

## Directrices para determinación de la calidad ambiental interna en edificios de uso comercial

### Preámbulo

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

Esta norma se estudió a través del Comité Técnico *Sustentabilidad*, para especificar los parámetros relacionados con la energía que se deben evaluar para determinar la calidad ambiental interna en los edificios.

Por no existir Norma Internacional, en la elaboración de esta norma se ha tomado en consideración el documento *Internacional Performance Measurement and Verification Protocol - Concepts and Practices for Improved Indoor Environmental Quality - Volume II*, publicado por el Departamento de Energía de Estados Unidos.

La norma NCh3055 ha sido preparada por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización, y en su estudio el Comité estuvo constituido por las organizaciones y personas naturales siguientes:

CPL-CORFO  
Iisbe Chile  
Instituto Nacional de Normalización, INN  
Particular  
Particular

Patricio Kurte  
Norman Goijberg  
Oscar Clasing J.  
Arturo Caro V.  
Rubén Céspedes A.

El Anexo A no forma parte de la norma, se inserta sólo a título informativo.

## Contenido

	<b>Página</b>
<b>Preámbulo</b>	<b>I</b>
<b>1 Alcance y campo de aplicación</b>	<b>1</b>
<b>2 Referencias normativas</b>	<b>1</b>
<b>3 Términos y definiciones</b>	<b>1</b>
<b>4 Calidad ambiental interna - Generalidades</b>	<b>2</b>
4.1 Parámetros importantes de la calidad ambiental interna (IEQ) relacionados con la energía	2
4.2 Condiciones térmicas internas	2
4.3 Iluminación interna	3
4.4 Contaminantes internos, sus fuentes y efectos en la salud	4
4.5 Control de las concentraciones de contaminantes internos	9
4.6 Síntomas de salud específicos no agudos y enfermedades relacionadas con los edificios	12
4.7 Poblaciones sensibles	13
4.8 Normas, códigos y directrices sobre ventilación y calidad ambiental interna	14
4.9 Relación entre la IEQ y productividad	15
<b>5 Prácticas recomendadas para mantener la IEQ</b>	<b>17</b>
5.1 Mantenimiento de una buena calidad del aire interno	17
5.2 Gestión de planes y programas relacionados	21
<b>6 Vínculos entre las mediciones de la conservación de la energía (ECM) y la IEQ</b>	<b>21</b>

## Contenido

		<b>Página</b>
<b>7</b>	<b>Influencia de las mediciones de la conservación de la energía en la IEQ en edificios específicos</b>	32
7.1	Antecedentes	32
7.2	Identificación de los resultados probables de la IEQ y pronóstico de su magnitud	33
<b>8</b>	<b>Alternativas de medición y verificación para la IEQ</b>	36
8.1	Antecedentes	36
8.2	Metas de la M&V de la IEQ	36
8.3	Contexto para la M&V de la IEQ	37
8.4	Procedimiento de M&V	37
8.5	Enfoques básicos de M&V	39
8.6	Alternativas de M&V para parámetros específicos de la IEQ	42
<b>9</b>	<b>Implementación de la norma</b>	48
 <b>Anexos</b>		
	<b>Anexo A (informativo) Bibliografía</b>	49
 <b>Tablas</b>		
	<b>Tabla 1 Ejemplos de normas, códigos o directrices pertinentes a la IEQ en edificios comerciales no industriales</b>	14
	<b>Tabla 2 Lista de MCE específicas, su influencia potencial en la IEQ y medidas preventivas y mitigantes relacionadas</b>	22
	<b>Tabla 3 Procedimiento de M&amp;V</b>	37
	<b>Tabla 4 Alternativas específicas de M&amp;V para parámetros de la IEQ</b>	42



## Directrices para determinación de la calidad ambiental interna en edificios de uso comercial

### 1 Alcance y campo de aplicación

Esta norma especifica los parámetros relacionados con la energía que se deben evaluar para determinar la calidad ambiental interna en los edificios.

Esta norma especifica los contaminantes del aire interno, sus fuentes y el efecto de éstos en la salud de los ocupantes de los edificios.

Esta norma establece las prácticas recomendadas para mantener la calidad ambiental interna, y cómo se relacionan estas prácticas con la medición de la conservación de la energía.

Esta norma se aplica a edificios de uso comercial.

### 2 Referencias normativas

El documento referenciado siguiente es indispensable para la aplicación de esta norma. Para referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para referencias sin fecha se aplica la última edición del documento referenciado (incluyendo cualquier enmienda).

NCh3045 *Guía para determinar ahorros de energía y agua en instalaciones industriales y similares.*

### 3 Términos y definiciones

Para los propósitos de esta norma, se aplican los términos y definiciones indicados en NCh3045.

## **4 Calidad ambiental interna - Generalidades**

### **4.1 Parámetros importantes de la calidad ambiental interna (IEQ) relacionados con la energía**

Muchas características del ambiente interno pueden influir en el confort, la salud, la satisfacción y la productividad de los ocupantes de un edificio. Las siguientes características ambientales internas son las que tienen más probabilidades de ser influidas por las medidas de la conservación de la energía en un edificio:

- condiciones térmicas internas, tales como temperatura del aire y su gradiente vertical, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad;
- concentraciones de contaminantes y olores en el aire interno y cantidad de contaminantes sobre las superficies;
- intensidad y calidad de la iluminación.

Esta norma proporciona más información detallada sobre la contaminación interna del aire que sobre la iluminación y confort internos, dado que los usuarios de la misma tienen menos probabilidades de conocer la contaminación interna del aire.

### **4.2 Condiciones térmicas internas**

La influencia del ambiente térmico interno en el confort térmico está ampliamente reconocida. Durante décadas se ha estudiado el confort térmico dando como resultado normas y modelos relativos al confort térmico en función de la vestimenta de los ocupantes y el nivel de actividad, de manera de pronosticar el nivel de satisfacción con el ambiente térmico (ASHRAE 1997). A pesar de la significativa atención puesta en el confort térmico por los profesionales de la construcción, la insatisfacción con las condiciones térmicas internas es la fuente más común de quejas de los ocupantes de los edificios destinados a oficinas (Federspiel 1998). Un amplio estudio en terreno (Schiller et al. 1998), indica que menos del 25% de los sujetos estaban moderadamente satisfechos o muy satisfechos con la temperatura del aire. También, el 22% de las condiciones térmicas medidas en el invierno y casi el 50% de las condiciones térmicas medidas en el verano, se encontraban fuera de los límites de la zona de confort térmico según ASHRAE 1998. Estos hallazgos indican que se deberían hacer los mayores esfuerzos en la conservación de las condiciones de confort térmico dentro de las zonas de confort prescritas. Incluso en los laboratorios, con niveles de actividad y vestimentas uniformes, no es posible satisfacer a más del 95% de ocupantes proporcionando un solo ambiente térmico uniforme (Fanger 1970), debido a que las preferencias térmicas varían de acuerdo con las personas. Como medio de maximizar el confort térmico se está explorando la prueba de sistemas de acondicionamiento que provean a los ocupantes de un control limitado de la temperatura y velocidad del aire en sus lugares de trabajo (por ejemplo, Arens et al. 1991, Barman et al. 1993).

La humedad extrema puede influir adversamente en el confort térmico (ASHRAE 1997, Capítulo 8). Las zonas de confort térmico de ASHRAE para invierno y verano tienen un límite inferior para la humedad absoluta de 0,045 g  $H_2O$  por kg de aire seco que corresponde aproximadamente a 30% HR a 20,5°C y 20% HR a 27°C. Humedades relativas bajo aproximadamente 25% han sido asociadas a quejas por sequedad de piel, nariz, garganta y ojos. Con altas humedades, la incomodidad aumenta debido sustancialmente al aumento de la humedad de la piel. Los límites superiores de humedad de la zona de confort térmico de ASHRAE varían con la temperatura desde aproximadamente 60% HR a 26°C a 80% HR a 20°C.

La humedad y la temperatura del aire también afectan las percepciones de la calidad del aire interior y el nivel de quejas relacionadas con la presencia de síntomas de salud no específicos relacionados con el edificio (denominados a menudo síntomas del síndrome del edificio enfermo).

Temperaturas del aire más elevadas se han asociado a un aumento del predominio de síntomas en la salud según varios estudios (Skov et al. 1989, Jakkola et al. 1991, Wyon 1992, Menzies et al. 1993). Los ocupantes han percibido que la calidad del aire demuestra que disminuye a medida que se eleva la temperatura y la humedad en el rango desde 18°C con 30% HR a 28°C con 70% HR (Fang et al. 1997, Molhave et al. 1993).

### 4.3 Iluminación interna

La calidad del ambiente interno depende significativamente de diversos aspectos de la iluminación (IES 1993, Veitch y Newsham 1998) incluyendo la iluminancia (intensidad de la luz que choca sobre una superficie), la cantidad de luz intensa y el espectro luminoso<sup>1)</sup>. Hay evidencias de que la disminución de la cantidad de parpadeos de la luz, es decir, la magnitud del cambio rápido de ciclo en la iluminancia a través del tiempo, puede estar asociada a una disminución del dolor de cabeza y la fatiga ocular (Wilkens et al. 1998) y al aumento del rendimiento de los trabajadores (Veitch y Newsham 1997). En numerosos espacios internos, el ambiente interno está influenciado por la luz diurna y por la luz artificial. Las características de las ventanas y claraboyas y su oscurecimiento afecta la luz diurna en los espacios internos. La calidad de la iluminación eléctrica interna es función de los tipos, ubicaciones y número de luminarias y las características ópticas de las superficies internas, tales como la reflectividad espectral y el color.

El método de control de la iluminación, tal como la reducción automática de la luz artificial sin control y el control manual de la iluminación por encima de la cabeza o de las tareas visuales, también puede influir en la calidad de la iluminación. Las características de la iluminación influyen en la calidad de la visión y pueden tener influencias psicológicas en el humor y en las percepciones de placidez de un espacio. Debido a que una iluminación extrema puede tener una clara repercusión en el comportamiento, la iluminación interna de los edificios comerciales se debe mantener generalmente dentro de los límites especificados en directrices o normas. El rango recomendado de iluminancia es función del tipo de actividad visual y de la edad de los ocupantes. Las directrices también entregan recomendaciones para la razón máxima de luminancia, es decir, el rango de luminancia en el campo visual. La satisfacción de los ocupantes con la iluminación puede variar con la iluminación y con las características del sistema de iluminación (Katzeb 1992).

---

1) La evidencia en cuanto a los efectos del espectro de la luz en la satisfacción y el comportamiento está mezclada (por ejemplo, Veitch 1994, Berman 1992).

#### 4.4 Contaminantes internos, sus fuentes y efectos en la salud

Existe un gran número de contaminantes del aire interno que puede influir en la salud de los ocupantes y la aceptabilidad percibida del aire interno. A continuación se especifican estos contaminantes.

**Bioefluentes gaseosos humanos:** el ser humano libera una variedad de bioefluentes gaseosos, por ejemplo, los olores corporales, que influyen en la aceptabilidad percibida del aire interno. Históricamente, la mayoría de las normas y directrices relacionadas con las tasas mínimas de ventilación en edificios se han basado principalmente en la ventilación que se necesita para mantener un aire interno aceptable para una gran proporción (es decir, 80%) de visitantes cuando entran inicialmente a un espacio con ocupantes como única fuente de contaminantes internos. En la última década, el interés puesto en otras fuentes de olores y efectos adversos para la salud derivados de los contaminantes del aire han influenciado cada vez más las normas de ventilación de los edificios.

**Anhídrido carbónico ( $CO_2$ ):** este es uno de los bioefluentes gaseosos humanos en el aire exhalado. Los seres humanos son normalmente la fuente principal interna de anhídrido carbónico. Los artefactos de combustión sin ventilación o ventilados imperfectamente también pueden incrementar las concentraciones internas de  $CO_2$ . La concentración externa de  $CO_2$  es a menudo, de aproximadamente 350 ppm<sup>2)</sup> en tanto que las concentraciones internas se encuentran generalmente en el rango de 500 ppm a algunos miles de ppm. En estas concentraciones, no se cree que el  $CO_2$  sea una causa directa de efectos adversos para la salud; sin embargo, el  $CO_2$  es un sustituto que se puede medir fácilmente, de otros contaminantes generados por los ocupantes, tales como los olores corporales.

Con frecuencia se usa la concentración de  $CO_2$ , a veces en forma inapropiada, como un indicador de la tasa de suministro de aire externo por ocupante. Si el número de ocupantes y la tasa de suministro de aire externo son constantes y se conoce la tasa de generación de  $CO_2$  de los ocupantes, la tasa de suministro de aire externo por ocupante está directamente relacionada con el equilibrio de la concentración interna de  $CO_2$  según pronostica el cálculo del equilibrio de masa en estado estacionario (Persily y Dols 1990). Sin embargo, en muchos edificios, las concentraciones de  $CO_2$  nunca se estabilizan durante un día de trabajo debido a que las tasas de ocupación y ventilación no son estables durante un período de tiempo suficiente. Si la concentración de  $CO_2$  no se ha estabilizado en torno a su valor de equilibrio y la relación en estado estacionario entre  $CO_2$  y la tasa de ventilación se usa para estimar la tasa de suministro de aire externo, la tasa de ventilación de aire externo estimada puede ser sustancialmente errónea.

**Monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOx):** las concentraciones internas de CO y de NOx pueden ser más altas que las concentraciones externas debido a una combustión interna sin ventilación (por ejemplo, calefactores del espacio sin ventilación), fallas en los sistemas de ventilación por extracción para la combustión de los artefactos con ventilación, y fuga de aire desde los estacionamientos de vehículos anexos al edificio. El

---

2) En el área urbana, las concentraciones de  $CO_2$  pueden exceder sustancialmente 350 ppm y variar considerablemente con el tiempo.

humo del tabaco puede causar un pequeño aumento de las concentraciones internas de  $CO$ . Exposiciones de corto plazo a concentraciones muy elevadas de  $CO$  pueden causar daño cerebral o muerte (NRC 1981). Concentraciones más bajas pueden causar dolor al pecho entre las personas con enfermedad cardíaca (NRC 1981). El  $NO_2$  se considera generalmente como el más importante de los óxidos de nitrógeno internos. Altas concentraciones, por ejemplo, 0,5 ppm, de  $NO_2$  pueden causar trastornos respiratorios en individuos con asma y concentraciones de aproximadamente 1 ppm causan un aumento en la resistencia de las vías respiratorias en la salud de las personas (NRC 1981). La exposición a largo plazo de niños a concentraciones mucho más bajas de  $NO_2$ , puede estar asociada a un aumento de las enfermedades respiratorias (Vedal 1985).

