de contaminación importantes, como los materiales empleados en la construcción, el mobiliario y la calidad del aire procedente del exterior.

Así pues, la cantidad de ventilación necesaria debe basarse en tres aspectos fundamentales: la calidad del aire que se desee obtener, la calidad del aire exterior disponible y la carga total de contaminación del espacio que se intenta ventilar. De aquí parten los estudios realizados por el profesor P. O. Fanger y su equipo (Fanger 1988, 1989). Su objeto es establecer nuevas normas de ventilación que satisfagan las necesidades de calidad del aire y que proporcionen un nivel de confort aceptable desde el punto de vista de sus ocupantes.

Uno de los factores que afectan a la calidad del aire en espacios interiores es la calidad del aire exterior. Las características de las fuentes de contaminación exteriores, como el tráfico rodado y las actividades industriales o agrícolas, las hacen incontrolables para los diseñadores, los propietarios y los ocupantes de los edificios. Es en casos de este tipo cuando las autoridades responsables en materia de medio ambiente deben asumir la responsabilidad de elaborar directrices de protección medioambiental y de asegurar su cumplimiento. Sin embargo, existen muchas medidas de control aplicables y útiles para reducir y eliminar la contaminación ambiental.

Tabla 45.2 • Requisitos básicos de un sistema de ventilación por dilución.

Componente o función del sistema	Requisito
Dilución por aire exterior	<p>Debe garantizarse un volumen mínimo de aire por ocupante y por hora.</p> <p>El objetivo debe ser renovar el volumen de aire interior un número mínimo de veces por hora.</p> <p>El volumen de aire exterior suministrado debe aumentarse en función de la intensidad de las fuentes de contaminación.</p> <p>Debe garantizarse la extracción directa al exterior en espacios en los que vayan a realizarse actividades que generen contaminación.</p>
Ubicación de las entradas de aire	<p>Debe evitarse situar las entradas de aire cerca de fuentes de contaminación conocidas.</p> <p>Deben evitarse zonas próximas a aguas estancadas y a los aerosoles que emanan de las torres de refrigeración.</p> <p>Debe evitarse que entren animales y que las aves se posen o hagan sus nidos cerca de las entradas de aire.</p>
Ubicación de los extractores de aire	<p>Los extractores deben colocarse lo más lejos posible de las entradas de aire y deberá aumentarse la altura de las salidas de evacuación.</p> <p>Las salidas de evacuación deben orientarse en dirección opuesta a las campanas de entrada de aire.</p>
Filtración y depuración	<p>Deberán utilizarse filtros de partículas mecánicos y eléctricos.</p> <p>Es preciso instalar un sistema de eliminación química de contaminantes.</p>
Control microbiológico	<p>Debe evitarse poner materiales porosos en contacto con corrientes de aire, incluidos los de los conductos de distribución.</p> <p>Debe evitarse la acumulación de agua estancada cuando se forme condensación en aparatos de aire acondicionado.</p> <p>Deberá establecerse un programa de mantenimiento preventivo, y planificarse la limpieza periódica de los humidificadores y las torres de refrigeración.</p>
Distribución del aire	<p>Es preciso eliminar y evitar la formación de zonas muertas (donde no hay ventilación) y la estratificación del aire.</p> <p>Es preferible mezclar el aire allí donde los ocupantes lo respiran.</p> <p>Es preciso mantener presiones adecuadas en todos los recintos en función de las actividades que se realicen en ellos.</p> <p>Es preciso controlar los sistemas de propulsión y extracción del aire para mantener el equilibrio entre ellos.</p>

Como ya se ha mencionado, es preciso prestar especial atención a la ubicación y orientación de las conducciones de entrada y salida de aire, para evitar la reabsorción de la contaminación del propio edificio o de sus instalaciones (torres de refrigeración, respiraderos de cocinas y baños, etc.), así como de los edificios de las proximidades.

Si resulta que el aire exterior o reciclado está contaminado, las medidas de control que se recomiendan son el filtrado y la depuración. El método más eficaz para eliminar las partículas es utilizar precipitadores electrostáticos y filtros mecánicos de retención (la eficacia de éstos últimos será mayor cuanto más precisa sea su calibración conforme al tamaño de las partículas que se desea eliminar).

La utilización de sistemas capaces de eliminar gases y vapores por absorción y adsorción químicas es una técnica raramente utilizada fuera del sector industrial; con todo, es habitual hallar sistemas que enmascaran el problema de la contaminación, especialmente los olores, por ejemplo, utilizando ambientadores.

Otras técnicas para depurar y mejorar la calidad del aire utilizan ionizadores y ozonadores. El mejor principio en la utilización de estos sistemas para mejorar la calidad del aire, hasta que se conozcan sus verdaderas propiedades y sus posibles efectos perjudiciales para la salud es la prudencia.

Una vez que el aire ha sido tratado y enfriado o calentado, se reparte por los espacios interiores. Que la distribución del aire sea o no aceptable dependerá, en gran medida, de la elección, el número y la colocación de las rejillas difusoras.

Dadas las diferencias de opinión existentes sobre la eficacia de los distintos procedimientos para mezclar el aire, algunos diseñadores han comenzado a utilizar, en algunas situaciones, sistemas distribuidores de aire que lo reparten a nivel del suelo o desde las paredes, en lugar de las rejillas de difusión colocadas en el techo. En cualquier caso, es preciso planificar cuidadosamente la ubicación de los registros de retorno para evitar cortocircuitar la entrada y salida de aire, lo cual impediría que se mezclase por completo, tal como puede verse en la Figura 45.3.

Según el grado de compartimentación de los espacios de trabajo, la distribución del aire puede presentar diversos problemas. Por ejemplo, es posible que en los espacios abiertos provistos de rejillas de difusión en el techo el aire de la habitación no se mezcle por completo. Y el problema se agrava cuando el sistema de ventilación suministra volúmenes variables de aire. Los conductos de distribución de estos sistemas están provistos de terminales que modifican la cantidad de aire suministrado a dichos conductos en función de los datos recibidos de los termostatos de zona.

Figura 45.3 • Ejemplo de cómo puede cortocircuitarse la distribución del aire en espacios interiores.

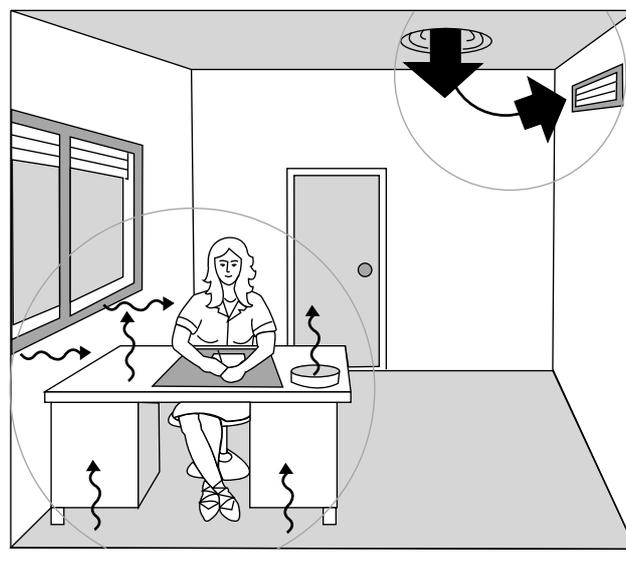


Tabla 45.3 • Medidas de control de la calidad del aire en interiores y sus efectos en los ambientes interiores.

Acción	Efecto
<b>Ambiente térmico</b>	
Aumento del volumen de aire fresco	Aumento de las corrientes
Reducción de la humedad relativa para evitar el desarrollo de microorganismos de agentes microbiológicos	Humedad relativa insuficiente
<b>Ambiente acústico</b>	
Suministro intermitente de aire exterior para conservar la energía	Exposición intermitente al ruido
<b>Ambiente visual</b>	
Reducción en el uso de luces fluorescentes para reducir la contaminación fotoquímica	Reducción de la eficacia de la iluminación
<b>Ambiente psicosocial</b>	
Oficinas diáfanas	Pérdida de intimidad y de un espacio de trabajo definido

Si el aire fluye a velocidad reducida a través de un número significativo de estos terminales (sucede cuando los termostatos de diferentes zonas alcanzan la temperatura deseada) y se reduce automáticamente la potencia de los ventiladores que impulsan el aire, pueden surgir dificultades. Por ejemplo, que el flujo total de aire que circula por el sistema sea menor, en algunos casos mucho menor, o incluso que se interrumpa totalmente la “entrada” de aire fresco del exterior. La colocación de sensores que controlen el flujo de aire exterior en el punto de entrada del sistema puede asegurar el mantenimiento de un flujo mínimo de aire fresco en todo momento.

Otro problema habitual es el bloqueo del flujo de aire debido a la colocación de divisiones totales o parciales en el espacio de trabajo. Hay muchos medios de corregir esta situación. Uno de ellos es dejar un espacio abierto en el borde inferior de los

Tabla 45.4 • Ajustes del medio ambiente de trabajo y sus efectos sobre la calidad del aire en interiores.

Acción	Efecto
<b>Ambiente térmico</b>	
Cálculo del suministro de aire exterior basado en cuestiones térmicas	Volúmenes insuficientes de aire fresco
El uso de humidificadores	Peligro microbiológico potencial
<b>Ambiente acústico</b>	
Aumento en el uso de materiales aislantes	Posible liberación de contaminantes
<b>Ambiente visual</b>	
Sistemas basados exclusivamente en la iluminación artificial	Insatisfacción, mortalidad de las plantas, desarrollo de agentes microbiológicos
<b>Ambiente psicosocial</b>	
Utilización de equipos en el espacio de trabajo, tales como fotocopiadoras e impresoras	Aumento del nivel de contaminación

tabiques que dividen los cubículos. Otros son la instalación de ventiladores suplementarios y la colocación de rejillas difusoras en el suelo. El uso de ventiloconvectores de inducción ayuda a mezclar el aire y permite el control individualizado de las condiciones térmicas de un espacio determinado. Sin restar importancia a la calidad del aire *per se* ni a los medios de controlarla, hay que tener en cuenta que para conseguir un ambiente interior confortable debe existir un equilibrio entre los diferentes elementos que afectan al mismo. Cualquier medida que se tome —aunque sea positiva— que afecte sólo a uno de los elementos, sin tener en cuenta el resto, puede romper el equilibrio y dar lugar a nuevas quejas por parte de los ocupantes del edificio. En las Tablas 45.3 y 45.4 se ilustra cómo algunas de estas medidas, cuya finalidad es mejorar la calidad del aire interior, provocan el fallo de otros elementos de la ecuación, de modo que la regulación del ambiente de trabajo puede afectar a la calidad del aire interior.

La calidad del ambiente general de un edificio que se encuentra en la fase de diseño dependerá, en gran medida, de las personas encargadas de su gestión, pero sobre todo de que se adopte una actitud positiva con respecto a los ocupantes del edificio. Para los propietarios del mismo, los ocupantes son los sensores más fiables para calibrar el correcto funcionamiento de las instalaciones destinadas a crear un ambiente interior de calidad.

Los sistemas de control basados en una concepción “paternalista”, encargados de tomar todas las decisiones que regulan los ambientes interiores, como la iluminación, la temperatura, la ventilación, etcétera, tienden a perjudicar el bienestar psicológico y sociológico de sus ocupantes, quienes ven así disminuida o bloqueada su capacidad para crear condiciones ambientales que se ajusten a sus necesidades. Además, los sistemas de control de este tipo son a veces incapaces de cambiar para adaptarse a las diferentes exigencias ambientales que pueden surgir a consecuencia de cambios en las actividades realizadas en un espacio determinado, en el número de personas que trabajen en el mismo o cambios en el reparto del espacio.

La solución podría consistir en instalar un sistema de control centralizado para el ambiente interior, con controles localizados regulados por los ocupantes. Es una idea muy utilizada en el ámbito de lo visual, donde la iluminación general se complementa con iluminación más localizada, que debería ampliarse a otros sistemas: calefacción y aire acondicionado generales y localizados, suministros de aire fresco generales y localizados, etcétera.

En resumen, puede decirse que, en cada caso deberá optimizarse una parte de las condiciones ambientales por medio de un control centralizado basado en aspectos de seguridad, salud y economía, mientras que las diferentes condiciones ambientales locales deberán ser optimizadas por el usuario del recinto. Cada usuario tiene necesidades diferentes y reacciona de manera distinta a determinadas condiciones. Es indudable que un compromiso de este tipo entre las diferentes partes aumentará la satisfacción, el bienestar y la productividad.

## EL AIRE EN INTERIORES: METODOS DE CONTROL Y DEPURACION

*E. Adán Liébana y A. Hernández Calleja*

La calidad del aire dentro de un edificio depende de una serie de factores entre los que cabe citar la calidad del aire exterior, el diseño del sistema de ventilación y de aire acondicionado, el funcionamiento y mantenimiento del sistema y las fuentes de

contaminación interior. En términos generales, el nivel de concentración de un contaminante en un espacio interior vendrá determinado por el equilibrio existente entre la generación del contaminante y su velocidad de eliminación.

En cuanto a la generación de contaminantes, las fuentes de contaminación también pueden ser internas o externas. Entre las fuentes externas cabe citar la contaminación atmosférica producida por procesos industriales de combustión, el tráfico rodado, las centrales eléctricas y demás; la contaminación emitida cerca de las galerías de entrada de aire al edificio, como la procedente de torres de refrigeración o salidas de escape de otros edificios; y las emanaciones de suelos contaminados, como el gas radón, las fugas de depósitos de gasolina o los pesticidas.

Entre las fuentes de contaminación interna, merece la pena mencionar las asociadas con los propios sistemas de ventilación y aire acondicionado (principalmente la contaminación microbiológica de cualquier parte de dichos sistemas), los materiales utilizados en la construcción y la decoración del edificio y los ocupantes del edificio. Fuentes específicas de contaminación interior son el humo del tabaco, las fotocopiadoras, los laboratorios en general, los fotográficos en particular, las prensas de imprenta, los gimnasios, los salones de belleza, las cocinas y cafeterías, los cuartos de baño, los aparcamientos y las salas de calderas. Todas deben tener un sistema de ventilación general y el aire extraído de estas zonas no debe volver a utilizarse en el edificio. Cuando la situación lo exija, también deberán tener un sistema de extracción localizada.

La evaluación de la calidad del aire interior supone, entre otras tareas, la medición y evaluación de los contaminantes que pueda haber en el edificio. Se utilizan varios indicadores para averiguar la calidad del aire en el interior. Entre ellos cabe citar las concentraciones de monóxido de carbono y dióxido de carbono, la cantidad total de compuestos orgánicos volátiles (TCOV), la cantidad total de partículas en suspensión (TSP) y la velocidad de ventilación. Existen varios criterios o valores diana recomendados para la evaluación de algunas de las sustancias presentes en los espacios interiores, que vienen enumerados en diferentes normas o directrices, como las directrices para la calidad del aire en interiores adoptadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), o las normas de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento del Aire (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE).

Ahora bien, no hay normas definidas para muchas de estas sustancias. Por ahora, la línea de acción recomendada es aplicar los valores y normas para ambientes industriales indicados por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH), (ACGIH 1992). Después se aplican factores de seguridad o de corrección del orden de la mitad, la décima o la centésima parte de los valores especificados.

Los métodos de control del aire interior pueden dividirse en dos grupos principales: el control de la fuente de contaminación y el control del ambiente mediante estrategias de ventilación y depuración del aire.

