



Documentación

NTP 313: Calidad del aire interior: riesgos microbiológicos en los sistemas de ventilación/climatización

Qualité de l'air interieur: risques microbiologiques dans les installations de ventilation/climatisation

Indoor air quality: microbiological hazards in air conditioning and ventilation systems

Redactora:

Ana Hernández Calleja
Licenciada en Ciencias Biológicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Introducción

La mayoría de edificios industriales, comerciales y de oficinas, cualquiera que sea su tamaño, disponen de sistemas mecánicos de suministro de aire fresco el cual puede ser filtrado, calentado o enfriado y en ocasiones humidificado.

En estos equipos se pueden dar las condiciones idóneas para el crecimiento y dispersión de los microorganismos o agentes biológicos.

Los microorganismos son transportados por el agua destinada a la humidificación, por el agua de la red general de la ciudad (este agua es potable, pero eso no implica que sea estéril), o por el agua proveniente de pozos. También son transportados por el aire exterior que contiene polen, esporas fúngicas, bacterias, o por el aire reciclado que aporta los aerosoles generados por las personas que ocupan los edificios.

Si las condiciones son favorables a su desarrollo, es decir, disponen de elementos nutritivos y el pH y la temperatura son los adecuados, los microorganismos proliferan, produciendo desechos que pueden ser utilizados como substrato por otros agentes biológicos, permitiendo así el asentamiento de nuevas especies.

La naturaleza del sistema de ventilación/climatización juega un papel preponderante en el riesgo de proliferación microbiológica, en su transferencia al ambiente y en su inhalación por parte de las personas expuestas.

Agentes biológicos

Dos son los principales tipos de microorganismos que causan enfermedades en el hombre: los parásitos obligados, es decir aquellos que precisan células vivas para sobrevivir, y los saprofitos facultativos. Estos últimos pueden utilizar tanto materia orgánica en descomposición como células vivas, actuando en ese caso como parásitos oportunistas.

Para producir una enfermedad, un agente biológico debe estar presente en un ambiente (reservorio), llegar a ser abundante (amplificación) y pasar al aire en estado infectivo

(diseminación).

El reservorio, amplificador y diseminador para los parásitos obligados, es el huésped (personas o animales infectados). El agente se mantiene a nivel subclínico en un huésped en el que no se manifiesta la enfermedad. El paso a otro huésped más susceptible puede desencadenar el incremento en número del agente, produciéndose entonces la enfermedad. Su posterior diseminación ocurre con el paso de los aerosoles generados con el habla, la tos o los estornudos al ambiente, donde deberá encontrar un nuevo huésped o morirá.

Los reservorios de los parásitos oportunistas son aquellos lugares que contienen suficientes nutrientes para mantener los microorganismos tanto en sus formas vegetativas como en sus formas resistentes (esporas).

La proliferación de estos agentes tiene lugar cuando las condiciones pasan a ser las adecuadas para su libre desarrollo, por ejemplo un aumento de los nutrientes, una variación en la temperatura o en el pH del medio, etc.

Normalmente la diseminación requiere de alguna acción que altere los reservorios, por ejemplo el flujo de aire, la pulverización del agua o la limpieza de los mismos.

El hecho de que aparezca una enfermedad dependerá de varios factores, entre los que destacan la virulencia del agente biológico, la cual está genéticamente controlada, y la inmunidad de la persona.

La virulencia está asociada a la especie y pueden existir diferentes grados de virulencia entre cepas de una misma especie. Por ejemplo, la inhalación de un bacilo de la tuberculosis puede desencadenar la enfermedad, mientras que en otras especies, para que la enfermedad aparezca, se requiere que el agente alcance una concentración elevada.

El sistema inmunitario, por su parte, constituye un auténtico mecanismo de defensa frente a las enfermedades causadas por los agentes biológicos. Pero es en las personas con enfermedades del sistema inmune o sometidas a tratamientos inmunosupresores, en las que se manifiestan enfermedades provocadas por agentes biológicos que en personas sanas no aparecerían.