**Compuestos orgánicos volátiles (VOCs):** los VOCs constituyen una clase de contaminantes gaseosos que contienen carbono. Característicamente el aire interno contiene docenas de VOCs en concentraciones mensurables. Los VOCs son emitidos internamente por los materiales de los edificios (por ejemplo, pinturas, productos de madera prensada, adhesivos, etc.), mobiliario, equipos (máquinas fotocopadoras, impresoras, etc.), productos de limpieza, productos para el control de plagas y actividades de combustión (cocina, calefacción de espacios sin ventilación, humo de tabaco, uso de vehículos dentro de los espacios interiores). Los seres humanos también liberan VOCs como consecuencia de su metabolismo y del uso de productos personales como perfumes, por ejemplo. El aire externo que ingresa a los edificios también contiene VOCs. También se pueden arrastrar al interior de los edificios VOCs del suelo contaminado adyacente al mismo.

Los materiales y el mobiliario nuevo son, generalmente, emisores de VOCs a una tasa mucho más alta que los materiales más antiguos. Las tasas de emisión para muchos VOCs pueden declinar en orden de magnitud durante las primeras semanas después que los materiales están instalados en el edificio. Sin embargo, las tasas de emisión de algunos VOCs, tales como las emisiones de formaldehído de los productos de madera prensada declinan en forma mucho más lenta. Debido al interés en los efectos sobre la salud a causa de los VOCs, numerosos fabricantes se han esforzado para disminuir las emisiones de VOCs y de sus productos y algunos proporcionan información sobre las emisiones a sus clientes.

NOTA - Se sospecha o se sabe que algunos VOCs son cancerígenos o causantes de efectos reproductivos adversos. Algunos VOCs tienen olores desagradables o son irritantes. Se cree que los VOCs causan síntomas no específicos en la salud que se analizarán posteriormente.

La concentración total de compuestos orgánicos volátiles (TVOCs), usada a menudo como una medida de VOCs simple e integrada, se define como la masa total de VOCs medida por unidad de volumen de aire, con exclusión de los compuestos orgánicos muy volátiles (por ejemplo, formaldehído). Estudios de laboratorios en seres humanos expuestos a mezclas de VOCs en condiciones controladas (Molhave et al. 1986 y 1993) han documentado aumentos de los síntomas en la salud con TVOCs en concentraciones del orden de miligramos por metro cúbico de aire.

NOTA - Un panel de 12 investigadores nórdicos examinó la literatura sobre VOCs/TVOCs y salud y concluyó que la contaminación interna que incluye VOCs tiene más probabilidades de causar tanto efectos en la salud como problemas de confort y que la literatura científica no es concluyente respecto de TVOCs como índice de riesgo para la salud y el confort (Anderson et al. 1997).

Como indicador de los efectos en la salud, la concentración de TVOCs es inherentemente imperfecta debido a que la potencia de cada VOCs para provocar síntomas de irritación varía en órdenes de magnitud (Tenbrinke 1995). La potencia para otros efectos potenciales en la salud, tales como cáncer o efectos reproductivos también es muy variable entre los compuestos.

A pesar de estas limitaciones, las concentraciones inusualmente altas de TVOCs en los edificios comerciales, sobre 1 mg o 2 mg m<sup>-3</sup> (Daisey et al. 1994) indican efectivamente la presencia de potentes fuentes de VOCs. Se puede garantizar que habrá otras investigaciones para determinar la composición de VOCs y/o identificar las fuentes. La probabilidad de efectos adversos en el confort y la salud causados por altas exposiciones a TVOCs depende de la composición de la mezcla de VOCs y de las concentraciones de compuestos olorosos o nocivos.

**Radón:** es un gas radioactivo que se produce naturalmente. La fuente principal de radón en la mayoría de los edificios es el suelo y la roca de los alrededores. El radón ingresa a los edificios desde el suelo como un gas del suelo y es arrastrado hasta el edificio; entra también por difusión a través de las partes del edificio en contacto con el suelo. Los materiales de construcción basados en tierra y el agua de pozos también pueden ser fuente de radón. La exposición al radón aumenta el riesgo de cáncer pulmonar (BEIR VI 1998).

**Ozono:** es un gas transportado dentro de los edificios por el aire externo. Ciertos tipos de equipos de oficinas, tales como las máquinas fotocopiadoras y las impresoras láser también pueden ser fuentes de ozono en el interior. El ozono causa la inflamación de los pulmones y otros efectos en la salud de los pulmones. El ozono es extraído del aire interno por reacción con las superficies interiores; de esta manera, las concentraciones internas de ozono son generalmente más bajas que las concentraciones externas. Si las concentraciones internas de ozono son limitadas, el aumento de la tasa de ventilación, aunque reduce las concentraciones de contaminantes generados internamente, por lo general aumenta la concentración de ozono interno.

Además de los efectos directos del ozono en la salud, el ozono puede reaccionar químicamente con los VOCs en el aire interno o con los materiales de la superficie. Estas reacciones pueden producir VOCs que pueden ser fuente de irritaciones químicas (Weschler y Schields 1997).

**Humedad:** no es un contaminante pero tiene una influencia poderosa en la calidad ambiental interna. El vapor de agua es generado internamente por el metabolismo humano y las actividades humanas que implican el uso de agua y asimismo, por las actividades de combustión sin ventilación y el uso de humidificadores. El suelo húmedo puede ser una fuente de humedad del aire interno y los materiales del piso que están en contacto con el suelo. Las implicancias para la salud humana debido a un alto nivel de humedad, son complejas y aún son objeto de debate (Baughman y Arens 1996, Arens y Baughman 1996). En ciertas situaciones, humedades relativamente altas pueden contribuir al desarrollo de hongos y bacterias que pueden afectar adversamente la salud.

La condensación de agua en las superficies frías internas, por ejemplo, ventanas, puede dañar los materiales y fomentar el desarrollo de microorganismos. Las filtraciones de agua tales como las filtraciones de techos e instalaciones sanitarias y la exposición de los materiales de construcción a la lluvia o la nieve durante la construcción de los edificios, son una fuente frecuente de daños para los materiales y de desarrollo de microorganismos. Existe una evidencia muy fuerte de que los problemas de humedad en la construcción conducen a efectos adversos en la salud respiratoria tales como un mayor predominio de asma o de los síntomas del tracto respiratorio inferior (por ejemplo, Brunekreef 1992, Dales et al. 1991, Spengler et al. 1993, Smedke et al. 1996, Division of Respiratory Disease Studies 1984). Existen numerosos estudios de casos de problemas microbiológicos relacionados con la humedad en los edificios. La presencia de humidificadores en los sistemas HVAC de los edificios comerciales ha sido asociada al aumento de diversos síntomas en la salud respiratoria.

**Partículas:** éstas están presentes en el aire externo y también son generadas internamente por un gran número de fuentes (Owen et al. 1992) incluyendo humo de tabaco y otros procesos de combustión. Algunas partículas y fibras pueden ser generadas por equipos externos, por ejemplo, máquinas copiadoras e impresoras. La abrasión mecánica y el movimiento del aire pueden causar la liberación de partículas desde los materiales internos. Las partículas también son producidas por las personas, por ejemplo, esparcimiento de escamas de piel y generación de núcleos de gotitas por estornudos y tos. Algunas partículas pueden contener sustancias químicas tóxicas. Ciertas partículas de origen biológico, pueden ser causa de reacciones alérgicas o inflamatorias o ser fuente de enfermedades infecciosas. El aumento de la morbilidad y de la mortalidad está asociado a aumentos en las concentraciones de partículas que provienen del exterior (EPA 1996), incluso cuando las concentraciones están en las cercanías de los límites permitidos. Especial importancia tienen las partículas cuyo diámetro tiene menos de  $2,5 \mu\text{m}$ , que tienen más posibilidades de depositarse muy dentro de los pulmones (EPA 1996).

NOTA - En Estados Unidos la norma nacional de calidad del aire (<http://www.epa.gov/air/criteria.html>) para partículas de menos de  $2,5 \mu\text{m}$  fue establecida por la Oficina de Protección Ambiental (EPA) de dicho país en 1997 ( $15 \mu\text{g}/\text{Em}^3$  para el promedio de tres años de la concentración media aritmética anual,  $65 \mu\text{g}/\text{Em}^3$  promedio de 24 h).

El tamaño de la partícula es importante porque influye en el lugar donde se depositan estas partículas en el sistema respiratorio (EPA 1996), en la eficacia de los filtros para extraer las partículas y en la tasa de extracción de partículas del aire interno por depósito en las superficies. La gran mayoría de las partículas internas tienen menos de  $1 \mu\text{m}$ . Las partículas que tienen menos de  $2,5 \mu\text{m}$  tienen más probabilidades de depositarse al interior de los pulmones. Muchos de los bioaerosoles tienen aproximadamente  $1 \mu\text{m}$  y más con pólenes a menudo con tamaños de más de  $10 \mu\text{m}$ . Estas partículas más grandes se depositan de preferencia en la nariz.

**Bioaerosoles no infecciosos:** entre éstos se incluyen pólenes, mohos, bacterias, alérgenos ácaros del polvo, fragmentos de insectos y caspa de los animales. Las fuentes son aire externo, mohos y desarrollo de bacterias internas, insectos y mascotas. Estos bioaerosoles pueden ser llevados hasta el interior del edificio a medida que el aire entra a los edificios adheridos a los zapatos y/o a la ropa, quedando suspendidos posteriormente en el aire interno. Entre los efectos para la salud de los bioaerosoles no infecciosos se incluyen síntomas de alergia, síntomas de asma y neumonitis hipersensible caracterizada por la inflamación de las vías respiratorias y de los pulmones (Gammage y Berven 1997).

**Aerosoles infecciosos no comunicables:** son bacterias u hongos transportados por el aire que pueden infectar al ser humano, pero que no son originados por el ser humano (Gammage y Berven 1997). El ejemplo más conocido es la Legionella, una bacteria que causa la enfermedad Legionelosis y la fiebre de Pontiac. Se cree que las torres de enfriamiento y otras fuentes de agua estancada, por ejemplo, los humidificadores, son fuente de Legionella aerolizada. La Legionella puede estar presente también en los sistemas de agua potable y se cree también que la aspiración de agua potable es una fuente potencial de infección con Legionella. Algunos hongos, provenientes de fuentes internas de un edificio, también pueden infectar a las personas que tienen compromiso inmunológico.

**Bioaerosoles infecciosos comunicables:** son generados por una persona y pueden causar enfermedades en otras. Estos bioaerosoles contienen bacterias o virus dentro de pequeños núcleos de gotitas producidas cuando se secan gotitas de líquido más grandes, expelidas a menudo durante los estornudos o la tos. Entre los ejemplos de enfermedades respiratorias transmitidas, al menos en parte, por los bioaerosoles se incluye la tuberculosis, la influenza, el sarampión y algunos tipos de resfríos comunes. Varios estudios examinados por Fisk y Rosenfeld (1997) han indicado que las características de los edificios pueden tener una influencia significativa en la incidencia de enfermedades respiratorias entre los ocupantes.

Entre las fibras del aire interno se incluyen las fibras del asbesto y las fibras minerales hechas por el hombre tales como la fibra de vidrio y la lana de vidrio. Las fuentes principales son los materiales de construcción especialmente los productos usados en la aislación. La exposición al asbesto en los establecimientos industriales ha demostrado causar cáncer pulmonar y otras enfermedades pulmonares. La fibra de vidrio y la lana de vidrio son fuentes de irritación de la piel. La relación entre las fibras de vidrio y las fibras de lana de vidrio y el cáncer pulmonar permanece incierta.

**Humo del tabaco en el ambiente:** éste consiste en la mezcla diluida de contaminantes causada por el humo del tabaco y emitida en el aire interno por un fumador (opuesto al humo de la corriente principal inhalado por el fumador). Entre los constituyentes del humo del tabaco se incluyen partículas de tamaño inferior a 1 micrón compuestas por una gran cantidad de sustancias químicas más una gran cantidad de contaminantes gaseosos. El humo del tabaco es una fuente de quejas por olor e irritación. Paneles de expertos han examinado la evidencia científica perteneciente a los efectos en la salud a causa del humo del tabaco, han concluido que éste está asociado causalmente al cáncer de pulmón y a la enfermedad cardíaca en adultos e inducción al asma, exacerbación del asma, infecciones agudas del tracto respiratorio e infección del oído medio en niños (EPA 1992, California 1997).

#### 4.5 Control de las concentraciones de contaminantes internos

La concentración interna de un contaminante particular del aire depende de las concentraciones externas, la tasa de generación de contaminante interno y la tasa total de extracción del contaminante por medio de ventilación, limpieza del aire y otros procesos de extracción. Se puede usar una simple ecuación de equilibrio de masa para ilustrar la relación entre estas variables como en estado estacionario en un espacio con aire bien mezclado.

$$C_i = C_e + \frac{T_1}{T_2 + T_3 + T_4}$$

en que:

$C_i$  = concentración interna;

$C_e$  = concentración externa;

$T_1$  = tasa de generación del contaminante interno;

$T_2$  = tasa de ventilación;

$T_3$  = tasa de limpieza del aire;

$T_4$  = tasa de otros procesos de extracción.

##### 4.5.1 Fuentes contaminantes

La tasa de generación de contaminante interno depende del tipo y la cantidad de fuentes contaminantes internas. En el caso de contaminantes originados principalmente por fuentes internas, con exclusión de los bioefluentes humanos, la fortaleza de la fuente contaminante interna tiende a variar a través de un rango más amplio que otros parámetros que afectan las concentraciones de contaminantes internos. A menudo, se considera la tasa de generación de contaminante interno como el determinante más importante de la concentración de contaminantes interna. La eliminación o la disminución al máximo de las emisiones de contaminantes de las fuentes internas es un medio eficiente, enérgico y muy eficaz para disminuir las concentraciones de contaminantes internos.

##### 4.5.2 Ventilación

Además de disminuir al máximo las emisiones de contaminantes de las fuentes internas, para mantener los niveles aceptables de la IEQ, se debe proporcionar ventilación con una tasa adecuada de aire del exterior. La tasa de ventilación, es decir, la tasa de suministro de aire externo generalmente es normalizada por la superficie del piso, el número de ocupantes o el volumen de aire interno ( $h^{-1}$  o cambios de aire por hora). El aire externo suministrado a un edificio se debe distribuir en forma apropiada a las diversas habitaciones, para así mantener una IEQ aceptable en todo el edificio. La tasa requerida de suministro de aire externo a menudo cambia con el tiempo, debido a cambios en la ocupación y en las tasas de emisión de contaminante interno.