### Control de la fuente de contaminación

La fuente de contaminación puede controlarse por varios medios, entre los que cabe citar:

1. *Eliminación.* Eliminar la fuente de contaminación es el método ideal para controlar la calidad del aire en interiores. Se trata de una medida permanente que no requiere operaciones de mantenimiento posteriores. Se aplica cuando se conoce la fuente de la contaminación, como en el caso del humo del tabaco, y no precisa la sustitución del agente en cuestión.
2. *Sustitución.* En algunos casos hay que sustituir el producto que origina la contaminación. A veces es posible cambiar los productos utilizados (para limpieza, decoración, etc.) por otros que presten el mismo servicio pero que sean menos tóxicos o presenten un riesgo menor para las personas que los utilizan.
3. *Aislamiento o confinamiento espacial.* El objeto de estas medidas es reducir la exposición limitando el acceso a la fuente. Es un método por el que se interponen barreras (parciales o totales) o medidas de contención alrededor de la fuente de contaminación para minimizar las emisiones al aire circundante y limitar el acceso de personas a la zona próxima a la fuente de contaminación. Los recintos deben estar equipados con sistemas de ventilación suplementarios que puedan extraer aire y suministrar un flujo de aire dirigido adonde sea necesario. Ejemplos de este enfoque son los hornos cerrados, las salas de calderas y las salas de fotocopiadoras.
4. *Sellado de la fuente.* En este método se utilizan materiales y/o productos que eviten o minimicen la emisión de contaminación. Se ha propuesto como medio para evitar la dispersión de fibras de amianto sueltas de antiguos aislantes, así como para reducir la emisión de formaldehído de las paredes tratadas con resinas. En edificios contaminados por gas radón, esta técnica se utiliza para sellar bloques de hormigón y fisuras en paredes de sótanos, utilizándose polímeros para evitar la inmisión de radón del suelo. Las paredes de sótanos también pueden tratarse con pintura epoxídica y un sellador polimérico de polietileno o poliamida para evitar contaminación que pueda filtrarse a través de las paredes o por el suelo.
5. *Ventilación por extracción localizada.* Los sistemas de ventilación localizados funcionan capturando el contaminante en la propia fuente, o lo más cerca posible de ella. La captura se realiza con una campana concebida para atrapar el contaminante en una corriente de aire que fluye entonces a través de conductos hacia el sistema de depuración con ayuda de un ventilador. Si no es posible depurar o filtrar el aire extraído, deberá evacuarse al exterior y no volverá a utilizarse en el edificio.

### Control del ambiente

Los ambientes interiores de edificios no industriales suelen tener muchas fuentes de contaminación que, además, tienden a estar dispersas. El sistema más empleado para corregir o prevenir los problemas de contaminación en interiores es, por consiguiente, la ventilación, ya sea general o de dilución. Lo que se hace es mover y dirigir el flujo de aire para capturar, retener y transportar los contaminantes desde su fuente hasta el sistema de ventilación. Por añadidura, la ventilación general también permite el control de las características térmicas del ambiente interior acondicionando y recirculando el aire (véase más adelante, en este mismo capítulo, la sección "Objetivos y principios de la ventilación general y de la ventilación de dilución").

A fin de diluir la contaminación interna, sólo es aconsejable aumentar el volumen de aire exterior si el sistema es de tamaño apropiado y no se provoca falta de ventilación en otras zonas ni se impide el correcto acondicionamiento del aire. Para que un sistema de ventilación sea lo más eficaz posible, es conveniente instalar extractores localizados en las fuentes de contaminación; el aire mezclado con contaminación no deberá volver a utilizarse; los ocupantes deberán situarse junto a los difusores de aire y las fuentes de contaminación junto a los extractores; los contaminantes deberán expulsarse por la vía más corta posible, y los recintos que tengan fuentes de contaminación localizadas deberán mantenerse a presión negativa en relación con la presión atmosférica exterior.

La mayoría de las deficiencias de ventilación parecen ir ligadas a una cantidad inadecuada de aire exterior. Con todo, una distribución inadecuada del aire de renovación también puede dar lugar a problemas de calidad del aire. Por ejemplo, en habitaciones con techos muy altos, que reciban aire caliente (menos denso) desde arriba, pueden ocurrir problemas de estratificación y entonces la ventilación no podrá diluir la contaminación presente en la habitación. La ubicación y colocación de los difusores y retornos de aire en relación con los ocupantes y las fuentes de contaminación es una cuestión que requiere especial atención a la hora de diseñar el sistema de ventilación.

### Técnicas de depuración del aire

Es conveniente elegir y diseñar con precisión los métodos de depuración del aire para cada tipo concreto de contaminante. Una vez instalado, el mantenimiento periódico evitará que el propio sistema se convierta en una nueva fuente de contaminación. A continuación se describen seis métodos empleados para eliminar contaminantes del aire.

#### Filtración de partículas

La filtración es un método útil para eliminar líquidos o sólidos en suspensión, pero hay que tener en cuenta que no elimina gases ni vapores. Los filtros pueden capturar partículas por obstrucción, impacto, intercepción, difusión y atracción electrostática. La filtración en un sistema de aire acondicionado es necesaria por muchas razones. Una de ellas es evitar la acumulación de suciedad que pueda reducir la eficacia del intercambio de calor. El sistema también puede sufrir corrosión a causa de ciertas partículas (ácido sulfúrico y cloruros). También se necesita filtración para evitar desequilibrios en el sistema de ventilación debidos a la formación de depósitos en las palas de los ventiladores y al envío de información falsa a los controles por obstrucción de los sensores.

Los sistemas de filtración de aire interior se sirven de al menos dos filtros colocados en serie. El primero, un prefiltro o filtro primario, retiene sólo las partículas más grandes. Debe cambiarse a menudo para que el filtro siguiente dure más tiempo. El filtro secundario es más eficaz que el primero y puede filtrar esporas fúngicas, fibras sintéticas y, en general, polvo más fino que el recogido por el filtro primario. Los filtros deben ser suficientemente eficaces para eliminar partículas irritantes y tóxicas.

La elección de un filtro se basa en su eficacia, en su capacidad para acumular polvo, en su pérdida de carga y en el nivel exigido de pureza del aire. La eficacia de un filtro se mide por las normas ASHRAE 52-76 y Eurovent 4/5 (ASHRAE 1992; CEN 1979). Su capacidad de *retención* se define como la masa del polvo que retiene por el volumen del aire filtrado y se utiliza para filtros que sólo retienen partículas grandes (filtros de eficacia media y baja). Para medir su capacidad de retención, se hace pasar a través del filtro polvo aerosol sintético, de concentración y granulometría conocidas. La parte retenida en el filtro se calcula por gravimetría.

La *eficacia* de un filtro expresa el número de partículas retenidas por el volumen de aire filtrado. Es el mismo valor que se utiliza para caracterizar filtros que también retienen partículas más finas. En este caso, se hace pasar a través del mismo una corriente de aerosol atmosférico compuesto de partículas de entre 0,5 y 1  $\mu\text{m}$  de diámetro. La cantidad de partículas capturadas se mide con un opacímetro, aparato que mide la opacidad provocada por el sedimento. El ensayo con Dioctilftalato (DOP) es utilizado para clasificar los filtros de aire particulado de alta eficacia (HEPA). La prueba se realiza con un aerosol fabricado por evaporación y condensación de dioctilftalato, que produce

Tabla 45.5 • Eficacia de los filtros (conforme a la norma ASHRAE 52-76) para partículas de 3  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Descripción del filtro	ASHRAE 52-76		Eficacia (%)		
	Mancha de polvo (%)	Retención (%)	Inicial	Final	Promedio
Medio	25–30	92	1	25	15
Medio	40–45	96	5	55	34
Alto	60–65	97	19	70	50
Alto	80–85	98	50	86	68
Alto	90–95	99	75	99	87
95 % HEPA	—	—	95	99,5	99,1
99,97 % HEPA	—	—	99,97	99,7	99,97

partículas de 0,3  $\mu\text{m}$  de diámetro. El método se basa en la propiedad fotodispersora de las gotas de dioctilftalato: si sometemos el filtro a esta prueba, la intensidad de la luz dispersada será proporcional a la concentración superficial de este material y podrá medirse la penetración del filtro por la intensidad relativa de la luz dispersada antes y después de filtrar el aerosol. Para que un filtro obtenga la denominación HEPA, debe demostrar una eficacia superior al 99,97 % en esta prueba.

Aunque existe una relación directa entre ellos, los resultados de los tres métodos no son directamente comparables. La eficacia de todos los filtros disminuye a medida que se van obstruyendo y entonces pueden convertirse en fuente de olores y contaminación. La vida útil de un filtro de alta eficacia puede alargarse en gran medida colocando uno o varios filtros de menor rango delante del filtro de alta eficacia. En la Tabla 45.5 se presentan los valores de rendimiento inicial, final y promedio de diferentes filtros, conforme a los criterios establecidos por la norma ASHRAE 52-76 para partículas de 0,3  $\mu\text{m}$  de diámetro.

#### Precipitación electrostática

Se trata de un método útil para controlar partículas. Los equipos de esta clase funcionan ionizando las partículas y eliminándolas después de la corriente de aire por medio de un electrodo acumulador que las atrae y captura. La ionización se produce cuando el efluente contaminado pasa por el campo eléctrico generado por una alta tensión aplicada entre los electrodos de acumulación y descarga. La tensión se obtiene por medio de un generador de corriente continua. El electrodo acumulador cuenta con una superficie grande y suele tener una carga positiva, mientras que el electrodo de descarga es un cable con carga negativa.

Los factores más importantes que afectan a la ionización de partículas son el estado del efluente, su descarga y las características de las partículas (tamaño, concentración, resistividad, etc.). La efectividad de la captura aumenta con la humedad y con el tamaño y la densidad de las partículas, y disminuye al aumentar la viscosidad del efluente.

La principal ventaja de estos dispositivos es que son muy eficaces para recoger sólidos y líquidos, incluso cuando las partículas son muy finas. Además, estos sistemas pueden utilizarse con grandes volúmenes y a altas temperaturas. La pérdida de presión es mínima. Los inconvenientes son su alto coste inicial, sus necesidades de espacio y los riesgos de seguridad que plantean por las altas tensiones que requieren, especialmente si se utilizan en aplicaciones industriales.

Los precipitadores electrostáticos tienen toda una gama de aplicaciones, desde la reducción de las emisiones de partículas en ámbitos industriales, hasta la mejora de la calidad del aire en el interior de domicilios privados. En este último caso se trata de dispositivos más pequeños, que funcionan con tensiones de entre 10.000 y 15.000 voltios. Normalmente disponen de sistemas equipados con reguladores automáticos de tensión que permiten aplicar siempre la tensión suficiente para producir la ionización sin provocar descargas entre ambos electrodos.

### **Generación de iones negativos**

Es un método utilizado para eliminar partículas suspendidas en el aire y, en opinión de algunos autores, para crear ambientes más saludables. Todavía se está estudiando la eficacia de este método como medio para reducir malestares o enfermedades.

### **Adsorción de gases**

Es un método utilizado para eliminar gases y vapores contaminantes, como el formaldehído, el dióxido de azufre, el ozono, los óxidos de nitrógeno y los vapores orgánicos. La adsorción es un fenómeno físico por el que las moléculas de gas quedan atrapadas en un material adsorbente sólido y poroso, de superficie muy extensa. Para eliminar este tipo de contaminante se hace pasar el aire a través de un cartucho lleno del material adsorbente. El material más utilizado es el carbono activado, que atrapa una gran variedad de gases inorgánicos y compuestos orgánicos. Cabe citar como ejemplos los hidrocarburos alifáticos, clorados y aromáticos, las cetonas, los alcoholes y los ésteres.

El gel de sílice es asimismo un adsorbente inorgánico y se utiliza para atrapar compuestos más polares, como los compuestos aminados y el agua. También existen otros adsorbentes de tipo orgánico compuestos de polímeros porosos. Conviene recordar que todos los sólidos adsorbentes sólo atrapan una cierta cantidad de contaminante y después, una vez saturados, tienen que ser regenerados o reemplazados. Otro método de captura a través de sólidos adsorbentes es utilizar una mezcla activa de alúmina y carbono impregnada con unos reactivos específicos. Por ejemplo, algunos óxidos metálicos capturan vapor de mercurio, sulfuro de hidrógeno y etileno. Hay que tener en cuenta que no es posible retener el dióxido de carbono por adsorción.

### **Absorción de gases**

Para eliminar gases y vapores por absorción se utiliza un sistema que fija las moléculas haciéndolas pasar a través de una solución absorbente con la que reaccionan químicamente. Es un método muy selectivo y utiliza reactivos específicos para el contaminante que se quiere capturar.

También debe reemplazarse o regenerarse antes de que se agote. Como el sistema se basa en que el contaminante pase del estado gaseoso al líquido, las propiedades físicas y químicas del mismo son muy importantes: su solubilidad y reactividad, el pH, la temperatura y la superficie de contacto entre el gas y el líquido. Si el contaminante es muy soluble, será suficiente con hacerlo borbotear a través de la solución para fijarlo al reactivo. Si el contaminante no es tan soluble, el sistema que se emplee deberá asegurar una mayor superficie de contacto entre el gas y el líquido. En la Tabla 45.6 se muestran algunos ejemplos de adsorbentes y los contaminantes para los que son especialmente adecuados.

### **Ozonización**

Es un método de mejora de la calidad del aire en interiores que se basa en el uso del gas ozono. El ozono se genera a partir del

Tabla 45.6 • Reactivos utilizados como adsorbentes para varios contaminantes.

Absorbente	Contaminante
Dietilhidroxamina	Sulfuro de hidrógeno
Permanganato potásico	Gases odoríferos
Ácidos clorhídrico y sulfúrico	Aminas
Sulfuro sódico	Aldehídos
Hidróxido sódico	Formaldehído

oxígeno por radiación ultravioleta o descarga eléctrica y se emplea para eliminar contaminantes dispersos en el aire. El gran poder oxidante de este gas lo hace adecuado como agente antimicrobiano, desodorante y desinfectante y apto para eliminar gases y vapores nocivos. También se emplea para purificar espacios con altas concentraciones de monóxido de carbono. En ámbitos industriales se utiliza para tratar el aire de cocinas, cafeterías, plantas de elaboración de alimentos y pescado, plantas químicas, plantas de tratamiento de aguas residuales, plantas de transformación del caucho, plantas de refrigeración, etcétera. En oficinas, se utiliza con instalaciones de aire acondicionado para mejorar la calidad del aire.

El ozono es un gas azulado con un penetrante olor característico. En altas concentraciones es tóxico e incluso mortal para el hombre. Es preciso diferenciar la producción de ozono intencionada, accidental y natural. El ozono es un gas sumamente tóxico e irritante ya sea en exposiciones de larga o corta duración. Debido al modo en que reacciona en el cuerpo, no se conocen niveles que no tengan efectos biológicos. En la sección de productos químicos de la *Enciclopedia* se trata más detalladamente esta cuestión.

Los procesos que emplean ozono deben llevarse a cabo en espacios cerrados o tener un sistema de extracción localizado para capturar cualquier liberación de gas en su origen. Los cilindros de ozono deben almacenarse en áreas refrigeradas, lejos de agentes reductores, materiales inflamables o productos que puedan catalizar su desgregación. Hay que tener en cuenta que si los ozonadores funcionan a presiones negativas y tienen dispositivos de paro automático en caso de avería, se minimiza la posibilidad de que se produzcan fugas.

Los equipos eléctricos utilizados en procesos que empleen ozono deben estar perfectamente aislados y su mantenimiento debe estar a cargo de personal experimentado. Si se utilizan ozonadores, los conductos y equipos accesorios deberán tener dispositivos que cierren inmediatamente los ozonadores en los casos siguientes: si se detecta una fuga; cuando se produce una pérdida de eficacia en las funciones de ventilación, deshumidificación o refrigeración; si se produce un exceso de presión o un vacío (según el sistema); o si la potencia del sistema es excesiva o insuficiente.