Se distinguen dos tipos fundamentales de patología causada por agentes biológicos relacionadas con los sistemas de ventilación/climatización:

- **Manifestaciones de tipo alérgico** que comprenden asma, rinitis, conjuntivitis, neumonías hipersensitivas, fiebre de los humidificadores o fiebre del lunes. Dichas afectaciones han sido atribuidas a diversos microorganismos entre los que se pueden destacar las bacterias filamentosas (*Thermoactinomyces vulgaris*, *Micropolyspora faeni*); los bacilos Gram negativo (*Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Escherichia coli*); los hongos (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*) y los protozoos (*Naegleria gruberi*, *Acanthamoeba*).
- **Enfermedades infecciosas**, siendo las más representativas la Enfermedad del Legionario y la Fiebre de Pontiac. El agente causal de ambas enfermedades es una bacteria (*Legionella pneumophila*) y su diferencia a grandes rasgos estriba en que la primera es una neumonopatía aguda y en ocasiones mortal mientras que la segunda, más benigna, se caracteriza por un síndrome pseudogripal. No se conoce por qué esta bacteria causa dos enfermedades con cuadros clínicos diferentes, aunque se

especula con la teoría de que la fiebre de Pontiac es una reacción hipersensitiva a las amebas infectadas por Legionella pneumophila.

Sistemas de ventilación/climatización

Características de su funcionamiento

Los sistemas de ventilación/climatización tienen dos funciones primordiales, por una parte suministrar aire fresco en cantidad y calidad suficientes para mantener la calidad del aire en los espacios interiores, y por otra modificar las condiciones termo higrométricas del aire exterior que se introduce en un edificio para conseguir un clima confortable en el interior.

A continuación y siguiendo el esquema general que muestra la figura 1, se describen los procesos a que es sometido el aire para lograr esos propósitos:

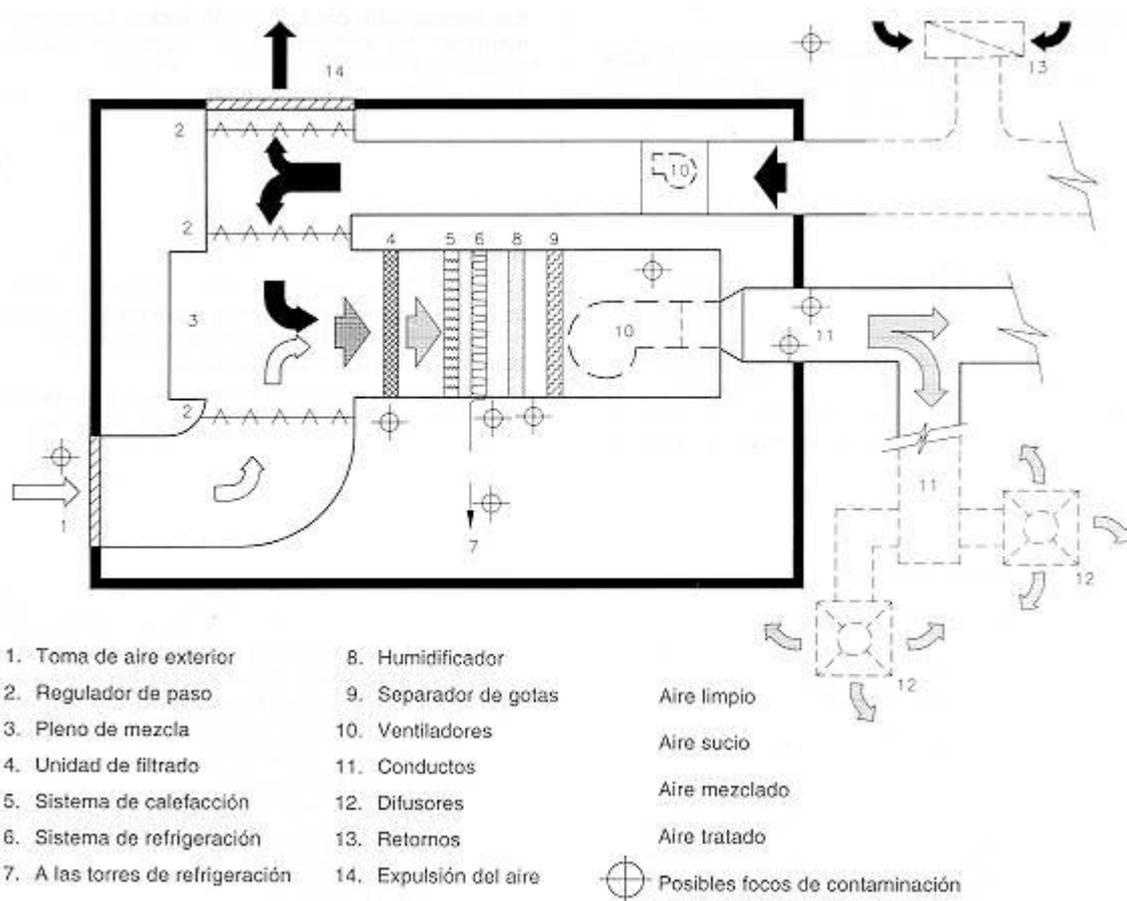


Fig. 1: Esquema de un sistema de ventilación/climatización

1. En primer lugar se produce la entrada del aire del exterior (aire de ventilación o renovación). La proporción de ese aire puede oscilar entre el 100% y el 0% en función del grado de recirculación o reciclaje de aire que esté establecido.
2. El aire exterior, ya en el pleno, se mezcla con la porción de aire reciclado y pasa a través de las unidades de limpieza. Habitualmente éstas están formadas por un prefiltro y un filtro, la misión del primero es la de retener las partículas más gruesas del aire aumentando la eficacia y alargando la vida del filtro.
3. En las unidades de climatización el aire se enfría o se calienta según las necesidades

climáticas.

La mayoría de sistemas utilizan electricidad, agua caliente o vapor como medio para calentar el aire y agua fría o líquidos refrigerantes para enfriarlo. El aire al entrar en contacto con los circuitos por donde circulan estos medios, absorbe calor en el primero de los casos y lo cede en el segundo.

- Algunos sistemas de refrigeración disponen de torres de refrigeración cuya misión es la de disipar a la atmósfera el calor ganado al aire en las unidades de refrigeración. El agua, que ha absorbido el calor del aire a enfriar, es expulsada a través de las boquillas que se encuentran en la parte superior de la torre y va descendiendo por unas placas que facilitan el intercambio térmico entre el agua y el aire que se mueve a contracorriente al flujo de agua, dando como resultado un enfriamiento de la misma debido a la evaporación. Este agua es recogida en un depósito desde donde es enviada de nuevo a los circuitos de refrigeración (ver figura 2a).

En la figura 2b se muestra un esquema del modelo de torre de refrigeración en la que el agua es rociada sobre los serpentines que contienen el líquido refrigerante y que en este punto está en fase gaseosa. El agua absorbe de este fluido el calor necesario para evaporarse. Al final del proceso el refrigerante es devuelto a la unidad de refrigeración y el agua se recoge en un depósito desde donde será reciclada.