Con frecuencia, la ventilación por extracción local se usa en habitaciones que presentan altas fuentes de contaminantes o de olores. La ventilación por extracción es más eficiente para controlar las concentraciones de contaminantes internos que la ventilación general de todo el espacio (la ventilación general a menudo se denomina ventilación de dilución). La ventilación por extracción es un medio para controlar las diferencias de presión, descritas a continuación.

#### 4.5.3 Control de la presión

Con frecuencia se usan los sistemas HVAC en los edificios comerciales para mantener las diferencias de presión entre los diferentes espacios internos y externos. La conservación de los edificios bajo presión positiva respecto del exterior puede ayudar a mantener la IEQ, al limitar la infiltración de aire del exterior que pueda afectar adversamente el confort térmico y contener humedad y contaminantes.

La conservación de las diferencias de presión entre los diferentes espacios internos puede limitar la tasa de transporte de contaminantes entre estos espacios. Por ejemplo, los recintos para fumadores, los baños y laboratorios a menudo son despresurizados de modo que los contaminantes generados dentro de estas habitaciones no se filtren hacia las habitaciones cercanas.

#### 4.5.4 Limpieza del aire

La limpieza del aire particulado o gaseoso (ASHRAE 1996, Capítulos 24 y 25) se puede usar para extraer los contaminantes del aire interno recirculado o del aire que entra desde el exterior. La mayoría de los edificios comerciales usa filtros para filtrar las partículas del sistema HVAC. Corrientemente, estos filtros son poco eficaces para extraer las partículas en el caso de partículas de un diámetro aproximadamente menor que 1  $\mu\text{m}$  (Hanley et al. 1994). Sin embargo, filtros de partículas con un amplio rango de eficiencias para partículas de dimensiones menores que 1 micrón se encuentran disponibles con facilidad para su uso en edificios comerciales, como así también las concentraciones de partículas internas se pueden reducir substancialmente con el uso de filtros de aire de alta eficiencia. Para mantener la eficiencia de los sistemas de filtros, el método de instalación de los filtros debe impedir fugas de aire significativas entre o alrededor de los filtros. En comparación, los filtros de partículas, limpiadores de aire gaseoso tales como las camas de carbón activado, se usan solamente en pequeñas minorías de edificios debido a sus costos más elevados y a su comportamiento incierto; sin embargo, se han dedicado considerables esfuerzos para desarrollar nuevas tecnologías para la limpieza del aire gaseoso.

Los sistemas de limpieza del aire requieren de un mantenimiento regular. Por ejemplo, los filtros de aire se deben reemplazar periódicamente para evitar que disminuya el flujo de aire y limitar emisiones de olor y desarrollo microbiológico en los filtros sucios, como así también, limpiar periódicamente las bandejas colectoras de condensación.

#### 4.5.5 Procesos de extracción de contaminantes naturales

Para algunos contaminantes existen otros procesos de extracción naturales. Entre los ejemplos están la pérdida de ozono debido a su reacción con las superficies internas y el depósito de partículas sobre las superficies. Estos procesos de extracción pueden influir sustancialmente en las concentraciones internas de estos contaminantes.

#### 4.5.6 Recirculación del aire y formas del flujo de aire

La forma del flujo de aire interno también influye en la IEQ. La recirculación mecánica de aire disemina los contaminantes emitidos desde fuentes localizadas a través de todo el edificio, de modo que queda expuesta una mayor cantidad de población, sin embargo, la recirculación puede disminuir la concentración de contaminantes cerca de las fuentes. También, la recirculación de aire a través de los sistemas de limpieza del aire puede disminuir las concentraciones de contaminantes internos.

La forma del flujo de aire dentro de las habitaciones también influye en las exposiciones a los contaminantes internos. Una forma del flujo de aire de piso a cielo raso, puede disminuir las concentraciones de contaminantes en la zona de respiración. Una forma del flujo de aire de circuito corto entre el suministro y las grillas de retorno de aire a nivel del cielo raso puede aumentar las concentraciones de contaminantes en la zona de respiración.

#### 4.5.7 Mantenimiento, limpieza y puesta en marcha

Generalmente, se cree que, el mantenimiento, la limpieza y la puesta en marcha del sistema HVAC y la construcción, son determinantes y significativos en las concentraciones de contaminantes internos. Un mantenimiento deficiente del sistema HVAC puede llevar a un control deficiente del confort térmico interno o del suministro de aire del exterior y al desarrollo de microorganismos dentro del sistema HVAC. Los filtros de aire se pueden convertir en fuentes de olores o ser un sustrato para el desarrollo microbiológico (Elixmann et al. 1990, Martikainen et al. 1990). La puesta en marcha del sistema HVAC y el equilibrio del aire contribuyen a asegurar que el sistema se comporte de la manera contemplada. En un amplio estudio de edificios de oficinas en el cual se consignaron quejas relacionadas con la salud (Sieber et al. 1996), el aumento significativo del predominio de los síntomas en la salud respiratoria se asoció a un deficiente mantenimiento del HVAC y a una limpieza menos frecuente del edificio.

Los métodos y la calidad de la limpieza del edificio afectan las emisiones de olor de las superficies y la cantidad de partículas sobre las superficies que pueden llegar a quedar suspendidas en el aire.

Aunque generalmente el aumento del mantenimiento y de la limpieza se considera beneficioso, los productos y las actividades de mantenimiento pueden ser fuentes de contaminantes internos (por ejemplo, compuestos para limpiar, ceras) y las actividades de limpieza pueden ser fuente de partículas suspendidas.

## **4.6 Síntomas de salud específicos no agudos y enfermedades relacionadas con los edificios**

El público general está familiarizado con numerosos efectos en la salud que pueden ser influenciados por la IEQ (y por las medidas de la conservación de la energía), tales como las enfermedades respiratorias agudas, las alergias, el asma y el cáncer. Esta norma no examina la naturaleza de estos efectos en la salud. Más bien, esta subcláusula describe brevemente dos clases menos familiares de efectos en la salud relacionados con los edificios: síntomas de salud agudos no específicos asociados a los edificios y enfermedades relacionadas con los edificios. Estudios de mayor alcance sobre los efectos en la salud asociados a los factores de la IEQ se proporcionan en la literatura publicada (por ejemplo, Gammage y Berven 1996).

### **4.6.1 Síntomas de salud no específicos**

Los síntomas de salud más comunes atribuidos por los ocupantes de los edificios a sus ambientes internos son los síntomas de salud no específicos que no indican una enfermedad específica, tales como irritación de ojos, nariz y piel, dolor de cabeza, fatiga, opresión en el pecho y dificultad para respirar. Estos síntomas se denominan comúnmente síntomas del síndrome del edificio enfermo; sin embargo, usamos el término síntomas de salud no específicos debido a que el término síndrome del edificio enfermo puede ser engañoso, es decir, el edificio no está enfermo y el edificio no siempre es la causa de los síntomas. La gente experimenta comúnmente estos síntomas de salud no específicos; sin embargo, su predominio o gravedad varía considerablemente entre los edificios y, en algunos edificios, los síntomas coinciden con los períodos de ocupación del edificio.

Algunos síntomas de salud no específicos son experimentados frecuentemente por una fracción sustancial de trabajadores de oficinas (por ejemplo, Brightman et al. 1997, Fisk et al. 1997, Nelson et al. 1995). Las causas de los síntomas de salud no específicos al parecer se deben a múltiples factores y no están bien comprendidas.

Aunque se sabe que factores psicosociales, tales como el nivel de tensión en el trabajo influyen en los síntomas de salud no específicos, también se conocen o hay sospechas de diversas características de los ambientes internos y de los edificios que influyen en estos síntomas entre las que se incluyen: tipo de sistema de ventilación, tipo o existencia de humidificadores, tasa de ventilación del aire externo, contaminación química y microbiológica de la ventilación del aire interno y de las superficies internas y temperatura y humedad internas. (Mendell 1993; Sundell 1994). En promedio, los ocupantes de edificios con aire acondicionado sellado informan sobre mayor cantidad de síntomas que los ocupantes de edificios ventilados naturalmente. Los humidificadores incrementan la probabilidad de que los ocupantes informen sobre estos síntomas posiblemente porque pueden ser fuente de aerosoles. La mayoría de los estudios ha encontrado que temperaturas más bajas del aire interno se asocian a pocos síntomas de salud no específicos. Los síntomas han disminuido mediante la aplicación de medidas prácticas, tales como aumento de la ventilación, disminución de la temperatura y una mejor limpieza de pisos y asientos (Mendell 1993).

Los síntomas de salud no específicos constituyen un medio de distracción del trabajo y pueden conducir a ausentismo laboral (Preller et al. 1990) y consultas médicas. Si los problemas son graves y es necesario investigar el edificio, hay costos financieros para sustentar las investigaciones y el personal que administra el edificio, el personal de salud y seguridad y los ingenieros del edificio hacen, característicamente, esfuerzos considerables. Las respuestas a los síntomas de salud no específicos han significado cambios costosos en el edificio.

#### **4.6.2 Enfermedades relacionadas con el edificio**

En comparación con los síntomas de salud no específicos, el término enfermedad relacionada con el edificio se usa a veces para describir un efecto en la salud relacionado con un edificio específico con causas conocidas y hallazgos clínicos objetivos. Entre los ejemplos se incluyen la enfermedad Legionnaires, la neumonitis hipersensible, el cáncer pulmonar debido a exposición a radón y los efectos en la salud que se sabe son consecuencias de exposiciones a compuestos tóxicos específicos del edificio. Las alergias y el asma son consideradas por algunos como enfermedades relacionadas con los edificios.

#### **4.7 Poblaciones sensibles**

Subconjuntos significativos de la población total tienen un aumento de la sensibilidad a los contaminantes internos. Aproximadamente un 20% de las personas tienen alergias ambientales y aproximadamente el 10% experimenta asma (Committee on Health Effects of Indoor Allergen 1991). La sensibilidad de las personas a los irritantes químicos y su capacidad para detectar olores también varía. Para mantener bajos los niveles relacionados con quejas por problemas de salud y efectos en la salud, el ambiente interno se debe mantener a un nivel satisfactorio para una mayoría sustancial de ocupantes, muchos de los cuales son más sensibles que la persona promedio a los contaminantes internos.

Una parte muy pequeña de la población informa acerca de efectos graves en la salud cuando está expuesta a concentraciones extremadamente bajas de una gran variedad de sustancias químicas en el aire. A esta alta sensibilidad a dichas sustancias químicas puede seguir un período de sensibilización causado por la exposición a una concentración más elevada de una o más sustancias químicas. El término sensibilidad química múltiple (SQM) se usa comúnmente para describir este fenómeno. Existe una gran incertidumbre y controversia dentro de la comunidad médica acerca del concepto de SQM. El estado actual del conocimiento sobre SQM y sus causas, fisiológicas y psicológicas es muy limitado. Los propietarios y operadores de edificios y los profesionales encargados del diseño y la energía de los edificios, habitualmente no tienen información suficiente para eliminar los síntomas de salud en individuos con SQM.

## 4.8 Normas, códigos y directrices sobre ventilación y calidad ambiental interna

Tabla 1 - Ejemplos de normas, códigos o directrices pertinentes a la IEQ en edificios comerciales no industriales

Título	Organización	Contenido principal
Norma ASHRAE/ANSI 55-1992, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (ASHRAE 1992b)	ANSI <sup>b)</sup> /ASHRAE <sup>b)</sup>	Rango aceptable de temperatura, humedad y velocidad del aire
Norma ASHRAE 62-1998, Ventilation for acceptable indoor air quality IAQ(ASHRAE 1980)	ANSI/ASHRAE	Tasas mínimas aceptables de ventilación por ocupante. Un comportamiento alternativo IAQ mantiene las concentraciones de contaminantes seleccionados bajo los límites y la satisfacción subjetiva relacionada con el aire sobre un límite. Incluye algunos límites para concentraciones de contaminantes
ISO 7730:1994 Moderate thermal environments determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort (ISO 1994)	ISO <sup>c)</sup>	Rango aceptable de temperatura, humedad y velocidad del aire
ANSI/IESNA-RP-I-1993	ANSI/IESNA <sup>d)</sup>	Para iluminación de oficina los tópicos cubiertos incluyen labores de oficina, proceso de diseño, criterios de iluminación para el comportamiento y el confort visual, factores ambientales luminosos, sistema de iluminación, mantenimiento, zonas de luz, energía y gestión de la energía
Acción concertada europea, calidad del aire interno y su impacto en el hombre, informe N°11: Directrices para los requisitos de ventilación en edificios (ECA 1992)	Comisión de las Comunidades Europeas, Directorio General para Ciencia, Investigación y Desarrollo	Tasas mínimas de ventilación por unidad de emisión sensorial de contaminante interno en olfs <sup>e)</sup> para satisfacer un 70%, 80% o 90% de personas basadas en juicios iniciales cuando ingresan a un espacio. Tasa mínima alternativa de ventilación para proteger la salud
Directrices sobre la calidad del aire para Europa (WHO 1987)	Oficina regional de WHO <sup>f)</sup> para Europa	Las directrices para concentraciones de 25 sustancias químicas rigen para el aire interno y externo
Calidad del aire climático interno Publicación NKB N° 61 (NKB 1991)	Comité nórdico sobre Reglamentos de construcción (Reglamento NKB)	Directrices generales relativas a la calidad mínima del aire admitido, limitación de la diseminación de contaminantes internos (se desaconseja la recirculación del aire), uso de materiales de construcción, mobiliario, procesos y actividades que producen bajas emisiones, asegurar la aptitud para la limpieza de los edificios y HVAC; equilibrio del aire, eficiencia mínima del cambio de aire, documentación necesaria y funcionamiento y mantenimiento. También, tasas mínimas de suministro de aire externo que son la suma de una tasa mínima por unidad de la superficie del piso y una tasa mínima por persona

(continúa)

Tabla 1 - Ejemplos de normas, códigos o directrices pertinentes a la IEQ en edificios comerciales no industriales (conclusión)

Título	Organización	Contenido principal
Ley para el mantenimiento de la salubridad de los edificios, 1979 (Ministerios 1970)	Ministerios de Justicia, Salud y Bienestar, Trabajo y Construcción, Japón	Límites específicos o rangos aceptables para la temperatura interna, humedad relativa, velocidad del aire, concentración de monóxido de carbono y concentración de la suspensión de partículas. Especifica requisitos de capacitación y ensayos para los ingenieros de salubridad en construcción y vigilancia del mantenimiento y gestión de los edificios por los ingenieros de salubridad de los edificios. Requiere la conservación de documentos incluyendo aquellos sobre el estado de los reglamentos del aire, manejo del suministro de agua y aguas servidas, limpieza y control de roedores, insectos y otras plagas. Especifica multas para el caso de violaciones de la ley
<p>a) ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.</p> <p>b) ANSI : American National Standards Institute.</p> <p>c) ISO : International Organization for Standardization.</p> <p>d) IESNA : Illuminating Engineering Society of North America.</p> <p>e) Un olf es la tasa de emisión sensorial de contaminantes de una persona normal (no fumadora). La tasa total sensorial de emisión de contaminantes internos, de las personas y de otras fuentes, se expresa en olfs.</p> <p>f) WHO : World Health Organization.</p>		

#### 4.9 Relación entre la IEQ y productividad

El mejoramiento de la IEQ tiene el potencial para mejorar la productividad de los trabajadores, en parte porque reduce:

- a) costos por cuidados de la salud;
- b) ausentismo por enfermedad;
- c) menor rendimiento en el trabajo causado por enfermedad o síntomas adversos en la salud; y
- d) costos por responder a las quejas de los ocupantes y los costos por concepto de las investigaciones relacionadas con la IEQ.