Cuando se instalen ozonadores, deberán ir provistos de detectores específicos para ozono. No puede confiarse en el sentido del olfato porque puede saturarse. Las fugas de ozono se detectan con tiras reactivas de yoduro de potasio que se vuelven azules, pero no es un método específico, ya que la prueba da positivo con la mayoría de los oxidantes. Es mejor realizar un control de fugas continuado por medio de acumuladores electroquímicos, fotometría de ultravioletas o quimioluminiscencia, conectando el dispositivo de detección elegido a un sistema de alarma que actúe cuando se alcancen ciertas concentraciones.

## ● OBJETIVOS Y PRINCIPIOS DE LA VENTILACION GENERAL Y DE LA VENTILACION DE DILUCION

*Emilio Castejón*

Si los contaminantes generados en un lugar de trabajo han de ser controlados ventilando todo el recinto, hablamos de *ventilación general*. Su utilización implica la aceptación de que el contaminante se distribuya en cierta medida por todo el lugar de trabajo y pueda por tanto afectar a los trabajadores que estén lejos de la fuente de contaminación. Por consiguiente, la ventilación general es la estrategia opuesta a la *extracción localizada*, que pretende eliminar el contaminante interceptándolo lo más cerca posible de la fuente (véase "El aire en interiores: métodos de control y depuración", en este mismo capítulo).

Uno de los objetivos básicos de cualquier sistema de ventilación general es el control de los olores corporales, y es posible lograrlo suministrando no menos de 0,45 metros cúbicos por minuto de aire fresco por ocupante. Si se fuma con frecuencia o el trabajo requiere un intenso esfuerzo físico, será preciso aumentar la ventilación, hasta superar los 0,9 m<sup>3</sup>/min por persona.

Si los únicos problemas ambientales que debe resolver el sistema de ventilación son los que acabamos de describir, es conveniente tener en cuenta que cada recinto tiene cierto nivel de renovación de aire "natural" por medio de la llamada "infiltración", que se produce a través de puertas y ventanas, incluso estando cerradas, y a través de otros puntos de penetración de las paredes. Los manuales de los sistemas de aire acondicionado suelen contener amplia información a este respecto, pero puede decirse que, como mínimo, el nivel de ventilación debido a la infiltración alcanza entre las 0,25 y 0,5 renovaciones por hora. Un recinto industrial experimentará normalmente entre 0,5 y 3 renovaciones de aire por hora.

Si se utiliza para controlar contaminantes químicos, la ventilación general deberá limitarse exclusivamente a aquellas situaciones en las que no se generen grandes cantidades de contaminantes y sean de toxicidad relativamente moderada, y en las que los trabajadores no realicen sus tareas muy cerca de la fuente de contaminación. Si no se respetan estas condiciones, será difícil conseguir un control adecuado del ambiente de trabajo ya que las tasas de renovación de aire tendrán que ser tan altas que la velocidad del aire creará malestar, además de que mantener unas tasas de renovación tan altas resulta caro. Por consiguiente, no suele recomendarse la ventilación general para el control de sustancias químicas, excepto en el caso de los disolventes que tengan concentraciones admisibles de más de 100 partes por millón.

Por otra parte, si el objetivo de la ventilación general es mantener las características térmicas del ambiente de trabajo con vistas a cumplir límites legalmente aceptables o recomendaciones técnicas, como las directrices de la Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization, ISO), este método tiene menos limitaciones. Por consiguiente, la ventilación general se utiliza más que para controlar el ambiente térmico, para limitar la contaminación química, pero es obligado reconocer su utilidad como complemento de las técnicas de extracción localizada.

Aunque las expresiones *ventilación general* y *ventilación por dilución* se han considerado sinónimas durante muchos años, en la actualidad ya no es así, debido a una nueva estrategia de ventilación general: la *ventilación por desplazamiento*. Aunque la ventilación por dilución tanto como la ventilación por desplazamiento encajan

en la definición de ventilación general anteriormente descrita, sus estrategias para controlar la contaminación son muy diferentes.

La *ventilación por dilución* tiene por objeto mezclar al máximo el aire que se introduce mecánicamente con todo el aire ya existente, de modo que la concentración de un determinado contaminante sea lo más uniforme posible en todo el espacio (o de modo que la temperatura sea lo más uniforme posible, si lo que se pretende conseguir es el control térmico). Para conseguir la uniformidad, se inyectan corrientes de aire desde el techo a velocidad relativamente alta, para generar una fuerte circulación del aire. El resultado es un alto grado de mezcla del aire fresco con el aire ya presente en el espacio en cuestión.

La *ventilación por desplazamiento*, debería ser, en teoría, la inyección de aire en un recinto de manera que el aire fresco desplace el aire anteriormente existente sin mezclarse con él. La ventilación por desplazamiento se consigue inyectando aire fresco lentamente y cerca del suelo y realizando la extracción de aire cerca del techo. El uso de este tipo de ventilación para controlar el ambiente térmico tiene la ventaja de que aprovecha el movimiento natural del aire generado por variaciones de densidad provocadas, a su vez, por diferencias de temperatura. Aunque la ventilación por desplazamiento ya se utiliza mucho en situaciones industriales, la bibliografía sobre este tema es todavía bastante limitada, por lo que sigue siendo difícil evaluar su eficacia.

### La ventilación por dilución

El diseño de un sistema de ventilación por dilución se basa en la hipótesis de que la concentración del contaminante es la misma en todo el espacio. Los ingenieros químicos suelen referirse a este modelo como el "tanque agitado".

Si se asume que el aire inyectado en el espacio en cuestión está exento del contaminante y que en el momento inicial su concentración en dicho espacio es cero, será necesario conocer dos hechos a fin de calcular la velocidad de ventilación necesaria: la cantidad de contaminante que se genera y el nivel de concentración ambiental que se busca (que hipotéticamente será el mismo en todo el recinto).

En estas condiciones, los cálculos correspondientes dan lugar a la siguiente ecuación:

$$c(t) = \frac{a}{Q} \left( 1 - \exp\left(-\frac{Qt}{V}\right) \right)$$

donde

$c(t)$  = Concentración del contaminante en el espacio en cuestión, en el tiempo  $t$ .

$a$  = Cantidad de contaminante que se genera (masa por unidad de tiempo).

$Q$  = Velocidad de alimentación de aire fresco (volumen por unidad de tiempo).

$V$  = Volumen del espacio en cuestión.

La ecuación anterior demuestra que la concentración tenderá a ser constante en el valor  $a/Q$ , y que lo hará más rápidamente cuanto menor sea el valor de  $Q/V$  al que suele denominarse "número de renovaciones por unidad de tiempo". Aunque ocasionalmente el índice de calidad de la ventilación se considere prácticamente equivalente a ese valor, la ecuación citada demuestra claramente que su influencia se limita a controlar la *velocidad de estabilización* de las condiciones ambientales, no el nivel de concentración en el que se producirá la estabilidad. Eso dependerá *exclusivamente* de la cantidad de contaminante que se genere ( $a$ ) y de la velocidad de ventilación ( $Q$ ).

Si el aire de un espacio determinado está contaminado pero no se generan nuevas cantidades de contaminante, la velocidad de disminución de la concentración a lo largo de un periodo de tiempo vendrá dada por la siguiente expresión:

$$c_2 = c_1 \exp \left( - \frac{Q(t_2 - t_1)}{V} \right)$$

donde  $Q$  y  $V$  tienen el significado indicado anteriormente,  $t_1$  y  $t_2$  son los tiempos inicial y final respectivamente, y  $c_1$  y  $c_2$  son las concentraciones inicial y final.

Es posible hallar expresiones de cálculo en casos en los que la concentración inicial no sea cero (Constance 1983; ACGIH 1992), en los que el aire de ventilación inyectado en el recinto no esté totalmente exento de contaminante (por ejemplo, porque se recicla parte del aire a fin de reducir costes de calefacción en invierno), o en los que las cantidades de contaminante generadas varíen en función del tiempo.

Si hacemos caso omiso de la etapa de transición y asumimos que se ha logrado la estabilidad, la ecuación indica que la velocidad de ventilación es equivalente a  $a/c_{lim}$ , donde  $c_{lim}$  es el valor de la concentración que debe mantenerse en el espacio dado. Tal valor queda recogido en disposiciones o bien, como norma auxiliar, en recomendaciones técnicas, como los Valores Límite Umbral (TLV) de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH), que recomienda que la velocidad de ventilación se calcule con la fórmula:

$$Q = \frac{a}{c_{lim}} K$$

donde  $a$  y  $c_{lim}$  tienen el significado ya descrito y  $K$  es un factor de seguridad. Hay que elegir un valor de  $K$  entre 1 y 10 en función de la eficacia de la mezcla de aire en el espacio dado, de la toxicidad del disolvente (cuanto menor sea  $c_{lim}$ , mayor será el valor de  $K$ ), y de cualquier otra circunstancia que el higienista industrial considere pertinente. La ACGIH cita como criterios determinantes, entre otros, la duración del proceso, el ciclo de operaciones y la ubicación habitual de los trabajadores con respecto a las fuentes de emisión del contaminante, el número de dichas fuentes y su ubicación, los cambios en la cantidad de ventilación natural achacables a causas estacionales y la reducción prevista de la eficacia funcional de los equipos de ventilación.

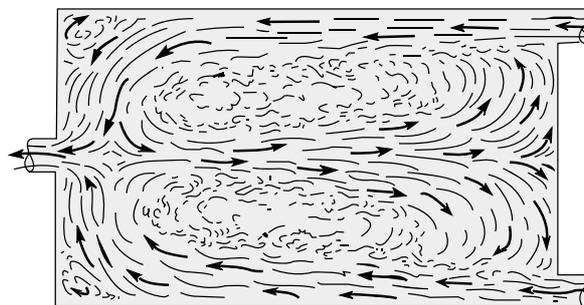
En cualquier caso, para utilizar la fórmula anterior se requiere un conocimiento bastante exacto de los valores de  $a$  y  $K$  que deberán utilizarse, por lo que aquí se ofrecen algunas sugerencias al respecto.

Por lo común es posible calcular la cantidad de contaminante generada a partir de la cantidad de determinados materiales consumidos en el proceso generador del contaminante. De modo que, en el caso de un disolvente, la cantidad utilizada será una buena indicación de la cantidad máxima que pueda existir en el ambiente.

Como ya se ha indicado, el valor de  $K$  deberá determinarse en función de la eficacia de la mezcla de aire. Por consiguiente, ese valor será menor cuanto más uniforme sea la distribución de la concentración del contaminante existente en cualquier punto del espacio en cuestión. Ello, a su vez, dependerá de cómo se distribuya el aire dentro del espacio ventilado.

De acuerdo con estos criterios, deberán utilizarse valores mínimos de  $K$  cuando se inyecte aire de manera que éste se reparta uniformemente, por ejemplo, utilizando una cámara de sobrepresión) y cuando la inyección y extracción del aire se realicen en extremos opuestos del espacio dado. Por otra parte, deberán utilizarse mayores valores de  $K$  cuando el aire se suministre de manera puntual y se extraiga en puntos cercanos a la entrada de aire fresco (véase la Figura 45.4).

Figura 45.4 • Esquema de circulación del aire en una habitación con dos aberturas de suministro.



Fuente: Batwin 1972.

Hay que subrayar que cuando se inyecta aire en un espacio determinado (especialmente si se hace a alta velocidad), la corriente de aire así creada ejerce una fuerza considerable sobre el aire circundante. A continuación, el aire se mezcla con la corriente y reduce su velocidad, creando además una turbulencia cuantificable. En consecuencia, este proceso hace que el aire ya presente en el recinto se mezcle impetuosamente con el aire fresco inyectado, generando corrientes de aire internas. Predecir estas corrientes, incluso en términos generales, requiere una gran dosis de experiencia (véase la Figura 45.5).

A fin de evitar los problemas que provocaría que los trabajadores se vieran sometidos a corrientes de aire a velocidades relativamente altas, el aire suele inyectarse por medio de rejillas difusoras diseñadas para facilitar la rápida mezcla del aire fresco con el aire ya presente en el recinto. Así se consigue que las zonas en las que el aire se mueve a alta velocidad tengan la menor extensión posible.

Tales corrientes no se producen en las proximidades de los puntos de evacuación o extracción del aire a través de puertas, ventanas, extractores u otras aberturas. El aire llega a las rejillas de extracción desde todas las direcciones, de modo que, incluso a una distancia relativamente corta de las mismas, el movimiento del aire no se percibe fácilmente como corriente de aire.

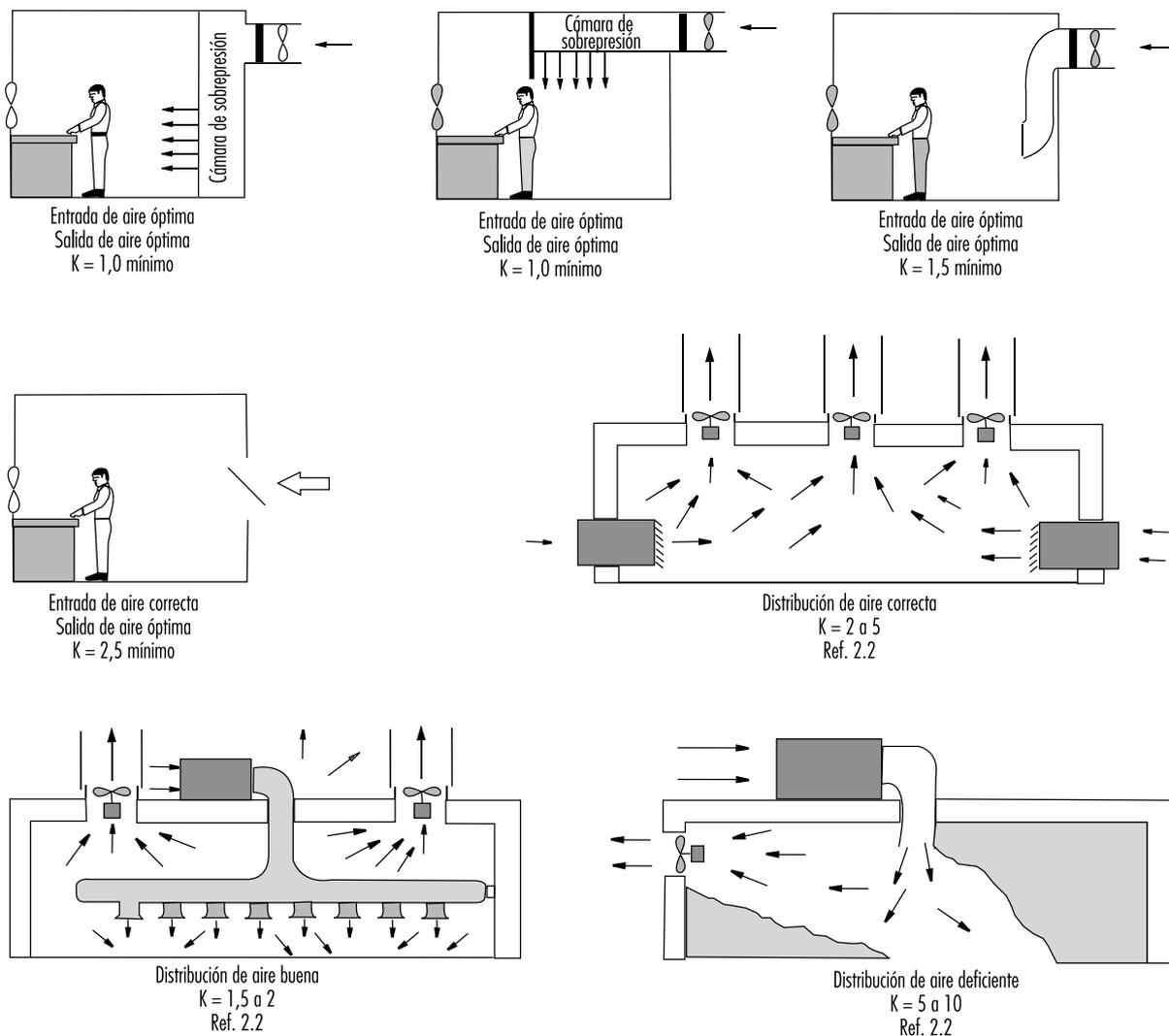
En cualquier caso, cuando de lo que se trata es de la distribución del aire, es importante situar los puestos de trabajo, en la medida de lo posible, de manera que el aire fresco llegue a los trabajadores antes que a las fuentes de contaminación.