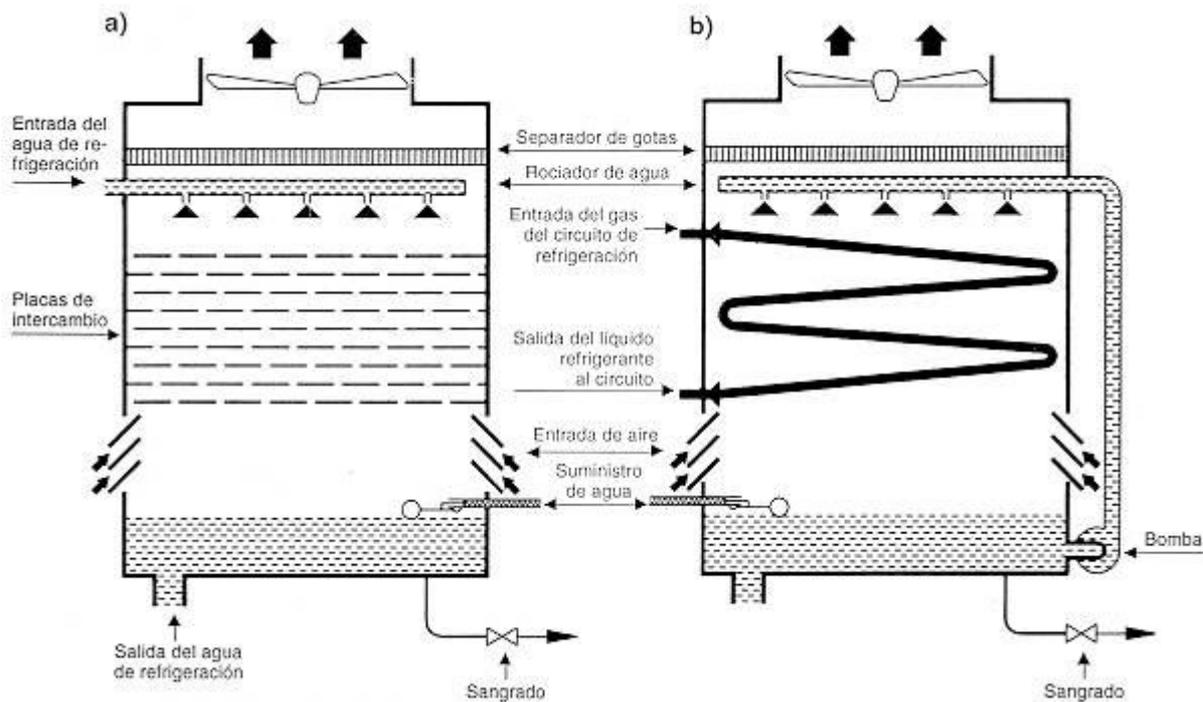


Fig. 2: Torres de refrigeración

- La necesidad de controlarlos niveles de humedad del aire dentro de los límites establecidos como confortables lleva, en ocasiones, a la utilización de sistemas de humidificación del aire.

Existen diversos tipos de humidificadores cuya función es la de incrementar el grado de humedad del aire, ello se consigue mediante la evaporación de agua desde los depósitos donde está contenida, por el paso del flujo de aire a través de una cortina de agua con el consiguiente arrastre de la misma o por inyección directa de vapor de agua en el flujo de aire:

- **Humidificador por rociado:** En este tipo de humidificador, el agua a presión, proveniente de la red o de un depósito, es rociada directamente a la corriente de aire, el exceso de agua es recogido en el depósito para reiniciar el ciclo. Un

separador de gotas retira del aire las de mayor tamaño (ver figura 3).

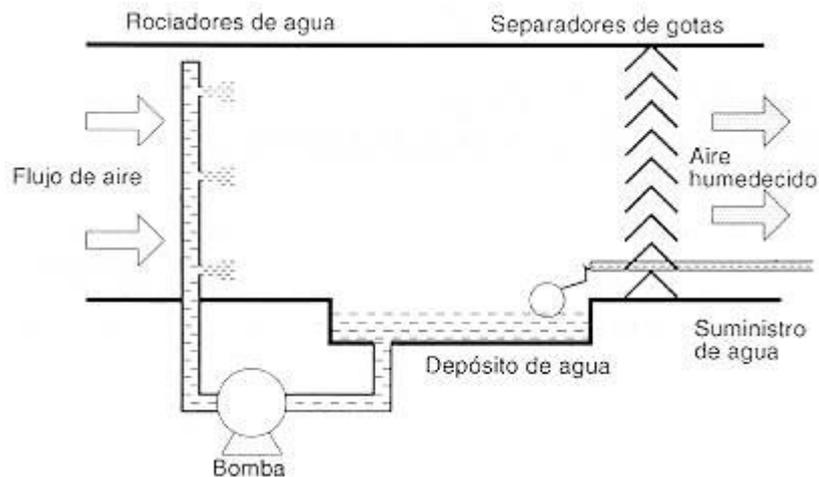


Fig. 3: Humidificador por rociado

- **Humidificador por evaporación:** El agua contenida en el depósito se evapora al ser calentada y el flujo de aire que pasa sobre ella arrastra el vapor de agua generado (ver figura 4).