Algunas características del ambiente interno, tales como las temperaturas y la calidad de la iluminación, también pueden influir en el comportamiento del trabajador sin producir repercusiones en la salud. En muchas actividades, tales como el trabajo de oficina<sup>3)</sup>, los sueldos del trabajador sumados a los beneficios dominan los costos totales; por lo tanto, los aumentos de la productividad en porcentajes muy pequeños, incluso una fracción del 1%, a menudo son suficientes para justificar los gastos para efectuar mejoramientos del edificio que aumentan la productividad.

En el presente, las relaciones entre edificios específicos y características de la IEQ y la productividad no han sido bien cuantificadas.

NOTA - Sin embargo, Fisk y Rosenfeld (1997, 1998) desarrollaron estimaciones del potencial para mejorar la productividad en Estados Unidos por medio de cambios en los ambientes internos. El estudio indica que las características de los edificios y del HVAC están asociadas al predominio de infecciones respiratorias agudas y síntomas de alergia y asma y síntomas de salud no específicos.

Para el rango normal de condiciones de iluminación internas, los efectos del mejoramiento de la iluminación en el comportamiento del trabajo típico de oficina no se entienden bien. Diversos estudios han concluido que el rendimiento es afectado sólo por niveles de iluminación inhabitualmente bajos o han encontrado que el comportamiento cambia sólo con un pequeño tipo de contraste bajo (Fisk y Rosenfeld 1997). Sin embargo, un estudio reciente de laboratorio con ensayos de rendimiento computarizados sugiere que los balastos de alta frecuencia pueden aumentar el rendimiento (Veitch y Newsdam 1998). Existen pruebas de que el mejoramiento de la calidad de la luz permite mejorar el rendimiento de trabajos que visualmente son muy exigentes, tal como la clasificación de correspondencia o las inspecciones detalladas de productos, en varios porcentajes. Finalmente, hay pruebas de que cambios muy pequeños de temperatura, un par de grados centígrados, pueden aumentar o disminuir el rendimiento del trabajo de oficina. Sin embargo, la temperatura óptima varía con el tipo de trabajo. También, las condiciones térmicas óptimas para el rendimiento del trabajo pueden diferir de las condiciones óptimas para el confort. De los análisis de la literatura científica existente y de los cálculos usando métodos estadísticos, *los beneficios potenciales anuales a escala nacional* estimados del mejoramiento de la IEQ incluyen lo siguiente:

- reducción de 1% a 10% de las infecciones respiratorias agudas y de los síntomas de alergia y asma;
- reducción de 30% a 50% de los síntomas de salud agudos no específicos;
- aumento de 0,5% a 3% en el rendimiento del trabajo de oficina; y
- economías anuales del costo asociadas y ganancias en la productividad de 30 billones a 170 billones de dólares.

---

3) En los edificios destinados a oficinas, los sueldos son característicamente 100 veces más altos que los costos de energía o mantenimiento del edificio.

## 5 Prácticas recomendadas para mantener la IEQ

Esta cláusula describe las prácticas recomendadas que tienen amplia aceptación por considerarse beneficiosas.

### 5.1 Mantenimiento de una buena calidad del aire interno

#### 5.1.1 Emisiones límites de contaminantes de fuentes internas

- 1) La limitación de las tasas de emisión de contaminantes de fuentes internas es fundamental para mantener una buena IAQ con medidas eficaces en función del costo. Aunque en general no es posible controlar las tasas de emisión de contaminantes de los ocupantes, las emisiones de muchas otras fuentes de contaminantes se pueden disminuir al máximo ciñéndose a las prácticas siguientes: se debería restringir el acto de fumar en recintos para fumadores cerrados y despresurizados<sup>4)</sup>, desde los cuales el aire es evacuado hacia el exterior. Alternativamente, el acto de fumar en el interior se debería eliminar por completo.
- 2) Se debería hacer una selección de lo siguiente: materiales de construcción, mobiliario, equipos para oficinas y productos para limpiar y para controlar plagas y prácticas con bajas tasas de emisión de olores y VOCs. Sin embargo, en general la selección de productos que producen bajas emisiones es una labor difícil debido a la limitada información sobre emisiones de VOCs, la falta de métodos normales para determinar las tasas de emisión, y porque los efectos en la salud resultado de las exposiciones a numerosos VOCs y mezclas de los mismos, no están bien comprendidos. Numerosas actividades como la limpieza, pintura y control de plagas se deberían ejecutar cuando el edificio no está ocupado. Los productos para limpiar y controlar plagas se deberían diluir y aplicar correctamente.
- 3) Para limitar el desarrollo de hongos y bacterias se deberían eliminar las filtraciones de agua de las instalaciones sanitarias y de la envolvente del edificio. Los materiales de construcción humedecidos se deberían secar rápidamente (por ejemplo, dentro de uno o dos días) o sacar y reemplazar. Los materiales de construcción, incluyendo el hormigón, se deberían secar antes de quedar cubiertos (por ejemplo, con una carpeta) o encerrados (por ejemplo, en una cavidad de un muro).
- 4) Para limitar los problemas microbiológicos en los sistemas HVAC, se deben controlar las fuentes de humedad de los sistemas HVAC. La entrada de gotitas de agua y de nieve en las entradas de aire del exterior se debe restringir por medio de un diseño apropiado del sistema de admisión de aire. Por ejemplo, uso de rejillas de ventilación a prueba de agua y limitación de las velocidades de admisión de aire. Los depósitos para evacuar la condensación se deben evacuar totalmente, limpiar periódicamente y tener trampas adecuadas en los sistemas para evacuar la condensación. Las velocidades del aire a través de serpentines y humidificadores deben estar limitadas para impedir que las gotitas de agua sean arrastradas en la corriente de aire y humedezcan las superficies hacia abajo.

---

4) Los recintos para fumadores se deberían mantener despresurizados con respecto a los recintos adyacentes.

## NCh3055

- 5) Para limitar las fuentes microbiológicas de los edificios, la condensación de vapor de agua dentro de la envolvente del edificio y en otras superficies internas, incluyendo los pisos de losas en contacto con el suelo, se deben limitar controlando la humedad interna, mediando el uso adecuado de barreras contra la humedad y aislación térmica en la envolvente del edificio y controlando las diferencias de presión internas y externas. Los requisitos específicos varían con el clima.
- 6) No se recomienda construir edificios en suelos con niveles no habituales de contaminantes peligrosos (VOCs o Radón) o se deberían tomar medidas especiales para impedir que los gases del suelo sean arrastrados hacia el edificio. En los casos que las losas estén construidas sobre suelos con humedad no habitual, se debería usar materiales a prueba de agua para limitar el transporte de humedad del suelo a la losa.
- 7) Los contaminantes emitidos desde fuentes poderosas puede que requieran ser evacuados directamente al exterior. Los productos de la combustión de los artefactos se deberían ventilar hacia el exterior. Las tasas de evacuación de aire de los recintos de almacenamiento y de los baños de los conserjes deberían ser suficientes para mantener estos recintos despresurizados con relación a los recintos cercanos y el aire se debería evacuar directamente al exterior.

Los equipos con altas tasas de emisión de contaminantes u olores deberían quedar aislados en recintos (por ejemplo, máquinas copiadoras o cocinas) con altas tasas de intercambio de aire, evacuando el aire directamente al exterior. Estos recintos también se deberían mantener despresurizados. Los estacionamientos para vehículos deberían estar separados físicamente de los espacios ocupados y mantenidos bajo presión negativa respecto de los espacios ocupados adyacentes.

- 8) Los recintos para equipos mecánicos no se deberían usar para almacenar materiales de construcción, solventes, productos destinados a la limpieza, pesticidas y otros contaminantes o materiales que emiten olores.
- 9) Durante la construcción del edificio y de proyectos de renovación importantes, puede haber en el edificio una fuerte presencia no habitual de fuentes de partículas y VOCs. (Se recomienda emplear productos o procesos con bajas emisiones de contaminantes cuando sea factible).

Los ocupantes deben quedar aislados de estas fuentes de contaminantes usando paredes internas temporales cuando sea necesario y manteniendo la presión de aire de la zona de construcción más baja que la presión en los espacios ocupados adyacentes. Se deberían tomar medidas para asegurar que los sistemas de ventilación que operan en la zona de construcción no resulten contaminados por los polvos que se generan de ésta, o en caso contrario los sistemas se deberían limpiar total y escrupulosamente antes de la ocupación definitiva del edificio (SMACNA 1995). Una demora corta (por ejemplo, algunos días a unas semanas) en la ocupación de espacios renovados recién construidos puede ayudar a prevenir quejas por olores e irritación relacionados con las emisiones de VOCs de los materiales nuevos.

- 10) Se recomienda emplear buenas prácticas de aseo y limpieza para limitar la acumulación de contaminantes sobre las superficies y disminuir así, el desarrollo microbiológico potencial sobre estas superficies.

### 5.1.2 Aseguramiento de la calidad adecuada del aire admitido

Es esencial asegurar la calidad adecuada del aire admitido. En lo posible, los edificios se deberían ubicar en zonas con una calidad de aire exterior aceptable. Las admisiones de aire del exterior no deberían quedar cerca de fuentes poderosas de contaminantes tales como tubos de escape de motores de combustión, conductos de escape de las campanas para evacuar humos, ventilaciones sanitarias, calles congestionadas, muelles de carga, estacionamientos para vehículos, agua estancada, torres de enfriamiento y vegetación. La admisión de aire del exterior debe estar separada suficientemente de los sitios donde el aire de la ventilación es evacuado para impedir que éste vuelva a entrar.

Se debería filtrar aire que entra para sacar las partículas. La eficiencia de la filtración de partículas mínima recomendada varía entre la IAQ y las normas y directrices de ventilación; sin embargo, el uso de filtros que exceden los requisitos mínimos es una alternativa para mejorar la IAQ, a menudo con un costo incremental pequeño o insignificante. Si hay concentraciones de contaminantes inaceptables en el aire externo, se puede requerir limpiar el aire gaseoso.

### 5.1.3 Mantenimiento de las tasas mínimas de ventilación

Se recomienda mantener o exceder las tasas mínimas de ventilación de los requisitos aplicables. El sistema HVAC debería estar diseñado de manera que las tasas del aire externo se puedan medir usando técnicas de medición prácticas. En edificios con sistemas de ventilación donde el volumen de aire es variable (VAV), se pueden necesitar controles especiales para asegurar que la admisión de aire exterior mínima dentro de la unidad de manejo de control de aire se mantenga durante todas las condiciones de operación (Cohen 1994, Drees y Wenger 1992, Solberg et al. 1990).

Además, para mantener la tasa mínima de admisión de aire externo del edificio, el sistema de ventilación debe estar diseñado y equilibrado de manera de asegurar la entrega apropiada de aire a cada sección o habitación importante del edificio. En los sistemas VAV, las unidades de control VAV deben tener una posición de abertura mínima<sup>5)</sup>, para asegurar el suministro de aire externo requerido para zonas específicas del edificio.

Cuando el suministro de aire y las rejillas para el retorno de aire están situados en el techo o cerca de éste y el suministro de aire es más caliente que el aire de la habitación, el suministro de aire puede tener un recorrido corto con lo cual las rejillas de retorno producen una ventilación deficiente a nivel respiratorio, es decir, una baja eficiencia del cambio de aire (Fisk et al. 1997b, ASHRAE 1998). El sistema de ventilación debería estar diseñado para asegurar una alta eficiencia del cambio de aire o se debería incrementar la tasa de suministro de aire externo para corregir la eficiencia del cambio de aire cuando ésta es deficiente.

---

5) Si las cargas de enfriamiento son bajas, puede que se necesite aumentar las temperaturas del suministro de aire para evitar el exceso de enfriamiento del espacio acondicionado.

#### 5.1.4 Recirculación del aire interno

La recirculación parcial o porcentual del aire interno es una práctica normal en algunos países. Cuando el aire se hace recircular, se debería filtrar para sacar las partículas. Sin embargo, a menudo los filtros se usan solamente para impedir la suciedad y la obstrucción del equipo HVAC. Estos filtros tienen una eficiencia muy baja para partículas de tamaño respirable (de menos de 2,5  $\mu\text{m}$ ). El uso de filtros que exceden los requisitos mínimos es una alternativa para mejorar la IAQ, a menudo, con un costo incremental pequeño o insignificante.

#### 5.1.5 Mantenimiento del sistema HVAC

El mantenimiento preventivo regular del sistema HVAC es necesario para asegurar la entrega apropiada de aire externo a través de todo el edificio y limitar el desarrollo de microorganismos en el sistema. Se debería desarrollar y poner en práctica un plan escrito para el mantenimiento periódico y documentar las actividades de mantenimiento. Entre los elementos importantes del mantenimiento periódico para mantener una buena IEQ se incluye el cambio de filtros<sup>6)</sup>, la limpieza de los depósitos de evacuación y los serpentines de enfriamiento, la verificación del funcionamiento de los ventiladores y la verificación de los reguladores de admisión de aire que influyen en las tasas de flujo de aire. El ensayo y el equilibrio del sistema HVAC puede ser necesario en las circunstancias siguientes:

- a) después de cambios significativos en el edificio, sistema HVAC, ocupación del sistema; o actividad dentro del edificio;
- b) cuando el personal de mantenimiento ha reajustado los controles; y
- c) cuando no hay registros exactos.