Si existen fuentes importantes de calor en el recinto, el movimiento de aire vendrá condicionado en gran medida por las corrientes de convección provocadas por las diferencias de densidad entre el aire frío, más denso, y el aire caliente, más ligero. En espacios de este tipo, el diseñador de la distribución del aire ha de tener presente la existencia de tales fuentes de calor, o el movimiento de aire podría ser muy diferente del previsto.

Por otra parte, la presencia de contaminación química no altera la densidad del aire de manera cuantificable. Aunque los contaminantes en su estado puro pueden tener una densidad muy diferente de la del aire (normalmente mucho mayor), dadas las concentraciones reales en el lugar de trabajo, la mezcla de aire y contaminante no tiene una densidad significativamente diferente a la del aire puro.

Además, es preciso señalar que uno de los errores más habituales que se cometen al aplicar este tipo de ventilación es instalar sólo extractores de aire en el recinto, sin prever entradas de aire adecuadas. Así se disminuye la eficacia de los ventiladores de extracción y, por consiguiente, las velocidades reales de

Figura 45.5 • Factores K recomendados para ubicar entradas y salidas de aire.



Los valores de K (factor de seguridad aquí utilizado) únicamente tienen en cuenta las entradas y salidas de extracción de aire, y son sólo orientativos. En la ecuación debe emplearse el valor correcto de K, el cual se determinará teniendo en cuenta lo siguiente: a) el número y la situación de los trabajadores, b) las fuentes de contaminación y c) la toxicidad de los contaminantes.  
Ref. Z.Z: Norma AFOSH 161.2 de las Fuerzas Aéreas.

Fuente: ACGIH 1992.

extracción de aire son muy inferiores a las previstas. En consecuencia, el contaminante se encuentra en concentraciones ambientales superiores a las calculadas inicialmente.

Para evitar este problema, es preciso estudiar de qué modo se introducirá el aire en el espacio en cuestión. Lo recomendable es utilizar ventiladores de introducción además de ventiladores de extracción. Normalmente, la velocidad de extracción debe ser superior a la de introducción a fin de tener en cuenta la infiltración por ventanas y otras aberturas. Además, conviene mantener dicho espacio bajo una presión ligeramente negativa para evitar el arrastre de contaminantes a zonas no contaminadas.

### La ventilación por desplazamiento

Como ya se ha mencionado, lo que se pretende con la ventilación por desplazamiento es minimizar la mezcla de aire fresco con el aire ya existente en el recinto así como ajustar el sistema al

modelo conocido como "flujo pistón", lo que suele hacerse introduciendo aire lentamente y a poca altura y extrayéndolo cerca del techo. Tiene dos ventajas en comparación con la ventilación por dilución.

En primer lugar, permite reducir la velocidad de renovación del aire, porque la contaminación se concentra cerca del techo, donde no hay trabajadores que lo respiren. La concentración *media* será entonces superior al valor  $c_{lim}$  antes mencionado, pero eso no implica un mayor riesgo para los trabajadores, porque en la zona ocupada del espacio en cuestión, la concentración del contaminante será igual o menor que  $c_{lim}$ .

Además, cuando el objetivo de la ventilación es el control del ambiente térmico, la ventilación por desplazamiento permite introducir aire más caliente de lo que sería necesario en un sistema de ventilación por dilución. La razón está en que el aire caliente se extrae a una temperatura superior en varios grados a

la temperatura existente en la zona ocupada del espacio en cuestión.

Los principios fundamentales de la ventilación por desplazamiento se deben a Sandberg, quien a principios del decenio de 1980 elaboró su teoría general para el análisis de las situaciones en las que haya concentraciones desiguales de contaminantes en espacios cerrados. Así se superaron las limitaciones teóricas de la ventilación por dilución (que presupone una concentración uniforme en todo el espacio dado) y se abrió el camino a las aplicaciones prácticas (Sandberg 1981).

Aunque la ventilación por desplazamiento se utiliza mucho en algunos países, especialmente en Escandinavia, se han publicado muy pocos estudios que comparen la eficacia de los diferentes métodos en instalaciones reales. Ello se debe, sin duda, a las dificultades prácticas que presenta la instalación de dos sistemas de ventilación diferentes en una fábrica y a que el análisis experimental de estos tipos de sistemas requiere el uso de localizadores. La localización se realiza agregando un gas localizador a la corriente de aire de ventilación y cuantificando después las concentraciones del gas en diferentes puntos del recinto y en el aire extraído. A partir de esta clase de examen puede deducirse cómo se distribuye el aire en el interior del recinto y comparar después la eficacia de los diferentes sistemas de ventilación.

Los pocos estudios disponibles que se han realizado en instalaciones reales no son concluyentes, excepto por lo que respecta al hecho de que los sistemas que emplean ventilación por desplazamiento renuevan mejor el aire. Sin embargo, en estos estudios suelen expresarse reservas acerca de los resultados en cuanto que no han sido confirmados por mediciones del nivel de contaminación ambiental en los puestos de trabajo.

## ● CRITERIOS DE VENTILACION PARA EDIFICIOS NO INDUSTRIALES

*A. Hernández Calleja*

Una de las funciones principales de un edificio en el que se realizan actividades no industriales (oficinas, colegios, viviendas, etc.) es proporcionar a los ocupantes un ambiente saludable y confortable para trabajar. La calidad de este ambiente depende, en gran medida, del correcto diseño, mantenimiento y funcionamiento de los sistemas de ventilación y climatización del edificio.

Por consiguiente, estos sistemas deben crear condiciones térmicas aceptables (temperatura y humedad) y una calidad del aire interior también aceptable. En otras palabras: conseguir una mezcla adecuada de aire exterior con aire interior y emplear sistemas de filtrado y depuración capaces de eliminar los contaminantes del ambiente interior.

La idea de que el bienestar en espacios interiores requiere el uso de aire limpio del exterior se ha venido expresando desde el siglo XVIII. Benjamin Franklin reconoció que el aire de una habitación es más sano si se puede ventilar de manera natural, abriendo ventanas. La idea de que suministrando grandes cantidades de aire exterior contribuía a reducir el riesgo de contagio de enfermedades como la tuberculosis ganó credibilidad en el siglo XIX.

Los estudios realizados durante el decenio de 1930 demostraron que, a fin de diluir los efluvios biológicos humanos en concentraciones que no causaran malestar a causa de los olores, el volumen de aire fresco exterior necesario en una habitación varía entre 17 y 30 metros cúbicos por hora y por ocupante.

La Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento del Aire (ASHRAE) recomendaba, en su norma nº 62 del año 1973, un flujo mínimo de

34 metros cúbicos de aire exterior por hora y por ocupante para controlar los olores. Se recomendaba un mínimo absoluto de 8,5 m<sup>3</sup>/hora/ocupante para evitar que el dióxido de carbono supere las 2.500 ppm, que es la mitad del límite de exposición establecido para ambientes industriales.

En el año 1975 esta misma organización adoptó el citado mínimo absoluto en su norma nº 90 —en mitad de una crisis energética—, dejando temporalmente a un lado la necesidad de mayores flujos de ventilación para diluir contaminantes, como el humo del tabaco, los efluvios biológicos, etcétera.

En su norma nº 62 (1981), ASHRAE rectificó esta omisión y estableció su recomendación en 34 m<sup>3</sup>/hora/ocupante para zonas de fumadores y en 8,5 m<sup>3</sup>/hora/ocupante para zonas de no fumadores.

La última norma publicada por ASHRAE, también con el nº 62 (1989), establece un mínimo de 25,5 m<sup>3</sup>/hora/ocupante para espacios interiores ocupados, con independencia de si se permite fumar o no. También recomienda aumentar este valor si el aire introducido en el edificio no se mezcla adecuadamente en la zona de respiración o si existen fuentes de contaminación inusuales en el edificio.

En 1992, la Comisión de las Comunidades Europeas editó la publicación *Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings* (Directrices para calcular las necesidades de ventilación en edificios). En contraste con las recomendaciones existentes para normas de ventilación, esta guía no especifica volúmenes de ventilación previstos para un espacio determinado; en su lugar, da recomendaciones de cálculo en función de la calidad deseada del aire interior.

Las normas existentes prescriben unos volúmenes de ventilación predeterminados que deberán suministrarse por ocupante. Las tendencias que evidencian las nuevas directrices demuestran que los cálculos de volúmenes no garantizan por sí solos una buena calidad del aire interior en todos los ámbitos. Hay tres razones fundamentales.

En primer lugar, presuponen que los ocupantes son las únicas fuentes de contaminación. En estudios recientes se ha demostrado que es preciso tener en cuenta otras fuentes de contaminación, como el mobiliario, las tapicerías y el propio sistema de ventilación. La segunda razón es que estas normas recomiendan la misma cantidad de aire exterior con independencia de la calidad del aire que se introduce en el edificio. Y la tercera razón es que no definen claramente la calidad que debe tener el aire en el interior del recinto. Por consiguiente, lo que se propone es que en el futuro las normas de ventilación se basen en las tres premisas siguientes: la elección de una categoría definida de calidad del aire para el espacio que se va a ventilar, la carga total de contaminantes en el espacio ocupado y la calidad del aire exterior disponible.

### La calidad percibida del aire

La calidad del aire interior puede definirse como el grado de satisfacción de las exigencias y necesidades del ser humano. Básicamente, los ocupantes de un espacio exigen dos cosas con respecto al aire que respiran: percibirlo como aire fresco y no viciado, estancado o irritante; y saber que los efectos perjudiciales para la salud que pueden derivarse de respirar ese aire son despreciables.

Es habitual pensar que el grado de calidad del aire en un espacio determinado depende más de los componentes de ese aire que de la repercusión que tiene en los ocupantes. Por tanto, parece fácil evaluar la calidad del aire, ya que se asume que a partir de su composición es posible conocer su calidad. Es un método de evaluación de la calidad del aire que funciona bien en ámbitos industriales, donde hallamos compuestos químicos que se utilizan en el proceso de producción o se derivan del

mismo y donde existen aparatos de medición y criterios de referencia para valorar las concentraciones. Ahora bien, no sirve para ambientes no industriales, que son lugares donde puede haber miles de sustancias químicas, pero a concentraciones muy bajas, quizá mil veces inferiores a los límites de exposición recomendados; la evaluación de estas sustancias una por una daría lugar a una falsa valoración de la calidad de ese aire y probablemente se juzgaría alta. Pero falta aún un aspecto, y es que no se conoce el efecto conjunto de esos miles de sustancias en los seres humanos, razón por la que se percibe el aire como viciado, estancado o irritante.

La conclusión a la que se ha llegado es que los métodos tradicionales utilizados en la higiene industrial no están bien adaptados para definir el grado de calidad que percibirán los seres humanos que hayan de respirar el aire evaluado. La alternativa a los análisis químicos es utilizar personas como dispositivos de medición para cuantificar la contaminación del aire, empleando jurados para realizar las evaluaciones.

Los seres humanos perciben la calidad del aire con dos sentidos: el olfativo, situado en la cavidad nasal y sensible a cientos de miles de sustancias olorosas, y el químico, situado en las membranas mucosas de la nariz y los ojos, que es sensible a un número parecido de sustancias irritantes presentes en el aire. Es la respuesta conjunta de ambos sentidos la que determina cómo se percibe el aire y la que permite que el sujeto juzgue si su calidad es aceptable.

**La unidad olf**

Un *olf* (del latín = *olfactus*) es la tasa de contaminantes al aire (bioefluentes) que emite una persona normal, entendiendo por persona normal un adulto de edad media que trabaja en una oficina o en un lugar de trabajo no industrial similar, de forma sedentaria y térmicamente confortable con un nivel de higiene personal de 0,7 baños/día. Se eligió la contaminación de un ser humano para definir el término *olf* por dos razones: la primera es que los efluvios biológicos emitidos por una persona son bien conocidos, y la segunda es que existía mucha información sobre la insatisfacción provocada por tales efluvios.

Cualquier otra fuente de contaminación puede expresarse como el número de personas normales (unidades olf) necesarias para provocar la misma cantidad de insatisfacción que la fuente de contaminación evaluada.

En la Figura 45.6 se representa una curva que define un olf. La curva muestra cómo se percibe la contaminación producida

Figura 45.6 • Curva de definición de la unidad olf.

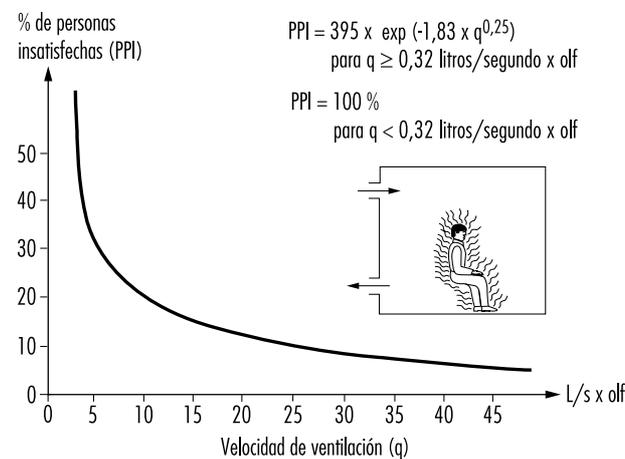
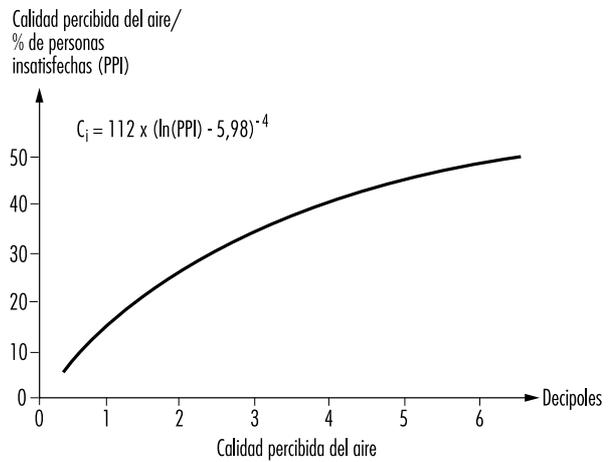


Figura 45.7 • Relación entre la calidad percibida del aire expresada en porcentaje de personas insatisfechas y en decipoles.



por una persona normal (1 olf) a diferentes velocidades de ventilación, y permite calcular el porcentaje de individuos insatisfechos —en otras palabras, los que percibirán que la calidad del aire es inaceptable nada más entrar en la habitación—. La curva se basa en diferentes estudios europeos en los que 168 personas juzgaron la calidad del aire contaminado por más de un millar de personas, tanto hombres como mujeres, consideradas normales. Estudios parecidos realizados en Norteamérica y Japón presentan un alto grado de correlación con los datos europeos.