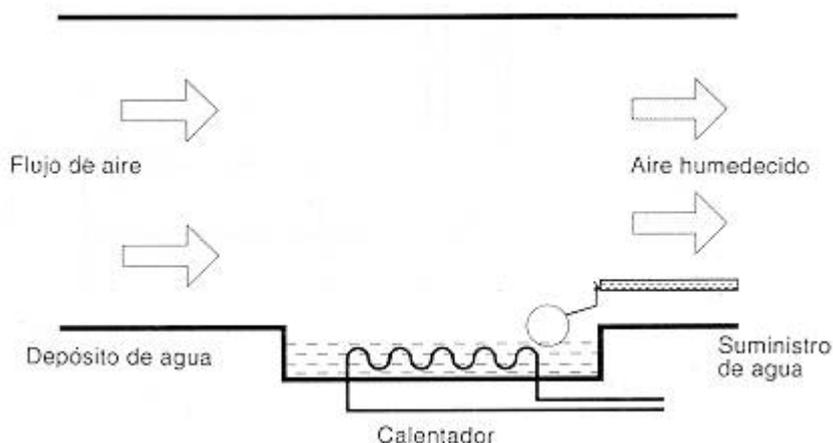


Fig. 4: Humidificador por evaporación

- **Humidificador de disco rotatorio:** El agua contenida en el disco se fragmenta en gotas y es proyectada a la corriente de aire por acción de la fuerza centrífuga. Los separadores de gotas impiden que sean arrastradas las de mayor tamaño (ver figura 5).

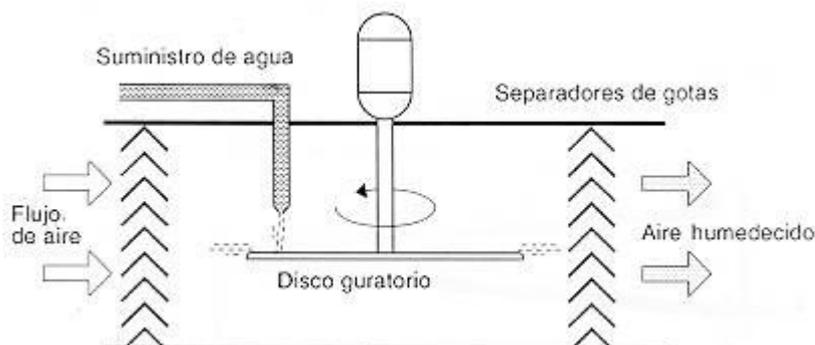
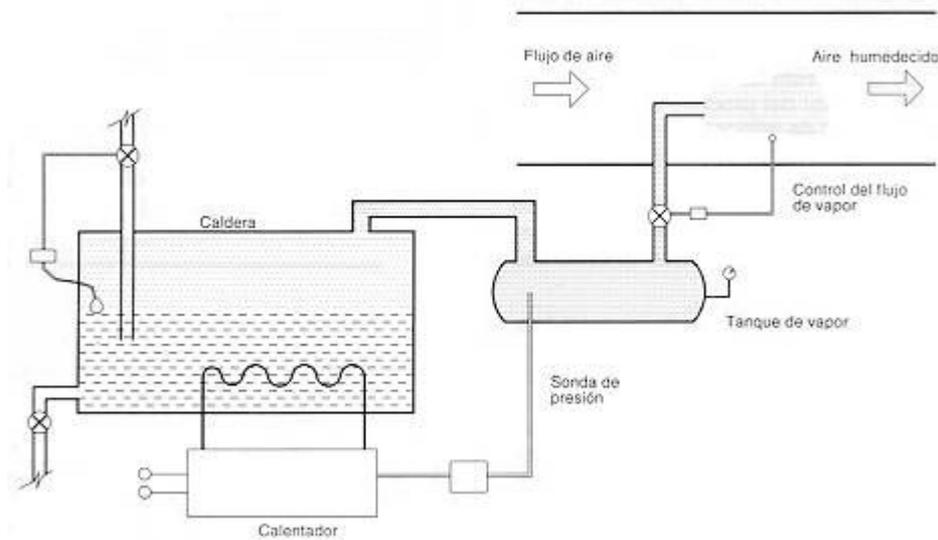


Fig. 5: Humidificador de disco rotatorio

- **Humidificador de vapor.** En este tipo de humidificador se aporta a la corriente de aire el vapor de agua generado en una caldera (ver figura 6).