#### 5.1.6 Enfoque integrado para la IEQ

Está ampliamente reconocido que un enfoque integrado o un enfoque global de todo el edificio es el medio más eficaz para economizar energía, ya que el comportamiento energético depende de las interacciones de sistemas del edificio, y de su control y funcionamiento. El comportamiento de la IEQ depende también de la interacción entre el diseño, los materiales de construcción y el funcionamiento, control y mantenimiento del edificio, por lo tanto, se recomienda un enfoque integrado o global del edificio para maximizar la IEQ. Este enfoque integrado puede incluir lo siguiente<sup>7)</sup>:

- a) metas u objetivos de la IEQ;
- b) ocupación y fuentes de contaminantes internos y desaguaderos contaminantes y su variación a través del tiempo;

---

6) Los filtros se convierten en fuentes de olores. También los microorganismos pueden colonizar los filtros.

7) Para una descripción más detallada de los elementos del plan de gestión la IEQ, ver Building Air Quality Action Plan (*Plan de acción para la calidad del aire en edificios*), Estados Unidos, EPA y NIOSH, <http://www.epa.gov/iaq/largebdgs/actionpl.html>.

- c) diseño del edificio y del sistema HVAC;
- d) puesta en marcha y registros pertinentes;
- e) capacitación y entrenamiento; y
- f) funcionamiento y mantenimiento del edificio.

## 5.2 Gestión de planes y programas relacionados

Se recomienda el establecimiento e implementación de planes de gestión de la IEQ para ayudar a mantener una alta calidad y un alto nivel de satisfacción del ocupante respecto de la IEQ. Los elementos comunes de los planes de gestión de la IEQ deben incluir lo siguiente:

- 1) Seleccionar un gerente de la IEQ responsable por la gestión y coordinación de todos los aspectos de ésta.
- 2) Desarrollar un perfil de la IEQ del edificio.
- 3) Asignar responsabilidades y capacitar al personal.
- 4) Preparar una lista de verificación de la IEQ.
- 5) Inspeccionar periódicamente el edificio y el sistema HVAC.
- 6) Facilitar el funcionamiento y las prácticas de mantenimiento para mantener la IEQ.
- 7) Procedimientos específicos para registrar y responder a las quejas de los ocupantes.
- 8) Prácticas especiales para mantener la IEQ durante la renovación del edificio, pintura, uso de pesticidas u otros períodos de alta generación de contaminantes.
- 9) Conservación de la documentación relativa a la IEQ.

## 6 Vínculos entre las mediciones de la conservación de la energía (ECM) y la IEQ

A continuación se indican las mediciones de la conservación de la energía comunes para los edificios comerciales, su influencia potencial en la IEQ y las acciones preventivas y mitigantes que pueden contribuir para asegurar una IEQ aceptable. La información principal se entrega en Tabla 2. Para numerosas mediciones de la conservación de la energía, las referencias citadas entregan información adicional sobre los impactos de la IEQ o en las mediciones preventivas o mitigantes relacionadas. Las mediciones marcadas con “♦” en Tabla 2 merecen consideración especial porque a menudo mejoran simultáneamente la IEQ y economizan energía. Debido al creciente interés en la IEQ, las propuestas sobre eficiencia energética que se espera protegerán o mejorarán la IEQ deben tener ventajas competitivas respecto de las propuestas que no consideran la IEQ.

La última columna de Tabla 2 relaciona cada medición de la conservación de la energía con las medición y verificación (M&V) de la IEQ indicadas en Tabla 4, más directamente relacionadas.

Tabla 2 - Lista de MCE específicas, su influencia potencial en la IEQ y medidas preventivas y mitigantes relacionadas

Medición de la conservación de la energía	Influencia potencial en la IEQ	Precauciones o mitigaciones de la IEQ	Tabla 4 Columna
<b>Iluminación</b>			
♦ Uso de lámparas, balastos, artefactos eficientes para la conservación de la energía (IES 1993)	Mejoramiento de la calidad de la iluminación si se diseña e instala un método de iluminación apropiado.	Realzar la calidad de la iluminación en el diseño. Verificar los niveles de iluminación en las pantallas VDT. Proporcionar iluminación para tareas visuales. Asegurar que las modernizaciones en iluminación no perturben y liberen asbesto, fibra de vidrio o polvos irritantes.	18 - 20
Uso de controles de iluminación automáticos, sensores de ocupación, oscurecimiento (IES 1983)	Posible mejoramiento de la calidad de iluminación. Sistemas de control del funcionamiento incorrectos pueden degradar la calidad de la iluminación.	Destacar la calidad de la iluminación en el diseño. Puesta en marcha de los servicios de control. Proporcionar iluminación para tareas visuales cuando sea aplicable.	18 - 20
Retiro de lámparas y artefactos	Riesgo de un nivel de iluminación general o local insuficiente.	Asegurar niveles de iluminación y distribución de la luz adecuados. Proporcionar al ocupante iluminación para tareas visuales controlable cuando sea aplicable.	18 - 20
Uso de ventanas, claraboyas, persianas-celosías fijas y móviles y tubos de luz para proporcionar iluminación natural (IES 1993)	Posible mejoramiento o degradación de la calidad de la iluminación dependiendo de la ubicación y las características ópticas de elementos de construcción que proporcionan luz diurna. Existe cierta evidencia de que la proximidad de ventanas incluso si no están abiertas, está relacionada con una disminución de la frecuencia de síntomas de salud agudos no específicos relacionados con el edificio (Fisk et al. 1993).	Asegurar un diseño apropiado de los sistemas de iluminación natural para prevenir problemas de iluminación tales como luz intensa o niveles incorrectos o irregulares de iluminación. Comprobar los niveles de iluminación. Proporcionar al ocupante iluminación para tareas visuales.	18 - 20
Uso de controles de oscurecimiento regulables en forma automática y manual, oscurecimiento fijo, películas (celofán) para ventanas (IES 1993)	Mejoramiento de la calidad de iluminación posible. Controles de oscurecimiento que funcionan incorrectamente pueden degradar la calidad de iluminación. El oscurecimiento puede reducir las emisiones potenciales de contaminantes de los materiales internos causadas por (o alimentadas por) la exposición a la luz solar directa.	Puesta en servicio de sistemas de control del oscurecimiento para asegurar un funcionamiento correcto. Proporcionar al ocupante iluminación para tareas visuales.	18 - 20

(continúa)

Tabla 2 - Lista de MCE específicas, su influencia potencial en la IEQ y medidas preventivas y mitigantes relacionadas (continuación)

Medición de la conservación de la energía	Influencia potencial en la IEQ	Precauciones o mitigaciones de la IEQ	Tabla 4 Columna
<b>Medidas de la conservación de la energía HVAC</b>			
Mejoramiento de la eficacia de los componentes del sistema HVAC (motores, bombas, ventiladores, enfriadores)	Probable influencia adversa en la IEQ si los componentes tienen la capacidad suficiente.	Puesta en servicio del sistema HVAC para asegurar el comportamiento apropiado bajo carga total y parcial en los modos de calefacción y enfriamiento (ASHRAE 1996).	No disponible
♦ Recuperación del calor del aire de ventilación evacuado o de otra fuente de calor residual	Si los sistemas de recuperación del calor permiten aumentar la tasa de suministro de aire externo, generalmente mejora la IEQ. Ver estudio sobre economizador del aire del exterior relacionado con contaminantes del aire externo. Algunos sistemas de recuperación del calor transfieren humedad o contaminantes desde el sistema de evacuación al suministro de corrientes de aire (ASHRAE 1992).	Ver estudio del economizador de aire del exterior relacionado con contaminantes del aire externo. Asegurar que el sistema de recuperación de calor no transfiera humedad o contaminantes indeseables al suministro del flujo de aire.	2, 4, 5, 8, 12, 13, 15, 21, 22
Disminución del tiempo de funcionamiento de componentes del sistema HVAC (por ejemplo, ventiladores, enfriadores) para ahorrar energía o limitar la demanda de energía pico	Riesgo de degradación del ambiente térmico interno y/o aumento de las concentraciones de contaminantes en el aire interno si los componentes no se hacen funcionar durante los períodos de ocupación. También, cuando los sistemas HVAC no están funcionando, las diferencias de presión interna y el transporte asociado de contaminantes entre zonas o entre exteriores e interiores no está controlado.	Los períodos de funcionamiento deben ser suficientes para asegurar confort térmico y ventilación aceptables durante la ocupación. La ventilación con aire externo debería preceder a la ocupación para reducir las concentraciones de contaminantes del aire emitidos por los materiales de construcción y suministros durante períodos sin ocupación/baja ventilación. Disminuir al máximo las fuentes de contaminación internas para reducir la carga de contaminación en el sistema de ventilación. Desconectar el equipo para limitar las demandas de energía pico sin sacrificar el confort térmico. Si se establecen las secuencias de la puesta en marcha del equipo HVAC, esto también puede reducir las demandas de energía, a menudo sin influir adversamente en la IEQ.	1 - 8, 21, 22

(continúa)

Tabla 2 - Lista de MCE específicas, su influencia potencial en la IEQ y medidas preventivas y mitigantes relacionadas (continuación)

Medición de la conservación de la energía	Influencia potencial en la IEQ	Precauciones o mitigaciones de la IEQ	Tabla 4 Columna
♦ Uso de economizador de aire externo <sup>a)</sup> para enfriamiento libre	Generalmente, la IEQ mejora debido al aumento del promedio de la tasa de ventilación. (Seppanen et al. 1989, Mudarri et al. 1996). Durante periodos de altas concentraciones de contaminantes externos, el uso del economizador puede aumentar las concentraciones internas de contaminantes externos. En climas húmedos, el uso del economizador puede aumentar las humedades internas y los problemas de la IEQ relacionados con la humedad potencial.	Colocar las admisiones de aire externo lo más alejadas posible de aquellas fuentes poderosas de contaminantes tales como escapes de vehículos, escapes de sistemas HVAC, almacenamiento de basuras y escapes de restaurantes (ASHRAE 1996). Si el aire externo está muy contaminado con partículas, usar filtros de aire de alta eficiencia. Si el aire externo está muy contaminado con ozono, considerar la verificación de los niveles de ozono internos y/o el uso de fibras de carbón de leña activado. Diseñar y controlar el economizador de HVAC para prevenir problemas de humedad. Los controles del economizador y las tasas asociadas mínimas de aire externo se deberían calibrar y mantener regularmente.	2, 4, 5, 8, 12, 13, 15, 21, 22
♦ Uso de enfriamiento previo nocturno usando aire externo (ASHRAE 1995)	La ventilación nocturna puede dar como resultado la disminución de las concentraciones de contaminantes generadas internamente cuando llegan los empleados a su trabajo. La ventilación nocturna con aire húmedo puede producir la condensación del equipo de HVAC o de los componentes de construcción aumentando el riesgo de desarrollo de microorganismos.	Diseñar y poner en funcionamiento sistemas de ventilación nocturnos para prevenir problemas de humedad. Con frecuencia, los controles impiden el enfriamiento nocturno cuando la temperatura del punto de rocío externo es excesiva.	2, 15, 21, 22
Uso de un sistema de ventilación con volumen de aire variable (VAV) en lugar de un sistema de volumen constante	Riesgo de suministro de aire externo insuficiente cuando el enfriamiento interno o las cargas de calefacción son bajas (Mudarri et al. 1996). Ver estudio sobre suministro mínimo de aire externo con sistemas VAV en 5.1.3. Particularmente, en sistemas HVAC con fracción fija de aire externo, riesgo de enfriamiento excesivo e incomodidad térmica	Mantener la admisión de aire externo en el control manual de aire en o sobre los requisitos mínimos para todas las tasas del flujo de suministro de aire (Solberg et al. 1990, Cohen 1994, Janu et al. 1995, Utterson y Sauer 1998). Evitar que las unidades de control VAV se cierren totalmente cuando se satisfacen las temperaturas del espacio. Puede que sea necesario	2, 3 - 5, 8, 21, 22

(continúa)

Tabla 2 - Lista de MCE específicas, su influencia potencial en la IEQ y medidas preventivas y mitigantes relacionadas (continuación)

Medición de la conservación de la energía	Influencia potencial en la IEQ	Precauciones o mitigaciones de la IEQ	Tabla 4 Columna
	cuando las cargas de enfriamiento son bajas si el suministro mínimo de aire externo se mantiene y no se aumenta la temperatura del suministro de aire. Aumento del riesgo de problemas de confort térmico debido a la descarga de ventilación forzada.	aumentar las temperaturas del aire de suministro cuando las cargas de enfriamiento son bajas. Verificar las temperaturas internas y el suministro de aire externo local y total para el rango de cargas de enfriamiento. Usar registros del suministro, tasas mínimas de flujo del suministro y temperaturas que no causen la descarga de ventilación forzada e incomodidad térmica.	
Uso de transmisiones variables en lugar de reguladores para controlar el flujo	No se espera influencia en la IEQ.	Usar controladores del flujo dependientes de los flujos de aire medido en lugar de flujos de diseño o teóricos.	4, 5
Uso de sistemas de control de HVAC digitales computarizados. Vigilancia de la energía y sistemas de control	Fomento de la flexibilidad y facilidad del control del sistema HVAC con el uso de sistemas de control del funcionamiento apropiado, además se puede mejorar la IEQ. Los controles digitales facilitan el uso de la ventilación de demanda controlada basada en sensores de contaminantes.	Asegurar la función correcta del sistema de control mediante la puesta en servicio (ASHRAE 1996c). Asegurar una capacitación adecuada para los operadores del edificio.	2 - 5, 8
Disminución de las bajas de la presión del aire y de las fugas de aire en los sistemas de ductos	Puede permitir el mejoramiento del suministro de aire y del control térmico. Puede disminuir el ruido generado en los sistemas de ductos.	Puede ser necesario equilibrar el sistema de aire después de efectuar modernizaciones. Asegurar la calidad del conjunto de ductos para disminuir el ruido.	2, 3
Uso de enfriamiento y calentamiento radiantes hidrónicos <sup>(c)</sup> con la consiguiente economía de energía de los ventiladores	La temperatura radiante media resulta afectada. Posibles mejoramientos o degradaciones del confort térmico (por ejemplo, disminuye el riesgo de corrientes debido a un elevado movimiento de aire, pero aumenta el riesgo de incomodidad térmica por bajo movimiento de aire). Los	El diseño, el funcionamiento y el mantenimiento de prácticas de los sistemas de calefacción y enfriamiento radiantes deberían asegurar confort térmico y suministro de aire externo y bajos riesgos de filtraciones y condensaciones de agua aceptables. Puede ser necesario limpiar periódicamente los	1 - 5, 8, 21, 22

(continúa)

Tabla 2 - Lista de MCE específicas, su influencia potencial en la IEQ y medidas preventivas y mitigantes relacionadas (continuación)