**La unidad decipol**

La concentración de contaminación en el aire depende de la fuente de contaminación y de su dilución a consecuencia de la ventilación. La contaminación percibida en el aire se define como la concentración de efluvios biológicos humanos que provocarían la misma incomodidad o insatisfacción que la concentración de aire contaminado que se está evaluando. Un *decipol* (del latín *pollutio*) es la contaminación provocada por una persona normal (1 olf) cuando la velocidad de ventilación es de 10 litros de aire no contaminado por segundo, de modo que podemos decir que:

1 decipol = 0,1 olf/(litro/segundo)

En la Figura 45.7, obtenida a partir de los mismos datos que la figura anterior, se presenta la relación entre la calidad percibida del aire expresada en porcentaje de individuos insatisfechos y en decipoles.

Tabla 45.7 • Niveles de calidad del aire en interiores.

Calidad percibida del aire			
Categoría (nivel de calidad)	Porcentaje de individuos insatisfechos	Decipoles	Velocidad de ventilación requerida <sup>1</sup> litros/segundo × olf
A	10	0,6	16
B	20	1,4	7
C	30	2,5	4

<sup>1</sup> Se supone que el aire exterior está limpio y que la eficacia del sistema de ventilación es igual a uno. Fuente: CCE 1992.

Para determinar la velocidad de ventilación necesaria desde el punto de vista del confort, es esencial elegir la calidad del aire que se desea tener en el recinto. En la Tabla 45.7 se proponen tres categorías o niveles de calidad, que se obtienen a partir de las Figuras 45.6 y 45.7. Cada nivel se corresponde con un determinado porcentaje de personas insatisfechas. La elección de uno u otro nivel dependerá, sobre todo, de la utilización del espacio y de cuestiones económicas.

Como ya se ha indicado, los datos son resultado de experimentos realizados con jurados, pero es importante tener en cuenta que algunas de las sustancias presentes en el aire que pueden ser peligrosas (compuestos cancerígenos, microorganismos y sustancias radiactivas, por ejemplo) no son reconocidas por los sentidos, y que los efectos sensoriales de otros contaminantes no guardan relación cuantitativa con su toxicidad.

### Fuentes de contaminación

Como ya se ha dicho, uno de los puntos débiles de las normas de ventilación actuales es que sólo tienen en cuenta a los ocupantes como fuentes de contaminación, mientras que está reconocido que las futuras normas deberán tener en cuenta todas las fuentes de contaminación posibles. Aparte de los ocupantes y sus actividades, incluida la posibilidad de que fumen, existen otras fuentes que contribuyen significativamente a la contaminación del aire, como el mobiliario, las tapicerías y alfombras, los materiales de construcción, los productos utilizados en decoración, los productos de limpieza y el propio sistema de ventilación.

Lo que determina la carga de contaminación del aire en un espacio determinado es la combinación de todas estas fuentes de contaminación. Tal carga puede expresarse como contaminación química o como contaminación sensorial en unidades olf.

Tabla 45.8 • Contaminación originada por los ocupantes de un edificio.

	Carga sensorial olf/ocupante	CO <sub>2</sub> [l/(h × ocupante)]	CO <sup>3</sup> [l/(h × ocupante)]	Vapor de agua <sup>4</sup> [g/(h × ocupante)]
<b>Sedentarios, 1-1,2 met<sup>1</sup></b>				
0 % de fumadores	1	19		50
20 % de fumadores <sup>2</sup>	2	19	11x10 <sup>-3</sup>	50
40 % de fumadores <sup>2</sup>	3	19	21x10 <sup>-3</sup>	50
100 % de fumadores <sup>2</sup>	6	19	53x10 <sup>-3</sup>	50
<b>Ejercicio físico</b>				
Bajo, 3 met	4	50		200
Medio, 6 met	10	100		430
Alto (atlético), 10 met	20	170		750
<b>Niños</b>				
Centro de atención infantil (3-6 años), 2,7 met	1,2	18		90
Colegio (14-16 años), 1,2 met	1,3	19		50

<sup>1</sup>1 met es la tasa metabólica de una persona sedentaria en reposo (1 met = 58 W/m<sup>2</sup> de superficie cutánea). <sup>2</sup>Consumo medio de 1,2 cigarrillos/hora por fumador. Tasa de emisión media, 44 ml de CO por cigarrillo. <sup>3</sup>Del humo del tabaco. <sup>4</sup>Aplicable a personas cercanas a la neutralidad térmica. Fuente: CCE 1992.

Tabla 45.9 • Ejemplos del grado de ocupación de diferentes edificios.

Edificio	Ocupantes/m <sup>2</sup>
Oficinas	0,07
Salas de conferencias	0,5
Teatros, otros grandes espacios de reuniones	1,5
Colegios (aulas)	0,5
Centros de atención infantil	0,5
Viviendas	0,05

Fuente: CCE 1992.

En este último tipo se incluye el efecto de varias sustancias químicas tal como las perciben los seres humanos.

### La carga química

La contaminación que emana de un material determinado puede expresarse como la tasa de emisión de cada sustancia química. La carga total de contaminación química se calcula sumando todas las fuentes y se expresa en microgramos por segundo (µg/s).

En realidad, es difícil calcular la carga de contaminación porque es común disponer de pocos datos sobre las tasas de emisión de muchos materiales habitualmente utilizados.

### La carga sensorial

La carga de contaminación que perciben los sentidos surge de las fuentes de contaminación que afectan a la calidad percibida del aire. El valor dado de esta carga sensorial puede calcularse sumando todos los olf de las diferentes fuentes de contaminación existentes en un espacio determinado. Como en el caso anterior, todavía no se dispone de mucha información sobre los olf por metro cuadrado (olf/m<sup>2</sup>) de muchos materiales. Por esa razón resulta más práctico calcular la carga sensorial de todo el edificio, incluidos los ocupantes, el mobiliario y el sistema de ventilación.

En la Tabla 45.8 se presenta la carga de contaminación en unidades olf creada por los ocupantes del edificio a medida que realizan diferentes tipos de actividades, en función de quienes fuman y quienes no fuman, así como la producción de varios compuestos como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el monóxido de carbono (CO) y el vapor de agua. En la Tabla 45.9 se presentan varios ejemplos de porcentajes de ocupación típicos en diferentes tipos de espacios. Y por último, en la Tabla 45.10 se exponen los resultados de la carga sensorial —medida en olf por metro cuadrado— presente en diferentes edificios.

Tabla 45.10 • Contaminación debida al edificio.

	Carga sensorial: olf/m <sup>2</sup>	
	Promedio	Intervalo
Oficinas <sup>1</sup>	0,3	0,02-0,95
Colegios (aulas) <sup>2</sup>	0,3	0,12-0,54
Instalaciones de atención infantil <sup>3</sup>	0,4	0,20-0,74
Teatros <sup>4</sup>	0,5	0,13-1,32
Edificios de baja contaminación <sup>5</sup>		0,05-0,1

<sup>1</sup>Datos obtenidos en 24 oficinas ventiladas mecánicamente. <sup>2</sup>Datos obtenidos en 6 colegios ventilados mecánicamente. <sup>3</sup>Datos obtenidos en 9 centros de atención infantil ventilados mecánicamente. <sup>4</sup>Datos obtenidos en 5 teatros ventilados mecánicamente. <sup>5</sup>Objetivo que deberán alcanzar los edificios nuevos.

Fuente: CCE 1992.

Tabla 45.11 • Niveles de calidad del aire exterior.

	Calidad percibida del aire <sup>1</sup>	Contaminantes ambientales <sup>2</sup>			
		Decipol	CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CO (mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Junto al mar, en las montañas	0	680	0-0,2	2	1
En ciudad, alta calidad	<0,1	700	1-2	5-20	5-20
En ciudad, baja calidad	>0,5	700-800	4-6	50-80	50-100

<sup>1</sup> Los valores de calidad percibida del aire son valores medios diarios. <sup>2</sup> Los valores de contaminantes corresponden a concentraciones medias anuales.

Fuente: CCE 1992.

### Calidad del aire exterior

Otra premisa, que ultima los datos necesarios para la creación de normas de ventilación en el futuro, es la calidad del aire exterior. La publicación *Air Quality Guidelines for Europe* (Directrices de calidad del aire para Europa), editada por la OMS (1987), recoge los valores recomendados de exposición a ciertas sustancias, tanto en espacios interiores como en exteriores.

En la Tabla 45.11 se indican los niveles de calidad percibida del aire exterior, así como las concentraciones de varios contaminantes químicos típicos presentes en exteriores.

Es conveniente tener en cuenta que, en muchos casos, la calidad del aire exterior puede ser peor que los niveles indicados en la tabla o en las directrices de la OMS. Entonces será preciso depurar el aire antes de introducirlo en los espacios ocupados.

### Eficacia de los sistemas de ventilación

Otro factor importante, que afectará al cálculo de las necesidades de ventilación de un espacio determinado, es la eficacia de la ventilación ( $E_v$ ), que se define como la relación entre la concentración de contaminantes en el aire extraído ( $C_e$ ) y la concentración en la zona de respiración ( $C_i$ ).

$$E_v = C_e / C_i$$

La eficacia de la ventilación depende de la distribución del aire y de la ubicación de las fuentes de contaminación en el espacio en cuestión. Si la mezcla de los contaminantes con el aire es completa, la eficacia de la ventilación será igual a uno; si la calidad del aire en la zona de respiración es mejor que la del aire extraído, entonces la eficacia será mayor que uno y se podrá conseguir la calidad deseada del aire con menores velocidades de ventilación. Por otra parte, será necesario aumentar la ventilación si su eficacia es menor que uno, o para decirlo de otro modo, si la calidad del aire en la zona de respiración es inferior a la calidad del aire extraído.

Para calcular la eficacia de la ventilación, resulta útil dividir los espacios en dos zonas: por una de ellas entra el aire y la otra comprende el resto de la habitación. En los sistemas basados en el principio de mezcla, la zona por la que entra el aire suele estar por encima de la zona de respiración y se alcanzan las mejores condiciones cuando la mezcla es tan completa que ambas zonas se convierten en una. En los sistemas de ventilación basados en el principio de desplazamiento, el aire entra en la zona ocupada

por las personas y la zona de extracción suele quedar por encima de las cabezas; en este caso, las mejores condiciones se alcanzan cuando la mezcla entra ambas zonas es mínima.

Por consiguiente, la eficacia de la ventilación depende de la ubicación y las características de los elementos que suministran y extraen el aire y de la ubicación y las características de las fuentes de contaminación. Además, depende también de la temperatura y de los volúmenes de aire suministrados. Es posible calcular la eficacia de un sistema de ventilación por simulación numérica o realizando mediciones. Si no se dispone de datos, pueden utilizarse los valores de la Figura 45.8 para diferentes sistemas de ventilación. Son valores de referencia que tienen en cuenta la repercusión de la distribución del aire, pero no la ubicación de las fuentes de contaminación, ya que suponen que están uniformemente distribuidas por todo el espacio ventilado.

### Cálculo de las necesidades de ventilación

En la Figura 45.9 se presentan las ecuaciones utilizadas para calcular las necesidades de ventilación desde el punto de vista del confort y de la protección de la salud.

#### *Necesidades de ventilación a efectos de confort*

Los primeros pasos para el cálculo de las necesidades a efectos de confort consisten en decidir el nivel de calidad que se desea que tenga el aire en el interior del espacio ventilado (véase la Tabla 45.7), y en calcular la calidad del aire exterior disponible (véase la Tabla 45.11).

El siguiente paso es calcular la carga sensorial, utilizando las Tablas 45.8, 45.9 y 45.10 para seleccionar las cargas en función de los ocupantes y sus actividades, del tipo del edificio y del nivel de ocupación por metro cuadrado de superficie. El valor total se obtiene sumando todos los datos.

En función del principio de funcionamiento del sistema de ventilación y utilizando la Figura 45.8, es posible calcular la eficacia de la ventilación. Aplicando la ecuación (1) de la Figura 45.8 se obtendrá el valor de la cantidad de ventilación necesaria.

Figura 45.8 • Eficacia de la ventilación en la zona de respiración de acuerdo con diferentes principios de ventilación.

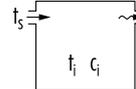
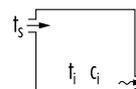
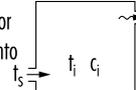
Principio de ventilación	Diferencias de temperatura entre el suministro de aire y la zona de respiración ( $t_s - t_i$ ) en °C	Eficacia del sistema de ventilación
Ventilación por mezcla 	< 0 0-2 2-5 > 5	0,9-1,0 0,9 0,8 0,4-0,7
Ventilación por mezcla 	< -5 0-5 > 0	0,9 0,9-1,0 1,0
Ventilación por desplazamiento 	< 2 0-2 > 0	0,2-0,7 0,7-0,9 1,2-1,4

Figura 45.9 • Ecuaciones para el cálculo de las necesidades de ventilación.

Confort	Salud
(1) $Q_c = 10 \times \frac{G}{C_i - C_o} \times \frac{1}{E_v}$	(2) $Q_H = \frac{G}{C_v - C_o} \times \frac{1}{E_v}$
$Q_c$ = Corriente de aire necesaria para el confort (litros/segundo) $G$ = Carga sensorial total (olf) $C_i$ = Calidad idónea del aire interior (decipoles) $C_o$ = Calidad del aire exterior (entrada) (decipoles)	$Q_c$ = Corriente de aire necesaria para proteger la salud (litros/segundo) $G$ = Concentración de la contaminación química ( $\mu\text{g/s}$ ) $C_v$ = Criterios de evaluación ( $\mu\text{g/l}$ ) $C_o$ = Concentración del compuesto (entrada) ( $\mu\text{g/l}$ ) $E_v$ = Eficacia de la ventilación

### Necesidades de ventilación a efectos de protección de la salud

Con un procedimiento similar al descrito en el apartado anterior, pero utilizando la ecuación (2) de la Figura 45.8, se obtendrá el valor de la corriente de ventilación necesaria para prevenir problemas de salud. Para calcular este valor es necesario identificar la sustancia o el grupo de sustancias químicas críticas que nos propongamos controlar y calcular sus concentraciones en el aire; también es necesario considerar diferentes criterios de evaluación, teniendo en cuenta los efectos del contaminante y la sensibilidad de los ocupantes a los que deseamos proteger —niños o ancianos, por ejemplo—.

Lamentablemente, sigue siendo difícil calcular las necesidades de ventilación a efectos de protección de la salud, debido a la falta de información sobre algunas de las variables que forman parte de los cálculos, como las emisiones de contaminantes ( $G$ ), los criterios de evaluación para espacios interiores ( $C_i$ ) y otras.

Los estudios realizados en este campo demuestran que en los espacios que precisan ventilación para conseguir condiciones confortables, las concentraciones de sustancias químicas son bajas. Ahora bien, esos espacios pueden contener fuentes de contaminación peligrosas. Lo mejor en estos casos es eliminar, sustituir o controlar las fuentes de contaminación en lugar de diluir los contaminantes mediante la ventilación general.

## ● SISTEMAS DE CALEFACCION Y AIRE ACONDICIONADO

*F. Ramos Pérez y J. Guasch Farrás*

Las necesidades de una persona determinada en relación con la calefacción dependerán de muchos factores, que pueden clasificarse en dos grupos principales: los relacionados con el entorno y los relacionados con factores humanos. Entre los primeros podríamos citar la geografía (altitud y latitud), el clima, el tipo de exposición que conlleva el espacio en el que se encuentra la persona, o las barreras que protegen a dicho espacio del ambiente exterior, etc. Entre los segundos se encuentran el consumo de energía por parte del trabajador, el ritmo de trabajo o la cantidad de esfuerzo necesario para realizarlo, la ropa o las prendas utilizadas contra el frío y los gustos o preferencias personales.

La necesidad de calefacción es estacional en muchas regiones, pero esto no significa que pueda prescindirse de la calefacción durante la estación fría. El frío afecta a la salud, al rendimiento físico y mental, a la precisión y, ocasionalmente, puede aumentar el riesgo de accidentes. El objetivo de un sistema de calefacción es mantener condiciones térmicas agradables que eviten o minimicen los efectos perjudiciales para la salud.