**Fig. 6: Humidificador de vapor**

6. Finalmente el aire climatizado y a través de una red de conducciones llega a los diversos locales del edificio, es distribuido por los difusores a los espacios ocupados y en su recorrido por los mismos se produce el intercambio de calor con el medio. Desde los locales, a través de las rejillas de retorno y por una red de conducciones diferente, el aire vuelve al equipo principal desde donde, y en función de la tasa de recirculación establecida, parte del aire volverá al circuito y parte será expulsada al exterior.

Principales focos de contaminación biológica

Los principales focos de contaminación biológica relacionados con los sistemas de ventilación/climatización son:

1. **El aire exterior:** Éste transporta granos de polen, bacterias y hongos tanto sus formas vegetativas como sus formas resistentes (esporas), la mayoría son inocuos para el hombre pero algunos de ellos pueden ser patógenos.
2. **Los sistemas de filtración:** En ellos, y esa es su misión, queda retenido buena parte del material particulado que lleva el aire y al que pueden ir asociados microorganismos, este material es un buen medio para la proliferación de los mismos.
3. **El sistema de refrigeración:** Durante la estación cálida el vapor de agua que contiene el aire condensa sobre los serpentines de refrigeración, ese agua puede quedar estancada en el suelo del equipo donde, junto a la suciedad que allí esté acumulada, se crean las condiciones adecuadas para el desarrollo de agentes biológicos.
Otro foco de contaminación asociado al sistema de refrigeración lo constituyen las torres de refrigeración, en ellas las temperaturas que alcanza el agua no están lejos de las que favorecen el desarrollo de las bacterias causantes de la legionelosis, entre

350 y 45°C y de otros microorganismos como algas, amebas y bacterias.

De las torres de refrigeración, debido a su diseño y funcionamiento, se desprenden a la atmósfera aerosoles que pueden contener microorganismos, los cuales se suman a la contaminación exterior, pudiendo reintroducirse en el sistema de ventilación del mismo edificio o de los edificios situados en la proximidades, dependiendo de la dirección de los vientos predominantes en la zona así como de la ubicación de las tomas de aire.

4. **Los humidificadores:** Especialmente aquellos en los que el agua es reciclada, pueden convertirse en reservorios y diseminadores de los microorganismos que se desarrollen en ellos.
5. **Los materiales porosos:** En ocasiones están presentes en los sistemas de ventilación/climatización, normalmente como aislantes acústicos o como material de construcción de los conductos. En ellos se pueden dar las circunstancias que favorecen el crecimiento de agentes biológicos, por ejemplo la suciedad que aporta nutrientes y el agua que transporta el aire.
6. **El aire del interior de los locales:** El aire ha ido recogiendo la contaminación producida en los diferentes focos. Uno de los más importantes son las personas que ocupan el edificio, estas personas pueden ser portadores sintomáticos o asintomáticos de agentes biológicos. Hay que tener en cuenta que muchos sistemas de ventilación funcionan reciclando el aire interior por lo que el sistema puede, en conjunto, convertirse en el diseminador de la contaminación generada en una zona, al resto del edificio.

En la figura 1 aparecen señalados los principales focos de contaminación biológica.

Medidas preventivas

La mera presencia de microorganismos no es un indicador de enfermedades potenciales, y dado que por el momento no están establecidos criterios de valoración cuantitativos para agentes biológicos, lo más recomendable será mantener sus niveles lo más bajo posible, tanto por lo que respecta a los focos de contaminación como al aire interior.

El control de la contaminación microbiológica en ambientes interiores se puede conseguir con un buen diseño de los sistemas y un eficaz programa de mantenimiento de las instalaciones. El método más directo para limitar el desarrollo de microorganismos es restringir la disponibilidad tanto de nutrientes como de agua.

Las medidas preventivas que a continuación se indican representan un sumario de las que aparecen en la literatura especializada:

- Ubicar las tomas de aire exterior de modo que se impida la reentrada de los aerosoles producidos en las torres de refrigeración.
- Es conveniente mantener el edificio a ligera presión positiva para minimizar la infiltración del aire por lugares no controlados (puertas, ventanas, etc.).
- Suministrar suficiente aire fresco de ventilación cumpliendo con los estándares o recomendaciones técnicas relativas al tema.
- Disponer de accesos adecuados a los diferentes componentes del sistemas para su inspección, reparación y limpieza.