Medición de la conservación de la energía	Influencia potencial en la IEQ	Precauciones o mitigaciones de la IEQ	Tabla 4 Columna
	<p>sistemas hidrónicos aumentan el riesgo de filtraciones de agua o de condensación de agua conducentes al desarrollo microbiológico.</p> <p>Reducción de la tasa promedio de suministro de aire externo si el enfriamiento radiante impide el uso del economizador de aire externo debido a la disminución de la capacidad de ventiladores y ductos.</p>	<p>paneles o radiadores radiantes. Se debería reparar de inmediato las filtraciones de agua. Se deben reemplazar o secar rápidamente los materiales dañados por el agua.</p>	
Disminución de la tasa mínima o promedio del suministro de aire externo (especialmente, cierre de los reguladores de amortiguadores de aire externo)	<p>El efecto principal es que la concentración de los contaminantes generados internamente aumenta potencialmente lo que lleva a reclamos y efectos adversos en la salud incluso aunque se reduzcan las concentraciones internas de contaminantes del aire externo (especialmente contaminantes como ozono y partículas que reaccionan o se depositan sobre superficies internas). En edificios con aire acondicionado, la humedad interna también puede disminuir.</p>	<p>Mantener las tasas mínimas de suministro de aire externo especificadas en los códigos y normas aplicables. No cerrar totalmente los reguladores de aire externo durante la ocupación. Disminuir al máximo las fuentes contaminantes internas para disminuir la carga contaminante en los sistemas de ventilación. Usar una mejor limpieza del aire gaseoso y de las partículas.</p>	4, 5, 8, 21, 22
♦ Aumento del suministro de las temperaturas del aire cuando se enfrien los espacios (puede disminuir la energía del enfriador pero aumentar la energía del ventilador)	<p>Un aumento mayor de las temperaturas del aire en los sistemas de ventilación VAV aumenta las tasas de suministro de aire. En numerosos sistemas VAV, las tasas del flujo de aire externo también aumentan llevando a la disminución de las concentraciones de contaminantes de aire generadas internamente. El aumento de las temperaturas del agua enfriada con frecuencia disminuye la extracción de humedad por el sistema HVAC dando como resultado humedades internas más altas.</p>	<p>Mantener las temperaturas del agua enfriada suficientemente bajas para controlar las humedades internas.</p>	1 - 3, 4, 5, 8

(continúa)

Tabla 2 - Lista de MCE específicas, su influencia potencial en la IEQ y medidas preventivas y mitigantes relacionadas (continuación)

Medición de la conservación de la energía	Influencia potencial en la IEQ	Precauciones o mitigaciones de la IEQ	Tabla 4 Columna
<p>Aumento de los puntos de regulación del termostato durante períodos de enfriamiento del espacio o disminución de los puntos de regulación durante períodos de calentamiento del espacio para economizar energía o limitar la demanda de energía pico límite (ASHRAE 1992b, ISO 7730).</p>	<p>Las temperaturas del aire cercanas o fuera de los límites de las zonas de confort térmico aplicables localmente tienen la probabilidad de aumentar los reclamos por incomodidad térmica, especialmente en edificios con aire acondicionado sin medios para que el ocupante pueda controlar. La aceptabilidad percibida por el ocupante respecto del aire disminuye a medida que la temperatura aumenta de 18°C a 28°C (Fang et al. 1997). En algunos estudios (Mendell 1993), el aumento de la temperatura del aire está asociado al aumento del predominio de los síntomas de salud agudos relacionados con el edificio.</p>	<p>Mantener las temperaturas dentro de los límites de las normas de confort térmico aplicables. Proporcionar ventiladores y calefactores del espacio que puedan ser controlados por los ocupantes. Muros y ventanas térmicamente eficientes ayudan a mantener el confort térmico (envolvente del edificio energéticamente eficiente). El reajuste de la temperatura del espacio para limitar las demandas de energía pico debería ser poco frecuentes y de duración limitada. Usar sistemas eficaces de energía HVAC o almacenar energía térmica para limitar las demandas de energía pico sin sacrificar el confort térmico.</p>	1 - 3
<p>Aumento de la aislación térmica interior o exterior de los sistemas de cañerías y de ductos</p>	<p>Una mayor aislación por lo general tiene un efecto insignificante en la IEQ. Hay potencial para mejorar el confort térmico si la aislación permite que el sistema HVAC satisfaga las cargas térmicas pico. Una mayor aislación con barreras de vapor puede reducir la condensación de humedad y el potencial para el desarrollo microbiológico. Aumento potencial en los síntomas de irritación si hay fibras o partículas de la aislación que ingresan al espacio ocupado o si la aislación libera VOCs a una alta tasa. La aislación interior de los ductos puede disminuir el ruido de los ventiladores (ASHRAE 1995). La aislación interior de los ductos puede ser colonizada por microorganismos (Morey 1991) produciendo potencialmente el aumento de las concentraciones internas microbiológicas y de aerosoles VOCs.</p>	<p>Asegurar que la aislación fibrosa esté aislada del aire interno. Reducir al máximo la liberación de fibras o partículas durante la instalación de la aislación y limpiar el espacio antes de que sea ocupado. Usar productos para la aislación con bajas tasas de emisión de VOCs especialmente de olores. La superficie de aislación instalada en el interior de los ductos debería impedir la liberación de fibras o partículas y no debería degradar. No se debería colocar la aislación de los ductos internos en lugares donde pueda ser humedecida o dañada, Sacar con rapidez la aislación húmeda o reparar la aislación dañada.</p>	1 - 3

(continúa)

Tabla 2 - Lista de MCE específicas, su influencia potencial en la IEQ y medidas preventivas y mitigantes relacionadas (continuación)

Medición de la conservación de la energía	Influencia potencial en la IEQ	Precauciones o mitigaciones de la IEQ	Tabla 4 Columna
<p>Ventilación controlada de la demanda (VCD) basada en <math>CO_2</math></p> <p>(Carpenter 1996, De Almeida y Fisk 1997, Internacional Energy Agency 1990, 1992, Emmerich y Persily 1997, Persdily 1993, (ASTM 1998).</p>	<p>La IEQ se puede mejorar o degradar dependiendo de la condición de referencia y de la estrategia para controlar el aire externo usada para la VCD. Es más probable mejorar la IEQ en espacios con alta ocupación en que dominan los contaminantes generados por los ocupantes. Los sistemas de VCD que proporcionan aire externo sólo después de que las concentraciones de <math>CO_2</math> exceden el punto de regulación, pueden llevar al aumento sustancial de las concentraciones internas de contaminantes de los componentes de construcción y mobiliario del edificio durante las primeras horas de la ocupación.</p>	<p>Evitar la VCD basada en <math>CO_2</math> cuando el edificio tenga fuertes emisiones de contaminantes de fuentes que no sean los ocupantes. Ventilar antes de ocupar el edificio para disminuir las concentraciones de contaminantes de fuentes que no son los ocupantes. Los lugares para medir <math>CO_2</math> deben proporcionar datos representativos de las concentraciones en los espacios ocupados.</p> <p>Considerar estrategias avanzadas de control de la VCD que suministran aire externo en proporción a la tasa de generación interna de <math>CO_2</math>, que es el mejor sustituto para la ocupación que la concentración de <math>CO_2</math> (Federspiel 1969). Verificar periódicamente la calibración de los sensores de <math>CO_2</math>.</p>	<p>4, 5, 8, 15, 21, 22</p>
<p>♦ Ventilación por desplazamiento</p> <p>(Los sistemas de ventilación por desplazamiento suministran generalmente el 100% del aire externo con el mejoramiento de la IEQ como objetivo principal. La adición de un sistema de recuperación de calor puede ser necesario para economizar energía con respecto a otros métodos de HVAC.</p>	<p>Generalmente, las concentraciones de contaminantes del aire generados internamente en la zona de respiración disminuyen (Seppanen et al. 1989, Yuan et al. 1998).</p> <p>Reducción del transporte de contaminantes desde las fuentes a otras habitaciones.</p> <p>Reducción del riesgo de corrientes térmicas. Aumento del riesgo de incomodidad térmica debido a gradientes verticales muy altas de la temperatura del aire. Aumento potencial de las concentraciones internas de contaminantes externos, en especial, contaminantes como el ozono y partículas que reaccionan con o se depositan sobre las superficies internas.</p>	<p>Ver estudio sobre economizadores de aire externo relacionado con contaminantes del aire externo. Diseñar y poner en funcionamiento sistemas de ventilación por desplazamiento para evitar corrientes en la cercanía de difusores del suministro y evitar gradientes excesivos en la temperatura del aire. La ventilación por desplazamiento sin paneles de enfriamiento radiantes puede ser eficaz sólo cuando la generación de calor interna es menor que <math>40 \text{ W m}^{-2}</math>.</p>	<p>1 - 5, 8, 21, 22</p>

(continúa)

Tabla 2 - Lista de MCE específicas, su influencia potencial en la IEQ y medidas preventivas y mitigantes relacionadas (continuación)

Medición de la conservación de la energía	Influencia potencial en la IEQ	Precauciones o mitigaciones de la IEQ	Tabla 4 Columna
<p>♦ Uso de ventilación natural con ventanas operables como sustituto para el aire acondicionado. (Olgay 1963, Koenisberger et al. 1973; Watson y Labs 1983, Awbi 1991, Givoni 1997, Busch 1992)</p>	<p>En ciertos climas, la aceptación térmica del ambiente puede aumentar porque los ocupantes de edificios ventilados naturalmente toleran un rango más amplio de condiciones térmicas (De Dear y Brager 1998). El confort térmico puede disminuir debido a temperaturas y humedades internas elevadas. En promedio los ocupantes de edificios con ventilación natural y ventanas operables presentan pocos síntomas de salud agudos no específicos. Las ventanas abiertas admiten sonidos del exterior que degradan potencialmente el ambiente acústico interno.</p>	<p>El diseño del edificio, por ejemplo, dimensiones, planta, aberturas para el aire externo, posición de las aberturas y oscurecimiento debe asegurar las condiciones térmicas y la ventilación natural adecuadas en todo el edificio. Generalmente es conveniente la ventilación cruzada. El uso de ventiladores controlados por los ocupantes puede fomentar el confort térmico. Las ventanas operables no se deberían ubicar cerca de fuentes externas concentradas de contaminantes o de sonidos molestos.</p>	<p>1 - 3, 6, 8, 21, 22</p>
<p>♦ Mantenimiento preventivo del sistema HVAC</p>	<p>El mantenimiento preventivo ayuda a asegurar el funcionamiento correcto del sistema HVAC, a veces economizando energía y mejorando la IEQ. Entre las medidas de mantenimiento preventivo que pueden economizar energía y mejorar la IEQ se incluyen la calibración de la temperatura y de los sensores de humedad, el reemplazo periódico de los filtros de aire, el mantenimiento del flujo de aire y de los sistemas para controlar la presión, el equilibrio de los flujos de aire para entregar una distribución correcta del aire y la limpieza de serpentines y otros componentes para disminuir la resistencia al flujo de aire y las fuentes de contaminantes en el sistema HVAC.</p>	<p>Asegurar que el mantenimiento preventivo no perturbe o libere fibras de asbesto (las que se pueden encontrar en los recintos mecánicos de muchos edificios antiguos).</p>	<p>2, 3, 21, 22</p>

(continúa)

Tabla 2 - Lista de MCE específicas, su influencia potencial en la IEQ y medidas preventivas y mitigantes relacionadas (continuación)

Medición de la conservación de la energía	Influencia potencial en la IEQ	Precauciones o mitigaciones de la IEQ	Tabla 4 Columna
<b>Envolvente del edificio eficaz para la energía</b>			
Aumento de la aislación térmica en la envolvente del edificio	A menudo, muy poca influencia en la IEQ. Aumento potencial del confort térmico porque la aislación contribuye a que el sistema HVAC satisfaga las cargas térmicas y debido a la disminución de la transferencia del calor radiante entre los ocupantes y la envolvente del edificio. Aumento potencial de los síntomas de irritación si ingresan al espacio ocupado fibras o ligantes de la aislación o si la aislación libera altas tasas de VOCs.	Asegurar que la aislación fibrosa quede aislada del aire interno. Disminuir al máximo la liberación de fibras o partículas durante la instalación de la aislación y limpiar previamente el espacio destinado a la ocupación. Usar productos de aislación con bajas tasas de emisiones de VOCs, especialmente, de olores.	1 - 3
Murallas y techos de color claro para disminuir las cargas solares	A menudo, muy poca influencia en la IEQ. Aumento potencial del confort térmico porque la disminución de las cargas contribuye a que el sistema HVAC satisfaga las cargas térmicas y por la disminución de la transferencia de calor radiante entre los ocupantes y la envolvente.	No disponible.	1 - 3
♦ Ventanas térmicamente eficientes	Posible mejoramiento del confort térmico resultado de la disminución de corrientes y de la disminución del intercambio de calor radiante entre los ocupantes y las ventanas (ASHRAE 1995b, Heiselberg 1994, Heiselberg et al. 1995). Disminución del riesgo de condensación en las ventanas y riesgos asociados al desarrollo de microorganismos. El uso de ventanas térmicamente eficientes contribuye a aislar el espacio interno de los sonidos del exterior.	No disponible.	1 - 3

(continúa)

Tabla 2 - Lista de MCE específicas, su influencia potencial en la IEQ y medidas preventivas y mitigantes relacionadas (continuación)

Medición de la conservación de la energía	Influencia potencial en la IEQ	Precauciones o mitigaciones de la IEQ	Tabla 4 Columna
Disminución de las fugas de aire a través de la envolvente del edificio (por ejemplo, instalación de barreras de infiltración)	El confort térmico puede aumentar debido a la disminución de la entrada de aire no acondicionado. La disminución de las fugas de aire puede contribuir a aislar el espacio interno de los sonidos externos. La disminución de fugas desde la envolvente facilita el control de la presión del edificio o de las habitaciones a través del sistema HVAC. Las concentraciones internas de contaminantes externos o de contaminantes de los espacios adyacentes (por ejemplo, estacionamientos para vehículos) pueden disminuir debido a que la fuga de contaminantes externos hacia el interior disminuye. La colocación incorrecta de barreras contra infiltración y vapor puede producir condensación y problemas asociados al desarrollo microbiológico en la envolvente del edificio. Generalmente, la disminución de infiltración de aire externo aumenta las concentraciones de contaminantes del aire generadas internamente; sin embargo, la magnitud del aumento puede ser insignificante, en especial, si la ventilación con aire externo se realiza utilizando medios mecánicos.	Asegurar ventilación natural intencional o mecánica adecuada. Las barreras contra la infiltración y el vapor se deberían colocar cerca del lado cálido de la envolvente del edificio.	1 - 3, 8, 21, 22
<b>Disminución de la generación de calor interna o ganancia de calor mediante la envolvente del edificio</b>			
Disminución de la generación de calor interno mediante el uso de iluminación y equipos con eficacia de energía o por disminución de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio	Posible aumento del confort térmico si las medidas permiten que el sistema HVAC proporcione un enfriamiento adecuado. Posible disminución del confort térmico si el edificio tiene un sistema de calefacción inadecuado. En edificios con sistemas de ventilación VAV, las tasas del flujo de aire disminuyen cuando el edificio se está enfriando,	Usar un sistema de control que mantenga la admisión de aire externo en el control manual de aire en o sobre los requisitos mínimos para todas las tasas del flujo de aire suministrado. Evitar las unidades de control de VAV que se cierran totalmente. Verificar las temperaturas internas y del suministro de aire externo local	1 - 5, 8