Las características fisiológicas del cuerpo humano le permiten soportar grandes variaciones de las condiciones térmicas. Los seres humanos mantienen su equilibrio térmico por medio del hipotálamo, a través de los receptores térmicos de la piel; así la temperatura del cuerpo se mantiene entre 36 y 38 °C, como puede verse en la Figura 45.10.

Los sistemas de calefacción requieren mecanismos de control muy precisos, especialmente en aquellos casos en los que los trabajadores realizan sus tareas sentados o en una posición fija que no estimula la circulación de la sangre hasta sus extremidades. Si el trabajo realizado permite una cierta movilidad, el control del sistema puede ser algo menos preciso. Finalmente, si el trabajo se realiza en condiciones anormalmente adversas, como en cámaras frigoríficas o en condiciones climáticas muy frías, pueden tomarse medidas complementarias de protección, tejidos especiales, regular el tiempo que se pasa en tales condiciones o suministrar calor por medio de sistemas eléctricos incorporados en el atuendo del trabajador.

### Definición y descripción del ambiente térmico

Un requisito exigible a cualquier sistema de calefacción o aire acondicionado que funcione correctamente es que tenga en cuenta el control de las variables que definen el ambiente térmico dentro de límites especificados en cada estación del año. He aquí las variables:

1. la temperatura del aire;
2. la temperatura media de las superficies interiores que delimitan el recinto;
3. la humedad del aire,
4. las velocidades y la uniformidad de las velocidades del aire dentro del recinto

Se ha demostrado que, en recintos en los que la temperatura del aire y la de las paredes coincide, existe una relación muy simple entre la temperatura equivalente para una determinada sensación térmica y las temperaturas del aire y de las superficies de las paredes de un recinto, que proporcionan la misma sensación térmica en una habitación diferente. La relación puede expresarse de la forma siguiente:

$$T_{eat} = \frac{T_{dnt} + T_{ast}}{2}$$

donde

$T_{eat}$  = temperatura equivalente del aire para una sensación térmica dada.

$T_{dnt}$  = temperatura del aire medida con un termómetro seco.

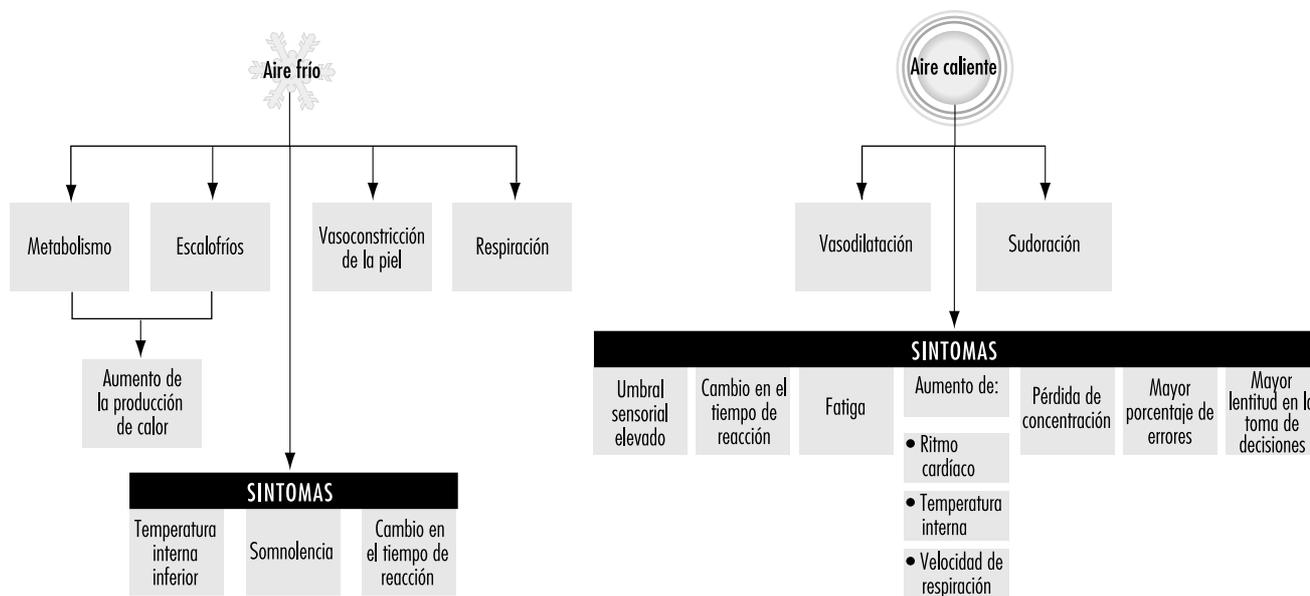
$T_{ast}$  = temperatura media medida en la superficie de las paredes.

Por ejemplo, si el aire y las paredes de un espacio determinado están a 20 °C, la temperatura equivalente será de 20 °C, y la sensación de calor será la misma que en una habitación cuyas paredes estén a una temperatura de 15 °C y el aire a 25 °C, porque esa habitación tendría la misma temperatura equivalente. Desde el punto de vista de la temperatura, la sensación de confort térmico sería la misma.

### Propiedades del aire húmedo

A la hora de planificar un sistema de aire acondicionado, es preciso tener en cuenta tres elementos: el estado termodinámico

Figura 45.10 • Mecanismos termorreguladores en los seres humanos.



del aire en el recinto, del aire exterior y del aire que se suministrará a la habitación. La elección de un sistema capaz de transformar las propiedades termodinámicas del aire suministrado al recinto se basará en las cargas térmicas de cada componente. Así pues, necesitamos conocer las propiedades termodinámicas del aire húmedo, que son las siguientes:

$T_{abt}$  = temperatura del bulbo seco, medida con un termómetro aislado de radiaciones de calor.

$T_{apt}$  = temperatura del punto de rocío, o temperatura a la que el aire seco no saturado alcanza el punto de saturación.

$W$  = relación de humedad que varía desde cero, para el aire seco, hasta  $W_s$ , para el aire saturado, expresado en kg de vapor de agua por kg de aire seco.

$HR$  = humedad relativa.

$t^*$  = temperatura termodinámica del bulbo húmedo.

$v$  = volumen específico del aire y del vapor de agua (expresado en unidades de  $m^3/kg$ ). Es el valor recíproco de la densidad.

$H$  = entalpía, kcal/kg de aire seco con el vapor de agua asociado.

De las variables citadas, sólo tres son directamente cuantificables: la temperatura del bulbo seco, la temperatura del punto de rocío y la humedad relativa. Existe una cuarta variable que puede cuantificarse experimentalmente, y se define como la temperatura del bulbo húmedo. Se obtiene humedeciendo el bulbo de un termómetro y moviéndolo, normalmente con ayuda de una cuerda, a través de aire húmedo no saturado a velocidad moderada. La diferencia entre esta variable y la temperatura termodinámica del bulbo seco es insignificante (un 3 por ciento), de modo que ambas pueden utilizarse para el cálculo sin dar lugar a un error excesivo.

### Diagrama psicrométrico

Las propiedades definidas en la sección anterior tienen una relación funcional y pueden representarse de forma gráfica en un diagrama psicrométrico, que es un gráfico simplificado obtenido a partir de las tablas de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento del Aire (ASHRAE). Las coordenadas del diagrama representan la

entalpía y el grado de humedad; las líneas dibujadas representan las temperaturas de termómetro seco y húmedo, la humedad relativa y el volumen específico. Conociendo dos de las variables antes citadas es posible obtener todas las propiedades del aire húmedo a partir de este diagrama.

### Condiciones de confort térmico

El confort térmico se define como un estado mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico y en él influyen factores físicos y fisiológicos.

Resulta difícil prescribir condiciones generales que deban cumplirse para proporcionar confort térmico, porque las condiciones son diferentes según la situación de trabajo; incluso podrían ser necesarias diferentes condiciones para un mismo puesto de trabajo ocupado por diferentes personas. No es posible aplicar una norma técnica de condiciones térmicas necesarias para el confort en todos los países, debido a las diferentes condiciones climáticas y a las diferentes costumbres que rigen la forma de vestir.

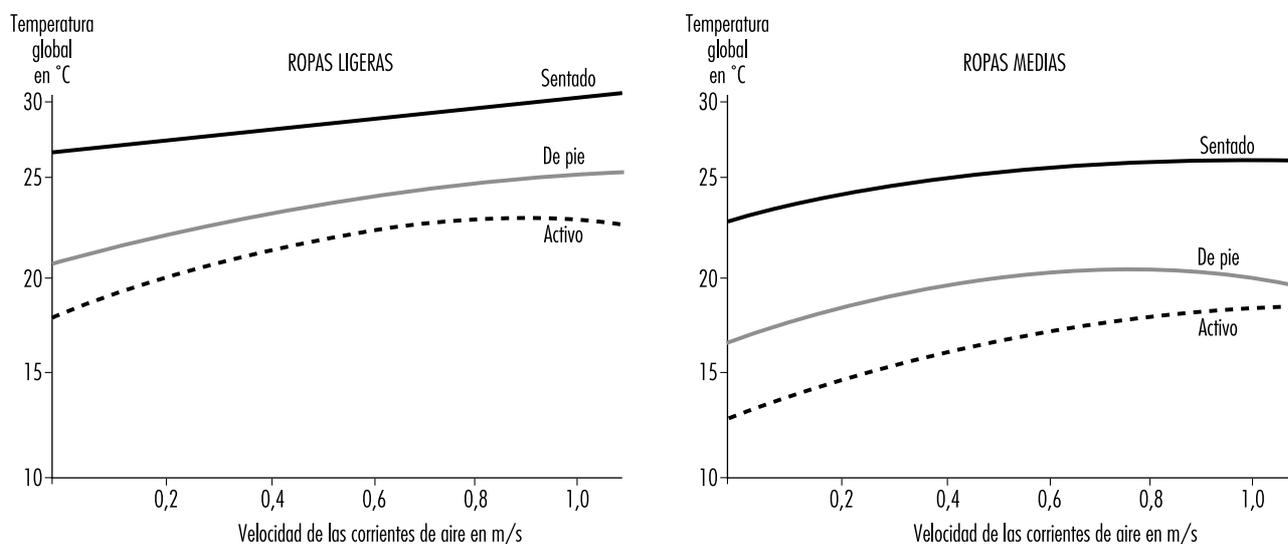
Se han llevado a cabo estudios con trabajadores que realizan trabajos manuales ligeros, estableciendo una serie de criterios de temperatura, velocidad y humedad, presentados en la Tabla 45.12 (Bedford y Chrenko 1974).

Los factores citados están interrelacionados, por lo que se precisa una temperatura del aire inferior si existe una alta radiación térmica, y una temperatura superior si la velocidad del aire también es más alta.

Tabla 45.12 • Normas propuestas para factores ambientales.

Factor ambiental	Norma propuesta
Temperatura del aire	21 °C
Temperatura radiante media	≥ 21 °C
Humedad relativa	30–70%
Velocidad del aire	0,05–0,1 metros/segundo
Gradiente de temperatura (de la cabeza a los pies)	≤ 2,5 °C

Figura 45.11 • Zonas de confort basadas en mediciones limitadas a la temperatura global y a la velocidad de las corrientes de aire.



Fuente: OIT 1983.

Por lo común, será preciso realizar las correcciones siguientes: Se aumentará la temperatura del aire:

- si el aire fluye a alta velocidad;
- en situaciones de trabajo sedentario;
- si la ropa utilizada es ligera,
- cuando las personas deban aclimatarse a altas temperaturas interiores.

Se disminuirá la temperatura del aire:

- si se realizan trabajos manuales pesados,
- cuando se utilice ropa de abrigo.

Para conseguir una sensación de confort térmico, la situación más aconsejable será aquella en la que la temperatura ambiental sea ligeramente superior a la del aire, y en la que el flujo de energía térmica radiante sea el mismo en todas las direcciones y no sea excesivo por encima de la cabeza. Deberá minimizarse el aumento de la temperatura en altura, manteniendo los pies calientes sin crear una carga térmica excesiva por encima de la cabeza. Un factor importante que afecta a la sensación de confort térmico es la velocidad del aire. Existen diagramas que ofrecen velocidades recomendadas del aire en función de la actividad realizada y del tipo de ropa utilizado (véase la Figura 45.11).

En algunos países existen normas que especifican las temperaturas ambientales mínimas, pero todavía no se han establecido valores óptimos. Normalmente, el máximo valor indicado de temperatura del aire es de 20 °C. Con las recientes mejoras técnicas, ha aumentado la complejidad de la valoración del confort térmico. Han aparecido muchos índices, incluido el de temperatura efectiva (ET, Effective Temperature) y el índice de temperatura efectiva corregida (CET, Corrected Effective Temperature); el índice de sobrecarga calórica; el índice de estrés por calor (HSI, Heat Stress Index); la temperatura del globo del bulbo húmedo (WBGT, Wet Bulb Globe Temperature); y el índice Fanger de valores medios (IMV, Index of Median Values), entre otros. El índice WBGT nos permite determinar los intervalos de descanso necesarios en función de la intensidad del trabajo realizado para evitar el estrés térmico

en las condiciones de trabajo. De ello se trata con más detalle en el capítulo 42, *Calor y frío*.

#### **Zona de confort térmico en un diagrama psicrométrico**

La zona del diagrama psicrométrico correspondiente a las condiciones en las que un adulto percibe el confort térmico ha sido estudiado atentamente y definido en la norma de la ASHRAE a partir de la temperatura efectiva o temperatura medida con un termómetro seco en un recinto uniforme con un 50 por ciento de humedad relativa. En este recinto las personas tendrían el mismo intercambio de calor por energía radiante, convección y evaporación que tendrían con el nivel de humedad en el ambiente local dado. La ASHRAE define la escala de temperatura efectiva para un nivel de ropa de 0,6 clo (unidad de aislamiento; 1 clo corresponde al aislamiento que proporciona un conjunto de prendas normal), lo que supone un nivel de aislamiento térmico de 0,155 K m<sup>2</sup>W<sup>-1</sup>, donde K es el intercambio de calor por conducción medido en vatios por metro cuadrado (W m<sup>-2</sup>) para un movimiento de aire de 0,2 m s<sup>-1</sup> (en reposo), para un tiempo de exposición de una hora, en una actividad sedentaria elegida de 1 met (unidad metabólica = 50 Kcal/m<sup>2</sup>h). En la Figura 45.11 puede verse esta zona de confort y utilizarse en ambientes térmicos donde la temperatura del calor radiante sea aproximadamente igual a la temperatura medida con un termómetro seco y donde la velocidad del aire sea inferior a 0,2 m s<sup>-1</sup> para personas vestidas con ropa ligera y que realicen actividades sedentarias.

#### **Fórmula de confort: el método de Fanger**

El método desarrollado por P. O. Fanger se basa en una fórmula que relaciona variables de temperatura ambiente, temperatura radiante media, velocidad relativa del aire, presión del vapor de agua en el aire ambiental, nivel de actividad y resistencia térmica de la ropa. En la Tabla 45.13 se presenta un ejemplo obtenido con la fórmula del confort que puede utilizarse en aplicaciones prácticas para obtener una temperatura confortable en función de la ropa, de la tasa metabólica de la actividad realizada y de la velocidad del aire.

Tabla 45.13 • Temperaturas de confort térmico (°C) con una humedad relativa del 50% (a partir de la fórmula de P. O. Fanger).