- Colocar filtros adecuados para el control de la entrada de materia particulada. Es recomendable: usar prefiltros y filtros que tengan eficacias de retención superiores al 80%; cambiar los filtros a intervalos regulares de tiempo y cuando sea necesario instalar filtros tras los intercambiadores de calor.
- Prevenir la acumulación de agua estancada bajo los sistemas de refrigeración, implantando un sistema de drenaje continuo.
- Reparar de inmediato cualquier fuga de agua tanto dentro del sistema de ventilación/climatización como en el resto del edificio.
- Seleccionar humidificadores que utilicen vapor de agua como fuente de humedad en lugar de los que utilizan agua reciclada. Dentro de los humidificadores de vapor son preferibles los de vapor seco.
- Mantener la humedad relativa del aire por debajo del 70% en los espacios ocupados y en los plenos de baja velocidad de aire.
- Establecer programas de mantenimiento que contemplen la inspección, la limpieza y la desinfección de los diversos componentes del sistema, registrando las operaciones que se realicen y su periodicidad, prestando especial atención a los humidificadores y torres de refrigeración:
 - Drenar y limpiar los humidificadores a intervalos de dos a cuatro meses, realizando aclarados con desinfectantes suaves. Es recomendable utilizar agentes descalcificantes del agua.
 - Mantener, al menos, un 10% de agua circulante en los depósitos, para eliminar el exceso de impurezas y minimizar la acumulación de incrustaciones.
 - Seleccionar biocidas y anticorrosivos que sean compatibles entre ellos y con los materiales de construcción de los diferentes elementos. El tratamiento continuo del agua con estos productos no es recomendable ya que pueden incorporarse al flujo de aire y afectar a los ocupantes del edificio.
 - Durante las operaciones de mantenimiento y limpieza del sistema es recomendable utilizar equipos de protección personal al entrar en espacios confinados, por ejemplo protectores de las vías respiratorias con filtros para materia particulada de alta eficacia y ropa de trabajo.
- Establecer programas de control periódico, mediante la realización de cultivos microbiológicos, en diferentes puntos del sistema (torres de refrigeración, condensadores por evaporación, unidades de climatización, humidificadores, etc.).

Bibliografía

(1) CONE, J.E., HODGSON, M.J. Ed.

Problem building: building associated illness and the sick building syndrome
Occupational Medicine: State of the art reviews 1989; 4 (4)

(2) MOLINA, C.

Maladies des climatiseurs et des humidificateurs
INSERM, Paris 1986; 377 pp.

(3) MOREY, FEELEY, OTTEN. Ed.

Biological contaminants in indoor environments

ASTM, Philadelphia 1990; 244 pp.

(4) BURGESS, ELLENBECKER, TREITMAN.

Ventilation for control of the work environment

John Wiley & Sons, New York 1989; 476 pp.

(5) PARAT, S., PERDRIX, A., GRILLOT, R., CROIZE, J.

Prévention des risques dus à la climatisation

Arch. mal. prof. 1990, 51 (1): 27-35

(6) BRIEF, R.S. and BERNATH, T.

Indoor pollution: guidelines for prevention and control of microbiological respiratory hazards associated with air conditioning and ventilation systems

Appl. Ind. Hyg. 1988, 3 (1) : 5-10

(7) MOREY, R.R., HODGSON, M.J. et al.

Environmental studies in moldy office buildings: biological agents, sources and preventive measures

Ann. Am. Conf. Gov. Ind. Hyg. 1984; 10: 21-35

(8) AGER, B.P. and TICKNER, J.A.

The control of microbiological hazards associated with air conditioning and ventilation systems

Ann. Occup. Hyg. 1983: 27 (4) : 341-358

(9) INRS

Lutte contre les micro-organismes à l'origine de la maladie des légionnaires et de la fièvre des humidificateurs

Cahiers de notes documentaires 1987; 127: 257-268