(continúa)

Tabla 2 - Lista de MCE específicas, su influencia potencial en la IEQ y medidas preventivas y mitigantes relacionadas (conclusión)

Medición de la conservación de la energía	Influencia potencial en la IEQ	Precauciones o mitigaciones de la IEQ	Tabla 4 Columna
	<p>a su vez, la tasa de suministro de aire externo puede disminuir (ver información anterior y referencias sobre sistemas VAV). La disminución de las cargas de calor sin compensar los cambios de los flujos del suministro puede conducir a un aumento de la humedad interna debido a que los sistemas de control pueden aumentar las temperaturas de descarga de los serpentines de enfriamiento. El exceso de ciclaje y problemas de control con sistemas de refrigeración sobredimensionados pueden causar incomodidad.</p>	<p>y total para un rango de cargas de enfriamiento. Verificar y eliminar los problemas de los sistemas de control relacionados con sistemas de refrigeración sobredimensionados.</p>	
<p>a) Para ahorrar energía, los sistemas economizadores aumentan automáticamente la tasa de suministro de aire por encima del punto de regulación cuando hay clima templado.</p> <p>b) El término <i>descarga de ventilación forzada</i> se refiere a la tendencia a que el chorro de aire frío suministrado que sale por la rejilla de suministro situada a nivel del cielo raso baja hacia el piso sin mezclarse en forma suficiente entre el chorro y el aire caliente dentro de la habitación. La descarga de ventilación forzada es más corriente con tasas bajas de flujo de aire, bajas temperaturas del suministro y ciertos diseños de difusores del suministro, es una fuente de incomodidad térmica.</p> <p>c) El sistema de calefacción o el sistema de enfriamiento hidrónicos radiantes, usan un líquido calentado o enfriado para crear un panel o superficie radiante que se calientan o enfrían. El confort térmico de los ocupantes está determinada en parte, por el intercambio de calor radiante entre el ocupante y el panel radiante.</p>			

## 7 Influencia de las mediciones de conservación de la energía en la IEQ en edificios específicos

### 7.1 Antecedentes

Muchas de las medidas de la conservación de la energía de Tabla 2 tienen múltiples impactos potenciales en la IEQ. Cuando se considera la aplicación de estas medidas a edificios específicos, los profesionales en conservación de la energía se pueden ver enfrentados a tres preguntas importantes:

- 1) ¿Cuál de los resultados potenciales en la IEQ ocurrirá en este edificio y qué magnitud se espera que tengan los cambios en la IEQ?

- 2) El cambio en la IEQ ¿afectará en forma significativa la salud, el confort y la productividad de los ocupantes?
- 3) ¿Se pueden evaluar por medio de las mediciones los impactos en la IEQ?

El conocimiento de la forma de actuar de la IEQ y sus efectos en los ocupantes es una primera etapa fundamental para tratar estas preguntas. Cláusula 4 resume mucho de la información crítica relacionada con los antecedentes. Esta cláusula trata las dos primeras preguntas. Las mediciones de la IEQ se examinan en cláusula 8.

## **7.2 Identificación de los resultados probables de la IEQ y pronóstico de su magnitud**

El impacto de una medida de la conservación de la energía en la IEQ puede depender de diversos factores, entre los que se incluye el clima, la calidad del aire externo, las características del edificio y los detalles de implementación de la medida de la conservación de la energía.

### **Clima húmedo cálido**

Este clima aumenta ciertos riesgos de la IEQ asociados a una alta humedad interna. En climas húmedos, las medidas de la conservación de la energía que aumentan la tasa de suministro de aire externo, tales como las ventanas operables o un sistema economizador controlado en forma deficiente, tienen más probabilidades de producir humedades internas inaceptables. También, la disminución de la capacidad del equipo HVAC y el aumento de las temperaturas en los serpentines de enfriamiento puede producir una eliminación insuficiente de la humedad y un exceso de humedad interna. La condensación de vapor de agua en los paneles radiantes de enfriamiento es mucho más probable en climas húmedos. La conservación del confort térmico con la ventilación natural es mucho más difícil en climas húmedos cálidos.

En climas fríos el uso de ventanas térmicamente eficientes, altos niveles de aislación térmica en la envolvente del edificio y medidas que disminuyan las infiltraciones de aire, tienen más probabilidades de mejorar significativamente el confort térmico al reducir las corrientes y las pérdidas de calor radiante de los ocupantes para murallas y ventanas. La probabilidad de tener humedades muy bajas al interior también aumenta en climas fríos.

### **Niveles elevados de contaminantes en el aire externo**

Estos niveles aumentan ciertos riesgos para la IEQ. Las medidas de la conservación de la energía que aumentan el suministro de aire externo, mejoran generalmente la IEQ porque disminuyen las concentraciones de contaminantes del aire generados internamente. Sin embargo, cuando la calidad del aire externo es deficiente, por ejemplo, cuando las concentraciones de contaminantes externos exceden las normas aplicables, estas mismas medidas de la conservación de la energía pueden aumentar las concentraciones internas de contaminantes externos.

## Características del edificio y del sistema HVAC del edificio

Estas características también influyen en los resultados de la IEQ de la conservación de la energía. Aquí se describen sólo algunas de las numerosas interacciones posibles. Una consideración es la magnitud de las tasas de emisión de contaminantes internos. Si el edificio contiene fuertes fuentes internas de contaminantes del aire, las medidas de la conservación de la energía que disminuyen el suministro de aire exterior son mucho más probables que resulten en altas concentraciones de estos contaminantes generados internamente. (La situación opuesta también es verdadera). Igualmente, si un edificio tiene una baja tasa de suministro de aire externo, los contaminantes emitidos desde los productos para conservar la energía tales como los sellantes tienen más posibilidades de degradar en forma significativa la calidad del aire interno. Las medidas de la conservación de la energía que disminuyen la ventilación del aire externo tienen más probabilidades de conducir a problemas de la IEQ si la tasa inicial de suministro de aire externo es baja.

*La implementación correcta de las medidas de la conservación de la energía puede prevenir muchos de los impactos potenciales adversos en la IEQ. La mayoría de los errores de implementación posibles son obvios: diseño, instalación, calibraciones, métodos de control, puesta en servicio, operación o mantenimiento de los sistemas de la conservación de la energía o de las prácticas imperfectas pueden provocar problemas en la IEQ. Un diseño correcto, la capacitación de los usuarios, etc., pueden prevenir problemas.*

*Los cálculos de ingeniería y el modelaje computacional son los instrumentos principales para pronosticar los niveles de la IEQ o la magnitud de los cambios en la IEQ. Las temperaturas internas se determinan sobre la base de los equilibrios de la energía y la humedad interna y las concentraciones de contaminantes sobre la base del equilibrio de masas. Con frecuencia se requieren algoritmos para el comportamiento del equipo. Los manuales ASHRAE (por ejemplo, ASHRAE 1992, 1995, 1997) son fuente para muchos de los cálculos de ingeniería. Los cálculos del equilibrio de masas transitorias y el régimen estable simple para estimar las concentraciones de contaminantes en una sola zona bien mezclada, pueden ser implementados por el usuario. Existen varios programas computacionales, revisados por National Laboratories (Laboratorios Nacionales), 1997, para pronosticar las tasas de infiltración de aire, las corrientes de aire entre zonas y las concentraciones internas de contaminantes. Para usar correctamente estos modelos generalmente se requiere considerable pericia en la IEQ y experiencia con el modelo. Las dificultades para obtener entradas (aportes de datos) para el modelo constituyen un obstáculo importante para el modelaje de la IEQ en edificios de múltiples zonas.*

Una vez que se identifica un cambio esperado en la IEQ y que es cuantificado, en la medida de lo posible, se debería considerar la influencia resultante en la salud, el confort o la productividad de los ocupantes. El enfoque principal para evaluar la importancia de los cambios pronosticados (o medidos) en los parámetros de la IEQ consiste en comparar los

valores iniciales y finales de estos parámetros para los valores indicados como aceptables en las directrices o normas aplicables (ver Tabla 1). Cuando se evalúa la importancia, se debería tener en mente los puntos siguientes:

- 1) Pequeños cambios en la temperatura interna, del orden de 1°C, pueden influir significativamente en el confort térmico, el predominio de síntomas agudos no específicos en la salud relacionados con el edificio experimentados por los operarios y las percepciones de la calidad del aire.
- 2) La satisfacción de los ocupantes con las condiciones térmicas se puede estimar usando los modelos de confort térmico (por ejemplo, ASHRAE 1992b, Fountain y Huizenga 1996, ISO 1994); no obstante, la investigación reciente sugiere que estos modelos son imperfectos porque no responden por las adaptaciones conductuales, fisiológicas o psicosociales de las personas a sus ambientes térmicos.
- 3) Los cambios en la iluminación tienen grandes posibilidades de influir en el rendimiento del trabajo, si éste es visualmente exigente en forma no habitual.

Para numerosos contaminantes no hay límites publicados para las concentraciones máximas destinadas a los sitios de trabajo no industriales. Los límites publicados para las concentraciones de contaminantes en sitios de trabajo industriales, tales como los Valores Límites Umbrales (Threshold Limit Values) (TLV)s de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales) (AGGIH 1998), no se deberían aplicar directamente a los operarios y conjuntos no industriales.

En las evaluaciones de la importancia de los cambios en la IEQ, la sensibilidad de los ocupantes con respecto a la IEQ es una consideración. Los operarios de más edad tienden a tener requisitos de confort térmico más estrictos y la visión de los operarios de más edad es más probable que se vea afectada adversamente cuando los niveles de iluminación son bajos. Las mujeres informan sobre síntomas de salud no específicos con mayor frecuencia que los hombres (Mendell 1993, Menzies y Bourbeau 1997). Los operarios en edificios con IAQ previo o en curso o con problemas de confort térmico probablemente pueden responder en forma más negativa a pequeños decrementos en la IEQ.

## 8 Alternativas de medición y verificación para la IEQ<sup>8)</sup>

### 8.1 Antecedentes

Según se indica en Tabla 2, la mayor parte de los impactos de los proyectos de energía en la IEQ tienen relación con la ventilación o el confort térmico. Por lo tanto, los parámetros más comunes para la medición y verificación (M&V) de la IEQ serán los parámetros de confort térmico (por ejemplo, temperaturas y humedades) y las tasas de ventilación. Para las modificaciones retroactivas de la iluminación, a veces se pueden garantizar las alternativas de medición y verificación relacionadas con la iluminación. Ocasionalmente, se pueden garantizar M&V de otros parámetros de la IEQ. Entre estas situaciones se incluyen por ejemplo, modificaciones retroactivas de edificios que mueven la admisión de aire externo cerca de una fuente de contaminantes externos o medidas tales como la instalación de un economizador, que causan un gran aumento de la tasa de ventilación en un edificio situado en una región muy contaminada. En estas situaciones, pueden ser convenientes M&V para contaminantes específicos (por ejemplo, ozono, partículas, monóxido de carbono o VOC ). Muchas mediciones de la IEQ son de alto costo. Las mediciones se deberían efectuar sólo cuando existan objetivos claros y las capacidades y la intención de interpretar los resultados de las mediciones.

### 8.2 Metas de la M&V de la IEQ

El enfoque apropiado de M&V depende de las metas de la M&V de la IEQ. Por lo tanto, la definición de las metas de M&V es la primera etapa decisiva. A continuación se indican ejemplos de metas de la M&V de la IEQ:

- Meta 1 : asegurar que las medidas de la conservación de la energía no tienen una influencia adversa en la IEQ.
- Meta 2 : cuantificar los mejoramientos en la IEQ resultado de la implementación de las medidas de la conservación de la energía.
- Meta 3 : verificar que los parámetros de la IEQ seleccionados satisfacen las normas o directrices de la IEQ aplicables.

---

8) Las actividades de medición y verificación (M&V) de la IEQ pueden ser arriesgadas debido al potencial de exposiciones a contaminantes, caídas y contacto con equipo de alta tensión o equipos rotatorios. El personal que ejecuta la M&V debería recibir capacitación en prácticas de trabajo seguras. Existe documentación de referencia en Estados Unidos EPA Orientation to Indoor Air Quality: Instructor Kit (or Student Manual). Información para solicitarlos se encuentra en <http://www.epa.gov/air/base/airapp2.html>. Estos documentos también se pueden comprar en National Technical Information Service (NTIS) Estados Unidos Department of Commerce, 5285 Port Royal Road, Springfield VA 22161 (teléfono 1-800-553-6847). Los números de referencia de NTIS son AVA 19276SS00 para el Instructor Kit y el Student Manual, respectivamente.

### 8.3 Contexto para la M&V de la IEQ

Este documento se puede aplicar bajo dos contextos básicos de M&V. El primer contexto básico y el foco principal de este volumen es la implementación de las modificaciones retroactivas para conservar la energía en los edificios comerciales existentes. Generalmente, en esta situación, se comparan las mediciones de la IEQ anteriores y posteriores a las modificaciones retroactivas. Se puede aplicar un amplio rango de enfoques de M&V (por ejemplo, mediciones, modelación y encuestas).

El segundo contexto básico<sup>9)</sup> es la aplicación futura anticipada de las características de la conservación de la energía en la nueva construcción de edificios comerciales. Para este segundo contexto, cuando se seleccionan las metas 1 ó 2 de la M&V, es necesario definir las características pertinentes de un edificio de referencia sin las características de la conservación de la energía y definir las características pertinentes del edificio con las características de la conservación de la energía implementadas. La modelación es el único enfoque disponible previo a la construcción para estimar cambios en la IEQ (metas 1 y 2 de la M&V). Después de completar la construcción, se pueden hacer las mediciones para verificar que los parámetros de la IEQ satisfacen los códigos o normas aplicables (meta 3 de la M&V).

### 8.4 Procedimiento de M&V

La Tabla 3 presenta un procedimiento básico recomendado para la M&V de la IEQ. Los enfoques M&V y las alternativas M&V a que se hace referencia en esta tabla se describen posteriormente.