Metabolismo (vatios)	105			
Temperatura radiante	clo	20 °C	25 °C	30 °C
Ropa (clo)				
0,5 V <sub>a</sub> / (m.sg <sup>-1</sup> )	0,2	30,7	27,5	24,3
	0,5	30,5	29,0	27,0
	1,5	30,6	29,5	28,3
Ropa (clo)				
0,5 V <sub>a</sub> / (m.sg <sup>-1</sup> )	0,2	26,0	23,0	20,0
	0,5	26,7	24,3	22,7
	1,5	27,0	25,7	24,5
Metabolismo (vatios)	157			
Temperatura radiante	clo	20 °C	25 °C	30 °C
Ropa (clo)				
0,5 V <sub>a</sub> / (m.sg <sup>-1</sup> )	0,2	21,0	17,1	14,0
	0,5	23,0	20,7	18,3
	1,5	23,5	23,3	22,0
Ropa (clo)				
0,5 V <sub>a</sub> / (m.sg <sup>-1</sup> )	0,2	13,3	10,0	6,5
	0,5	16,0	14,0	11,5
	1,5	18,3	17,0	15,7
Metabolismo (vatios)	210			
Temperatura radiante	clo	20 °C	25 °C	30 °C
Ropa (clo)				
0,5 V <sub>a</sub> / (m.sg <sup>-1</sup> )	0,2	11,0	8,0	4,0
	0,5	15,0	13,0	7,4
	1,5	18,3	17,0	16,0
Ropa (clo)				
0,5 V <sub>a</sub> / (m.sg <sup>-1</sup> )	0,2	-7,0	/	/
	0,5	-1,5	-3,0	/
	1,5	-5,0	2,0	1,0

### Sistemas de calefacción

El diseño de cualquier sistema de calefacción debe estar directamente relacionado con el trabajo que se va a realizar y con las características del edificio en el que se instalará. En los edificios industriales es difícil encontrar proyectos en los que se tengan en cuenta las necesidades de calefacción de los trabajadores, a menudo porque aún están sin definir los procesos y los puestos de trabajo. Normalmente, los sistemas se diseñan con un criterio muy abierto, contemplando sólo las cargas térmicas que existirán en el edificio y la cantidad de calor que es preciso suministrar para mantener una temperatura determinada en el edificio, sin tener en cuenta la distribución del calor, la situación de los puestos de trabajo ni otros factores parecidos de carácter menos general. Tales deficiencias en el diseño de ciertos edificios se traducen en carencias, como puntos fríos, corrientes de aire, un número insuficiente de elementos de calefacción y otros problemas.

Para conseguir un buen sistema de calefacción en la planificación de un edificio, se indican a continuación algunas de las cosas que será preciso tener en cuenta:

- La correcta colocación del aislamiento para ahorrar energía y para minimizar los gradientes de temperatura en el edificio.
- La máxima reducción de la infiltración de aire frío en el edificio para minimizar las variaciones de temperatura en las áreas de trabajo.
- El control de la contaminación del aire por medio de sistemas de extracción localizada y de ventilación por desplazamiento o difusión.
- El control de las emisiones de calor procedentes de los procesos utilizados en el edificio y su distribución en las áreas ocupadas del edificio.

Si la calefacción se suministra por medio de quemadores sin chimeneas de escape, será preciso prestar especial atención a la inhalación de los productos de la combustión. Por lo común, cuando los materiales combustibles son petróleo, gas o carbón de calefacción, producen dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y otros productos de combustión. Existen límites a la exposición del ser humano a estos compuestos que es preciso controlar, en particular en espacios cerrados donde puede aumentar rápidamente la concentración de esos gases cuando disminuye la eficacia de la reacción de combustión.

Planificar un sistema de calefacción supone siempre conseguir el equilibrio entre varias cuestiones, como un bajo coste inicial, la flexibilidad del servicio, la eficacia energética y la aplicabilidad. Por consiguiente, el consumo de electricidad durante las horas en que sea más económico, por ejemplo, podría rentabilizar el uso de calefactores eléctricos. Otra opción sería utilizar sistemas químicos de almacenamiento de calor que puedan utilizarse después durante las horas punta de demanda (utilizando sulfato sódico, por ejemplo). Asimismo es posible estudiar la instalación conjunta de varios sistemas diferentes que funcionen de modo que se optimicen los costes.

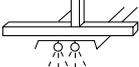
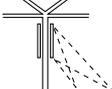
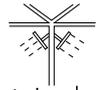
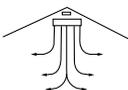
La instalación de calefactores capaces de utilizar gas o petróleo de calefacción es especialmente interesante. El uso directo de electricidad implica un consumo de energía de primera clase que puede resultar cara en muchos casos, pero que puede aportar la flexibilidad necesaria en ciertas circunstancias. Las bombas de calor y otros sistemas de cogeneración que aprovechan el calor residual, pueden aportar soluciones muy ventajosas desde el punto de vista financiero. El problema de estos sistemas es su alto coste inicial.

Hoy en día la tendencia en el ámbito de los sistemas de calefacción y aire acondicionado es conseguir un funcionamiento óptimo ahorrando energía. Por consiguiente, los nuevos sistemas tienen sensores y controles distribuidos por los espacios que se van a calentar, con lo que se suministra calor sólo durante los tiempos necesarios para lograr confort térmico. Tales sistemas pueden ahorrar hasta un 30 % de los costes energéticos de la calefacción. En la Figura 45.12 se ilustran algunos sistemas de calefacción, con sus ventajas y sus inconvenientes.

### Sistemas de aire acondicionado

La experiencia demuestra que los ambientes industriales próximos a la zona de confort durante los meses de verano aumentan la productividad, tienden a registrar un menor número de accidentes, tienen un menor índice de absentismo y, en general, contribuyen a mejorar las relaciones humanas. En el caso de los establecimientos de venta al por menor, los hospitales y los edificios con grandes superficies, la finalidad del aire acondicionado suele ser proporcionar confort térmico cuando las condiciones exteriores así lo requieren.

Figura 45.12 • Características de los sistemas de calefacción más utilizados en los lugares de trabajo.

SISTEMA	CARACTERÍSTICAS											
	Características positivas (ventajas) <b>+</b>				Características negativas (inconvenientes) <b>-</b>			Características neutras <b>○</b>		Características variables <b>?</b>		
Los sistemas de calefacción mencionados aquí son típicos de ambientes industriales. La calefacción de suelo, los radiadores convencionales y los sistemas de aire acondicionado son más apropiados para trabajo sedentario en oficinas o en algunas zonas donde se realizan trabajos ligeros de montaje.	Bajo coste inicial	Bajo coste de mantenimiento	Superficie libre en el suelo	Respuesta rápida	Requiere un sistema de vapor o agua caliente	Bajo mantenimiento	No hay corrientes de aire	Bajo gradiente de temperatura	Calienta la zona uniformemente	Puede mover el aire durante el verano	Puede calentar el aire fresco que entra	Puede utilizarse para una zona o área local
<b>Calefactores radiantes</b>												
 Banda radiante montada sobre vigas o jácenas	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-
 Panel vertical montado sobre soportes verticales	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	○
 Calefactor incandescente eléctrico o de gas	+	○	+	+	-	○	+	?	-	-	-	+
<b>Calefactores por convección (simples)</b>												
 Calefactor de descarga vertical montado en el punto más alto	○	-	+	+	+	○	○	+	+	+	+	○
 Calefactor de descarga horizontal montado sobre vigas	○	-	+	+	+	○	-	-	-	+	+	+
 Descarga horizontal montada en el suelo	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	?	+

Fuente: OIT 1983.

En ciertos ambientes industriales cuyas condiciones externas son muy duras, el objetivo de los sistemas de calefacción es proporcionar calor suficiente para evitar posibles efectos perjudiciales para la salud, más que para conseguir un ambiente térmico confortable. Factores que requieren una atención especial son el mantenimiento y el uso apropiados del equipo de aire acondicionado, en particular si está provisto de humidificadores, ya que pueden convertirse en fuentes de contaminación microbiana, con los riesgos que estos contaminantes tienen para la salud del ser humano.

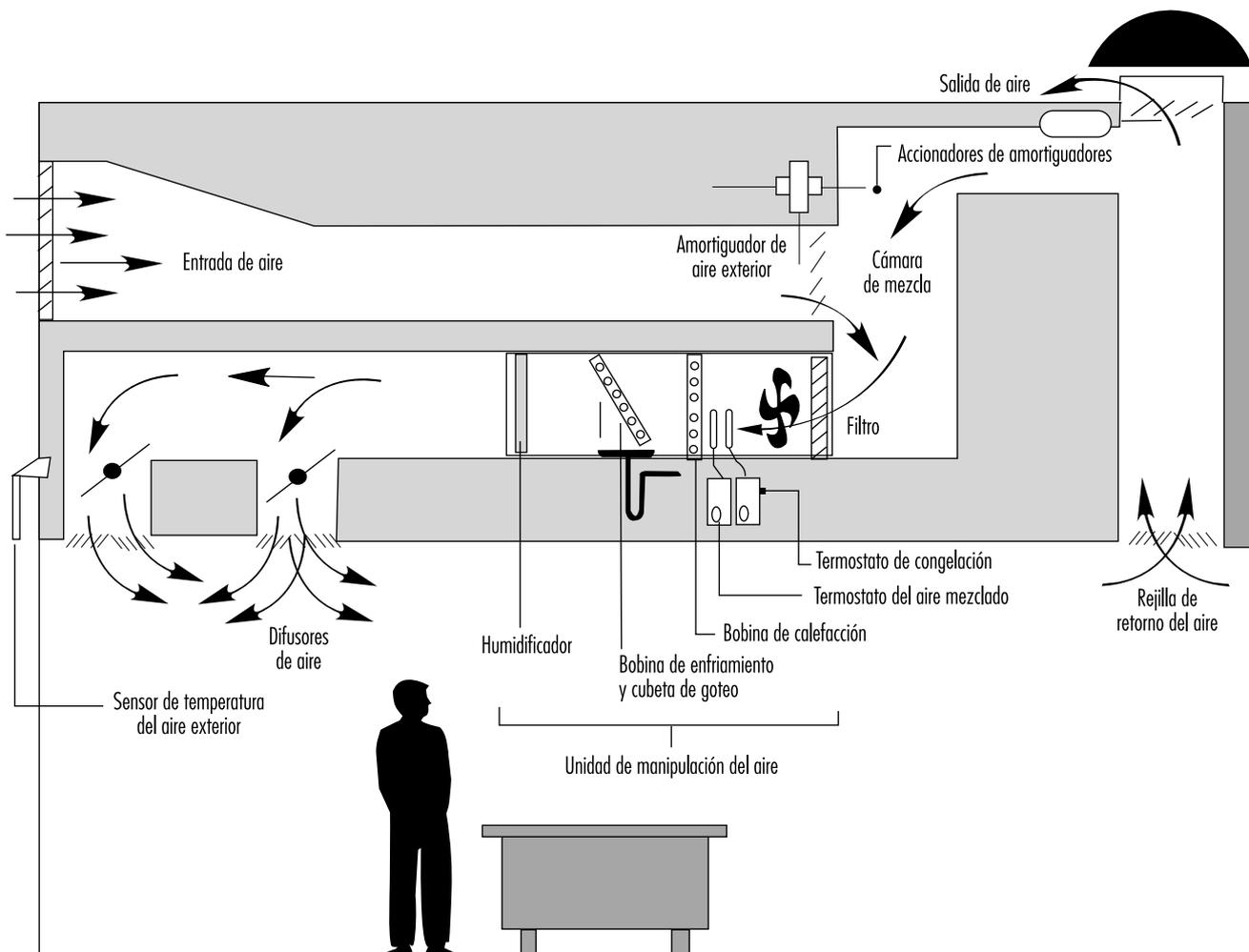
Actualmente, los sistemas de ventilación y climatización tienden a cubrir, conjuntamente y a menudo utilizando la

misma instalación, las necesidades de calefacción, refrigeración y acondicionamiento del aire de un edificio. Para los sistemas de refrigeración pueden utilizarse múltiples clasificaciones.

Según la configuración del sistema, pueden clasificarse de la manera siguiente:

- Unidades herméticamente selladas, con fluido refrigerante instalado en fábrica, que pueden abrirse y recargarse en un taller de reparación. Son las unidades de aire acondicionado utilizadas normalmente en oficinas, viviendas y similares.
- Unidades semiherméticas de tamaño medio, hechas en fábrica, de mayor tamaño que las unidades domésticas y que pueden repararse a través de aberturas diseñadas a tal efecto.

Figura 45.13 • Esquema simplificado de un sistema de aire acondicionado.



Fuente: NIOSH 1991.

- Sistemas segmentados para almacenes y grandes superficies, que constan de piezas y componentes claramente diferenciados y físicamente separados (el compresor y el condensador están físicamente separados del evaporador y de la válvula de expansión). Se utilizan en grandes edificios de oficinas, hoteles, hospitales, grandes fábricas y edificios industriales.

En función de su cobertura, pueden clasificarse del modo siguiente:

- Sistemas para una sola zona: una unidad de tratamiento del aire sirve a varias habitaciones del mismo edificio, que tienen parecidas necesidades de calefacción, refrigeración y ventilación y que se regulan con un mando común (un termostato o dispositivo similar). Los sistemas de este tipo pueden acabar siendo inadecuados para proporcionar un nivel de confort adecuado para cada habitación si en el plan de diseño no se han tenido en cuenta las diferentes cargas térmicas de las habitaciones de la misma zona. Por ejemplo, si aumenta la ocupación de una habitación o si se añade iluminación u otras fuentes de calor, como ordenadores o máquinas fotocopiadoras, no previstas durante el diseño original del sistema. También puede sentirse incomodidad por los cambios
- estacionales de la cantidad de radiación solar recibida por una habitación o incluso por los cambios de una habitación a otra durante la jornada.
- Sistemas para zonas múltiples: los sistemas de este tipo pueden suministrar aire a diferente temperatura y humedad a diferentes zonas, calentando, enfriando, humidificando o deshumidificando el aire de cada zona y variando el flujo de aire. Son sistemas que, aunque tengan en general una unidad de enfriamiento común y centralizada (compresor, evaporador, etc.), están equipados con diversos elementos, como dispositivos de control del flujo de aire, bobinas de calefacción y humidificadores. Son capaces de regular las condiciones de una habitación a partir de cargas térmicas específicas, que detectan por medio de sensores distribuidos en las habitaciones por toda su área de influencia.

En función del flujo de aire que estos sistemas bombean al interior del edificio, se clasifican de la manera siguiente:

- Volumen constante (CV, Constant Volume): estos sistemas bombean un flujo constante de aire a cada habitación. Los cambios de temperatura se efectúan calentando o enfriando el aire. Con frecuencia, estos sistemas mezclan un porcentaje de aire exterior con aire interior reciclado.

- Volumen variable (VAV, Variable Air Volume): estos sistemas mantienen el confort térmico variando la cantidad de aire calentado o enfriado que suministran a cada recinto. Aunque funcionen principalmente por el principio de mezcla, también pueden combinarse con sistemas que cambien la temperatura del aire que introducen en la habitación.

Los problemas más frecuentes de estos tipos de sistemas son el exceso de calor o frío si el sistema no se regula para que responda a las variaciones de las cargas térmicas, o una falta de ventilación si el sistema no introduce una cantidad mínima de aire exterior para renovar el aire interior circulante. Con ello se crean ambientes interiores estancados en los que se deteriora la calidad del aire.

Los elementos básicos de todos los sistemas de aire acondicionado son (véase también la Figura 45.13):

- Unidades que retienen la materia sólida, habitualmente bolsas filtrantes o precipitadores electrostáticos.
- Unidades de calentamiento o enfriamiento del aire: en ellas se intercambia calor por intercambio térmico con agua fría o líquidos refrigerantes, por ventilación forzada en verano y por calefacción con bobinas eléctricas o por combustión en invierno.
- Unidades para controlar la humedad: en invierno, es posible añadir humedad inyectando directamente vapor de agua o por la evaporación directa del agua; en verano puede eliminarse por medio de bobinas refrigeradas que condensan el exceso de humedad del aire, o por medio de un sistema de agua refrigerada por el que el aire húmedo fluye a través de una cortina de agua de gotas más frías que el punto de rocío del aire húmedo.

## ● EL AIRE EN INTERIORES: IONIZACION

*E. Adán Liébana y J. Guasch Farrás*

La ionización es una de las técnicas utilizadas para eliminar partículas del aire. Los iones actúan como núcleos de condensación para partículas pequeñas que, al aglutinarse, crecen y se precipitan.

La concentración de iones en espacios interiores cerrados es, como norma general y si no hay fuentes de iones adicionales, inferior a la existente en espacios abiertos. De ahí la creencia de que una mayor concentración de iones negativos mejora la calidad del aire en interiores.

Algunos estudios basados en datos epidemiológicos y en investigaciones experimentales planificadas afirman que el aumento de la concentración de iones negativos en ambientes de trabajo mejora la eficacia del trabajador y el ánimo de los empleados, mientras que los iones positivos tienen un efecto perjudicial. Con todo, se han hecho estudios paralelos donde se demuestra que los datos sobre los efectos de la ionización negativa en la productividad de los trabajadores son incoherentes y contradictorios. Por consiguiente, parece que todavía no es posible afirmar inequívocamente que la generación de iones negativos es realmente beneficiosa.

### Ionización natural

Las moléculas individuales de gas en la atmósfera pueden ionizarse negativa o positivamente ganando o perdiendo respectivamente un electrón. Para que esto ocurra, primero es necesario que una molécula determinada adquiera energía suficiente —que habitualmente recibe el nombre de *energía de ionización* de esa molécula en particular—. En la naturaleza existen muchas fuentes de energía, de origen tanto cósmico como terrestre, capaces de producir este fenómeno: la radiación de fondo en la

atmósfera; las ondas solares electromagnéticas (especialmente las ultravioletas), los rayos cósmicos, la atomización de líquidos —como la producida por los saltos de agua—, el movimiento de grandes masas de aire sobre la superficie de la tierra, fenómenos eléctricos como los rayos y las tormentas, el proceso de combustión y las sustancias radiactivas.

Las configuraciones eléctricas de los iones así formados, aunque todavía no se conocen por completo, parecen incluir los iones de la carbonatación y  $H^+$ ,  $H_3O^+$ ,  $O^+$ ,  $N^+$ ,  $OH^-$ ,  $H_2O^-$  y  $O_2^-$ . Tales moléculas ionizadas pueden agregarse por adsorción a partículas suspendidas (niebla, sílice y otros contaminantes). Los iones se clasifican por su tamaño y movilidad. Esta última se define como la velocidad en un campo eléctrico y se expresa en centímetros por segundo por tensión por centímetro ( $cm/s/V/cm$ ), también expresado:

$$\frac{cm^2}{Vs}$$

Los iones atmosféricos tienden a desaparecer por recombinación. Su vida media depende de su tamaño y es inversamente proporcional a su movilidad. Los iones negativos son estadísticamente más pequeños y su vida media es de varios minutos, mientras que los iones positivos son más grandes y su vida media es de aproximadamente media hora. La *carga espacial* es el cociente de la concentración de iones positivos y de la concentración de iones negativos. El valor de esta relación es mayor que uno y depende de factores como el clima, la ubicación y la estación del año. En los espacios donde vive el ser humano, este coeficiente puede tener valores menores que uno. En la Tabla 45.14 se muestran las características.

### Ionización artificial

La actividad humana modifica la ionización natural del aire. Los procesos industriales y nucleares y los incendios pueden provocar ionización artificial. Las partículas suspendidas en el aire favorecen la formación de iones de Langevin (iones agregados en partículas). Los radiadores eléctricos aumentan considerablemente la concentración de iones positivos. Los aparatos de aire acondicionado también aumentan la carga espacial del aire interior.

Los lugares de trabajo tienen maquinaria que produce iones positivos y negativos al mismo tiempo, como en el caso de las máquinas que son importantes fuentes locales de energía mecánica (prensas, máquinas hiladoras y tejedoras), energía eléctrica (motores, impresoras electrónicas, fotocopiadoras, instalaciones y líneas de alta tensión), energía electromagnética (pantallas de rayos catódicos, televisores, monitores de ordenador) o energía radiactiva (terapia con cobalto-42). Son equipos que crean ambientes con mayores concentraciones de iones positivos

Tabla 45.14 • Características de los iones en función de la movilidad y el diámetro.

Movilidad ( $cm^2/Vs$ )	Diámetro ( $\mu m$ )	Características
3,0–0,1	0,001–0,003	Pequeños, alta movilidad, vida corta
0,1–0,005	0,003–0,03	Tamaño intermedio, más lentos que los iones pequeños
0,005–0,002	>0,03	Iones lentos, agregados a partículas (iones de Langevin)

debido a la mayor vida media de estos últimos en comparación con los iones negativos.

### Concentraciones de iones en el ambiente

Las concentraciones de iones varían según las condiciones ambientales y meteorológicas. En zonas con poca contaminación, como bosques y montañas, o en lugares situados a gran altitud, aumenta la concentración de iones pequeños; en zonas próximas a fuentes radiactivas, saltos de agua o rápidos fluviales, las concentraciones pueden alcanzar miles de iones pequeños por centímetro cúbico. Por otra parte, en las proximidades del mar y cuando los niveles de humedad son altos, existe un exceso de iones grandes. En general, la concentración media de iones negativos y positivos en aire limpio es de 500 y 600 iones por centímetro cúbico respectivamente.

Algunos vientos pueden transportar grandes concentraciones de iones positivos: el föehn en Suiza, el Santa Ana en Estados Unidos, el siroco en África del Norte, el chinook en las Montañas Rocosas y el sharav en Oriente Medio.

En lugares de trabajo donde no hay factores de ionización significativos suele haber una acumulación de iones grandes. En especial, por ejemplo, en lugares herméticamente cerrados y en minas. La concentración de iones negativos disminuye bastante en espacios cerrados y en áreas contaminadas o polvorientas. Existen muchas razones por las que también se reduce la concentración de iones negativos en espacios interiores con sistemas de aire acondicionado. Una de ellas es que los iones negativos permanecen atrapados en conducciones y filtros de aire o son atraídos a superficies con carga positiva. Así, las pantallas de rayos catódicos y los monitores de ordenador tienen una carga positiva que crea en sus proximidades un microclima deficiente en iones negativos. Los sistemas de filtración de aire diseñados para "salas blancas", que requieren que los niveles de contaminación con partículas se mantengan al mínimo, también parecen eliminar los iones negativos.

Por otra parte, un exceso de humedad condensa los iones, mientras que una falta de ella crea ambientes secos con grandes cargas electrostáticas. Tales cargas se acumulan en plásticos y fibras sintéticas, tanto en la habitación como en las personas.

### Generadores de iones

Los generadores ionizan el aire, con lo que suministran una gran cantidad de energía que puede proceder de una fuente de radiación alfa (como el tritio) o de una fuente de electricidad por aplicación de una alta tensión a un electrodo de punta afilada. Las fuentes radiactivas están prohibidas en la mayoría de los países debido a sus problemas secundarios de radiactividad.

Los generadores eléctricos consisten en un electrodo aguzado rodeado por una corona; el electrodo recibe una tensión negativa de miles de voltios y la corona se pone a masa. Los iones negativos son expulsados mientras que los positivos son atraídos hacia el generador. La cantidad de iones negativos generados aumenta en proporción a la tensión aplicada y al número de electrodos que contiene. Los generadores con mayor número de electrodos y que utilizan una tensión más baja son más seguros, porque cuando la tensión excede de 8.000 a 10.000 voltios, el generador no sólo produce iones, sino también ozono y algunos

óxidos nitrosos. La diseminación de iones se consigue por repulsión electrostática.

La migración de iones dependerá de la alineación del campo magnético generado entre el punto de emisión y los objetos que lo rodean. La concentración de los iones que rodean a los generadores no es homogénea y disminuye significativamente cuanto más lejos están de ellos. La instalación de ventiladores en estos equipos aumentará la zona de dispersión iónica. Conviene recordar que es preciso limpiar periódicamente los elementos activos de los generadores para asegurar su correcto funcionamiento.

Los generadores también pueden funcionar por atomización de agua, efectos termoeléctricos o rayos ultravioleta. Existen generadores de muchos tipos y tamaños. Pueden instalarse en techos y paredes o colocarse en cualquier sitio si son pequeños y portátiles.

### Medición de iones

Los dispositivos medidores de iones se fabrican colocando dos placas conductoras con una separación entre ellas de 0,75 cm y aplicando una tensión variable. Los iones recogidos se miden con un picoamperímetro y se registra la intensidad de la corriente. Las tensiones variables permiten la medición de concentraciones de iones de diferente movilidad. La concentración de iones ( $N$ ) se calcula a partir de la intensidad de la corriente eléctrica generada utilizando la fórmula siguiente:

$$N = \frac{I}{VqA}$$

donde  $I$  es la corriente en amperios,  $V$  es la velocidad del aire,  $q$  es la carga de un ion univalente ( $1,6 \times 10^{-19}$ ) en culombios y  $A$  es el área efectiva de las placas colectoras. Se presupone que todos los iones tienen una carga simple y que todos ellos quedan retenidos en el colector. Hay que tener en cuenta que este método tiene sus limitaciones debido a la corriente de fondo y a la influencia de otros factores, como la humedad y los campos de electricidad estática.

### Los efectos de los iones en el cuerpo

Los iones negativos pequeños son los que supuestamente tienen el mayor efecto biológico debido a su mayor movilidad. Las altas concentraciones de iones negativos pueden matar o bloquear el crecimiento de microorganismos patógenos, pero no se han descrito efectos perjudiciales para los seres humanos.

Algunos estudios indican que la exposición a altas concentraciones de iones negativos produce en algunas personas cambios bioquímicos y fisiológicos que tienen un efecto relajante, reducen la tensión y los dolores de cabeza, mejoran la atención y reducen el tiempo de reacción. Tales efectos podrían deberse a la supresión de la hormona neuronal serotonina (5-HT) y de la histamina en ambientes cargados con iones negativos; estos factores podrían afectar a un segmento hipersensible de la población. Ahora bien, otros estudios han llegado a conclusiones diferentes sobre los efectos de los iones negativos para el cuerpo. Por consiguiente, sigue abierto el debate en cuanto a los beneficios de la ionización negativa y serán precisas más investigaciones antes de adoptar una posición.

**Referencias**

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 1992. *Industrial Ventilation—A Manual of Recommended Practice*. 21ª ed. Cincinnati, Ohio: ACGIH.
- American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 1992. *Method of Testing Air Cleaner Devices Used in General Ventilation for Removing Particulate Matter*. Atlanta: ASHRAE.
- Baturin, VV. 1972. *Fundamentals of Industrial Ventilation*. Nueva York: Pergamon.
- Bedford, T, FA Chrenko. 1974. *Basic Principles of Ventilation and Heating*. Londres: HK Lewis.
- Centre Europeo de Normalización (CEN). 1979. *Method of Testing Air Filters Used in General Ventilation*. Eurovent 4/5. Antwerp: Comité Europeo de Normalización.
- Chartered Institution of Building Services. 1978. *Environmental Criteria for Design*. : Chartered Institution of Building Services.
- Consejo de la Comunidad Europea (CCE). 1992. *Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings*. Luxemburgo: CE.
- Constance, JD. 1983. *Controlling In-Plant Airborne Contaminants. System Design and Calculations*. Nueva York: Marcel Dekker.
- Fanger, PO. 1988. Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. *Energy Build* 12:7-19.
- . 1989. The new comfort equation for indoor air quality. *ASHRAE Journal* 10:33-38.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). 1983. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, dirigido por L Parmeggiani. 3ª ed. Ginebra: OIT.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1991. *Building Air Quality: A Guide for Building Owners and Facility Managers*. Cincinnati, Ohio: NIOSH.
- Sandberg, M. 1981. What is ventilation efficiency? *Build Environ* 16:123-135.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1987. *Air Quality Guidelines for Europe*. European Series, No. 23. Copenhague: Publicaciones Regionales de la OMS.

**Otras lecturas recomendadas**

- Air filters—how effective are they? 1991. *Indoor Air Quality Update* 4(8):1-7.
- American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 1977. *Handbook and Product Directory: Fundamentals*. Atlanta: ASHRAE.
- . 1978. *Handbook and Product Directory: Applications*. Atlanta: ASHRAE.
- Berg-Munch, B, G Clausen, PO Fanger. 1986. Ventilation requirements for the control of body odor in spaces occupied by women. *Environ Int* 12:195-199.
- Bethe, RM. 1978. *Air Pollution Control Technology*. Nueva York: Van Nostrand Reinhold.
- Billings, CE. 1982. Methods for indoor air quality. *Environ Int* 8:497-504.
- Breum, NO. 1991. High versus low momentum ventilation in a machine workshop. *Staub-Reinhaltung der Luft* 51:91-96.
- Brunet, R. 1976. Ventilation et chauffage des locaux de travail associés à l'économie et à la récupération d'énergie. *Institut National de Recherche et de Sécurité* 532.
- Cain, WS et al. 1983. Ventilation requirements in buildings: Control of occupancy odor and tobacco smoke odor. *Atmos Environ* 17(6):1187-1197.
- Central cooling air conditioners: Standard for safety*. 1978. Illinois: Underwriters Laboratories, Inc.
- Cone, J, MJ Hodgson. 1989. Building-associated illness and problem buildings. *State Art Rev Occup Med* 4(4).

- Fanger, PO. 1973. Assessment of man's thermal comfort in practice. *Br J Ind Med* 30:313-324.
- Gilet, JC, JC Laforest, P Mèreau, B Vandevyver. 1992. *Ionization négative de l'air*. Cahiers De Notes Documentaires.
- Hamilton, M. 1984. *Air Ion Balance in the Workplace*. Vol. 2. Industrial Safety Data File, No. 65. Londres: United Trade Press.
- Hawkins, LH. 1982. Air ions and office health. *Occup Health* 34(3):116-124.
- Hawkinson, TE, DE Barber. 1982. The industrial hygiene significance of small air ions. *Am Ind Hyg Assoc J* 42:759-762.
- Health and Safety Executive. 1983. *Ozone: Health Hazards and Precautionary Measures*. : Health and Safety Executive.
- Hedge, A, MD Collis. 1987. Do negative air ions affect human mood and performance? *Occup Hyg* 31(3):285-290.
- Hedge, A, A Eleftherakis. 1982. Air ionization: An evaluation of its physiological and psychological effects. *Occup Hyg* 25(4):409-419.
- Heinsohn, RJ. 1991. *Industrial Ventilation. Engineering Principles*. Nueva York: Wiley.
- Liu, RT, RR Raber, HHS Yu. 1991. Filter selection on an engineering basis. *Heating/Piping/Air-Conditioning* 63(5):37-44.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1978. *Symposium Proceedings: The Recirculation of Industrial Exhaust Air*. Cincinnati, Ohio: NIOSH.
- Rolloos, M. 1993. HVAC systems and indoor air quality. *Indoor Environ* 2:204-212.
- Thermal, visual, and acoustic requirements of buildings. 1979. *Building Research Establishment Digest* 226.
- Turiel, I. 1986. *Indoor Air Quality and Human Health*. Palo Alto, California: Stanford Univ. Press.
- Weekes, DM, RB Gammage. 1990. *The Practitioner's Approach to Indoor Air Quality Investigations*. Akron, Ohio: American Industrial Hygiene Association.