Tabla 3 - Procedimiento de M&V

Etapas del procedimiento de M&V	Comentarios
1) Definir las metas de la M&V	Ver 8.2.
2) Seleccionar el personal para la M&V	a) El personal que efectúa las mediciones debe tener las habilidades y el conocimiento necesarios, hay generalmente consultores externos con conocimientos especializados en la IEQ. b) El propietario debería considerar si el personal que hará las mediciones debería ser independiente o pertenecer a la organización (por ejemplo, ESCO) que se beneficia financieramente de los hallazgos positivos o si debería haber supervisión independiente.
3) Seleccionar un enfoque general de M&V	Ver 8.5.

(continúa)

9) Un edificio cuyos ocupantes tengan un exceso de quejas relacionadas con la salud o el confort es un tercer contexto potencial para la M&V. No obstante, este documento no pretende servir de guía o diagnosticar las causas de estas quejas. Se pueden consultar varios documentos existentes para estas situaciones (por ejemplo, WPA/NIOSH 1991; ISIAQ 1996 (en proyecto), ECA 1989, Weekes y Gammage 1990, Rafferty 1993, Nathanson 1995). Generalmente, se recomienda un enfoque investigativo en fases. Las primeras fases incluyen la inspección del edificio y un análisis con los ocupantes del edificio. Se recomienda el uso de mediciones costosas únicamente si es necesario en las fases posteriores de la investigación. Estas guías señalan la importancia de mantener canales abiertos de comunicación relacionados con las quejas acerca de la IAQ y la investigación.

Tabla 3 - Procedimiento de M&amp;V (continuación)

Etapas del procedimiento de M&V	Comentarios
4) Seleccionar parámetros de la IEQ específicos y alternativas de M&V para medir y pronosticar los valores de estos parámetros	Ver 4, 6 y 8.6.
5) Establecer planes para interpretar los datos de M&V	a) Generalmente, los datos o pronósticos de la IEQ medidos se comparan con los datos o pronósticos de otro periodo, con los datos de referencia de un conjunto representativo de edificios o con los valores indicados en las normas. b) Ver 4, 8, 3 y 8.5.
6) Definir los requisitos de exactitud de M&V y los procedimientos de control de la calidad para las mediciones	Con frecuencia, la exactitud requerida depende de la magnitud esperada del cambio en la IEQ.
7) Seleccionar períodos de medición o evaluación	a) Con frecuencia los valores anteriores a la modificación retroactiva de los parámetros de la IEQ se comparan con los valores posteriores a la modificación retroactiva. b) Numerosos parámetros de la IEQ cambian con el tiempo debido a cambios en la operación del edificio, tasas de emisión de contaminantes internos o calidad del aire externo. Las mediciones se deberían hacer conforme a las condiciones siguientes (por ejemplo, suministro de aire externo mínimo) o se deberían promediar en el rango de condiciones. Si el clima, la calidad del aire externo o la ocupación presentan diferencias significativas entre los períodos de medición anteriores y posteriores a la modificación retroactiva, la comparación de las mediciones anteriores y posteriores a la modificación retroactiva puede que no indique con exactitud el efecto de la conservación de la energía en la IEQ. c) Las condiciones térmicas y las concentraciones de contaminantes internos de los edificios no responden instantáneamente a los cambios en los factores de control. d) Las mediciones instantáneas de temperaturas, humedades y concentraciones de contaminantes del aire con frecuencia no se pueden evaluar.
8) Seleccionar lugares para la medición	a) Las normas de confort térmico proporcionan guías para los lugares de medición. b) Los lugares donde se efectúan las mediciones deberían producir datos representativos de las condiciones experimentadas por los ocupantes. También se pueden vigilar los lugares considerados como peor caso. c) La zona de respiración es la zona más importante para medir la contaminación del aire. d) Las concentraciones de contaminantes en las corrientes de aire de retorno HVAC pueden representar aproximadamente la concentración promedio en la sección del edificio desde la cual el retorno de aire es atraído (excepto en el caso de la ventilación por desplazamiento).
9) Definir los costos aceptables para la M&V	Generalmente, los costos deberían ser pequeños comparados con las economías esperadas derivadas de las medidas de la conservación de la energía.
10) Seleccionar la instrumentación para M&V	Los instrumentos deben satisfacer los requisitos de exactitud, costo y registro secuencial de datos.

(continúa)

Tabla 3 - Procedimiento de M&amp;V (conclusión)

Etapas del procedimiento de M&V	Comentarios
11) Informar a los ocupantes de los planes de M&V	Las mediciones no explicadas pueden preocupar a los ocupantes en relación con la IEQ.
12) Implementar mediciones, encuestas o modelaje	Los métodos empleados deberían satisfacer la exactitud, el espacio y las especificaciones temporales y las limitaciones del costo.
13) Analizar y comunicar los resultados	En general, los resultados deberían estar disponibles para los ocupantes.

## 8.5 Enfoques básicos de M&V

Esta subcláusula identifica los enfoques básicos para la IEQ y M&V e identifica las situaciones en las cuales se puede aplicar cada enfoque general.

### 8.5.1 Enfoque N° 1: Sin la M&V de la IEQ

La Tabla 2 enumera las diversas medidas de la conservación de la energía (por ejemplo, el aumento de grado de los enfriadores) que es improbable que afecten a la IEQ o que probablemente sólo tengan una influencia beneficiosa en la IEQ. En general, no se necesitarán la IEQ ni la M&V cuando se juzgue que es muy improbable que las medidas de la conservación de energía tendrán como resultado un impacto adverso significativo en la IEQ. No obstante, la IEQ y la M&V aún se pueden realizar si la meta de M&V es cuantificar un mejoramiento anticipado de la IEQ.

### 8.5.2 Enfoque N° 2: la IEQ y la M&V basadas en la modelación

Por lo general, la modelación de la IEQ es el único método disponible para pronosticar la magnitud de los cambios en la IEQ asociados a las medidas de la conservación de la energía durante una construcción nueva. Adicionalmente, el modelaje puede ser apropiado para estimar cambios en las concentraciones de contaminantes internos asociados a cambios en las tasas de ventilación o cuando los métodos de medición son demasiado costosos o no existen.

Modelos muy simples de equilibrio de masas para zonas únicas con aire bien mezclado pueden proporcionar una estimación útil del cambio en las concentraciones de contaminantes internos que se esperan cuando las tasas de ventilación o las tasas de emisión de contaminantes internos se modifican. Numerosos trabajos científicos describen estos modelos que se pueden implementar usando el software de la hoja de cálculo, Persily y Dols 1990, Nazarof et al. 1993, Fisk y de Almeida 1998). Existen diversos modelos de múltiples zonas mucho más complejos (National Laboratories 1997, Capítulo 3). Muchos de los modelos complejos requieren de extensas entradas (aportes de datos) del modelo y considerable conocimiento especializado en el modelaje de la IEQ.

Instrumentos para simular la iluminación tales como el Radiance Program (Ward y Rubinstein 1998) pueden modelar la distribución de la luminancia resultante de la mayoría de los sistemas de iluminación y de iluminación diurna; no obstante, sólo unos pocos parámetros de la calidad de la iluminación, tales como el brillo, se calculan mediante estos instrumentos. Se requiere de extensas entradas (aportes de datos) del modelo y considerable conocimiento especializado en el modelaje.

### **8.5.3 Enfoque N° 3: Mediciones a corto plazo de los parámetros seleccionados de la IEQ**

Las mediciones a corto plazo de los parámetros de la IEQ (por ejemplo, mediciones para un mes o más) se pueden usar para parámetros de la IEQ que no varían significativamente con la estación o con el modo de operación del edificio. Entre los ejemplos de estos parámetros están los niveles de luz en la zona núcleo del edificio y las tasas mínimas de flujo de aire en sistemas HVAC de volumen constante. Las mediciones a corto plazo también pueden ser apropiadas cuando el resultado de interés es un parámetro de la IEQ para un conjunto definido de condiciones climáticas y de operación del edificio, tal como las condiciones que conducen al peor caso de la IEQ. En este caso, las mediciones a corto plazo se pueden ejecutar solamente bajo estas condiciones.

### **8.5.4 Enfoque N° 4: Mediciones continuas a largo plazo de los parámetros seleccionados de la IEQ**

Las mediciones continuas a largo plazo con frecuencia son realizables y útiles para el seguimiento de los parámetros seleccionados de la IEQ, incluyendo las temperaturas y humedades internas, las concentraciones de anhídrido carbónico, las concentraciones de monóxido de carbono y las tasas de admisión de aire externo en los dispositivos controladores del aire. Para la mayoría de los demás parámetros de la IEQ las mediciones continuas a largo plazo tienen un costo prohibitivo o no están disponibles. El costo de los sensores y de la calibración y mantenimiento de los sensores puede ser más bajo en los sistemas de vigilancia continua que usan sensores individuales para analizar muestras extraídas secuencialmente desde diversos lugares. No obstante, la extracción de ciertos contaminantes, por ejemplo, partículas y muchos VOC mediante tubos de muestreo largos, conduce a importantes errores de medición.

### **8.5.5 Enfoque N° 5: Encuestas para evaluar las percepciones del ocupante y las clasificaciones de la IEQ**

En numerosos casos, las percepciones del ocupante determinadas en una encuesta son un resultado tan importante como las condiciones medidas de la IEQ. Los costos de las encuestas pueden ser más altos o más bajos que los costos de las mediciones físicas.

Existen dos usos básicos de las encuestas en el contexto de la M&V de la IEQ. Primero, la administración de una encuesta antes y después de la implementación de las medidas de la conservación de la energía puede proporcionar información acerca del cambio percibido de la IEQ y los informes del ocupante relativos a los síntomas en la salud<sup>10)</sup>. El segundo método

---

10) Hay pruebas de que las respuestas a las encuestas sobre síntomas de salud no específicos tienden a variar incluso si no hay ningún cambio aparente en las condiciones del edificio o de la IEQ. A menudo, los ocupantes informan acerca de menos síntomas de salud relacionados con el edificio en la segunda de dos encuestas aplicadas con una separación de una o dos semanas. De este modo, puede ser necesario corregir el cambio en los resultados de las encuestas obtenidas del espacio con modificación retroactiva de la conservación de la energía restando el cambio en los resultados de la encuesta de una población de control.

consistente en el uso de encuestas en el contexto de la M&V de la IEQ es ejecutar una encuesta de una sola vez y comparar los resultados con los datos de referencia obtenidos previamente en otros edificios con el mismo instrumento, es decir, la encuesta.

Los datos de las encuestas son subjetivos, por lo tanto, estos datos pueden estar influenciados por factores psicosociales, tales como la satisfacción en el trabajo. Una parte de los ocupantes pueden expresar insatisfacción incluso cuando la IEQ se encuentra sobre el promedio. Adicionalmente, las encuestas sólo pueden evaluar las respuestas para la IEQ percibidas por los sistemas sensoriales humanos. Las exposiciones a la IEQ que aumentan el riesgo de ciertos efectos crónicos en la salud tales como el cáncer pulmonar por exposición al radón, no son detectadas con el uso de encuestas.

El diseño y métodos de administración de las encuestas pueden afectar los resultados. Por lo tanto, las encuestas se deberían basar en cuestionarios establecidos y según métodos de administración desarrollados por personal con conocimientos especializados apropiados. Se necesitan altas tasas de respuestas (por ejemplo, > 80%) a las encuestas para reducir el riesgo de tendencias (sesgos) (por ejemplo, una tasa más alta de respuestas de ocupantes descontentos podría desviar los resultados generales).

Existen métodos de encuesta bien establecidos en relación con el confort térmico. Corrientemente, la sensación térmica se evalúa usando una escala de siete puntos (por ejemplo, ASHRAE 1992b, ISO 1994). Los datos de base están siendo compilados por de Dear y Brager (1998) en base a las encuestas de confort térmico ejecutadas a través de todo el mundo.

Diversos instrumentos de encuestas (cuestionarios) han incluido extensas evaluaciones del nivel de satisfacción con, o percepción de, múltiples parámetros de la IEQ, tales como el nivel de iluminación, la calidad de la iluminación, la calidad acústica, el movimiento del aire, la aceptabilidad de la calidad del aire interno, la ventilación, etc. Estas mismas encuestas han recolectado generalmente datos sobre el predominio o la gravedad de síntomas no específicos en la salud experimentados entre los oficinistas.

Una encuesta respaldada por Estados Unidos EPA está recopilando datos sobre síntomas no específicos de 100 edificios para oficinas en Estados Unidos (EPA 1994, Brightman et al. 1997). Un proyecto de auditoría europeo ha recopilado información acerca de síntomas en 56 edificios de oficinas (Bluyssen et al. 1996), Stenberg et al. (1993) y Sundell (1994) describen datos similares obtenidos de aproximadamente 5 000 oficinistas en 210 edificios situados en Suecia.

Hay cuestionarios para evaluar la satisfacción del ocupante en relación con la iluminación (Collins et al. 1990, Dillon y Vischer 1987, Eklund y Boyce 1995, Hygge y Lofberg 1998), aunque puede ser necesario una adaptación para aplicaciones específicas.

## 8.6 Alternativas de M&V para parámetros específicos de la IEQ

Esta subcláusula identifica en forma tabular las alternativas de M&V para parámetros específicos de la IEQ y proporciona comentarios sobre estas alternativas. Las alternativas de M&V para confort térmico y ventilación se indican primero porque las modificaciones retroactivas para la conservación de la energía afectan con más frecuencia estos parámetros de la IEQ. Las tablas no incluyen todas las alternativas de M&V posibles. Las alternativas juzgadas como más prácticas y valiosas están marcadas con “♦”. Una guía general para medir las concentraciones de contaminantes del aire interno se encuentra en diversas publicaciones (por ejemplo, ACGIH 1995, Nagda y Harper 1989).

Tabla 4 - Alternativas específicas de M&V para parámetros de la IEQ

Fila	Parámetro de la IEQ/ Alternativa M&V	Comentarios
<b>Confort térmico</b>		
1	Alternativa 1. Mediciones de múltiples parámetros especificadas en las normas de confort térmico (ASHRAE 1992b, ISO 1994).	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Generalmente, se mide la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la humedad relativa y la velocidad del aire a diversas alturas en diversos (por ejemplo, 20 - 30) espacios de trabajo.</li> <li>b) El costo del sistema de medición es al menos US\$ 5 k. El sistema se puede mover entre los lugares (por ejemplo, ver De Dear y Fountain 1994).</li> <li>c) Este método proporciona únicamente datos a corto plazo en cada lugar.</li> <li>d) Existen en el comercio instrumentos para el confort térmico.</li> </ul>
2	♦ Alternativa 2. Medición en diversos puntos y registro secuencial de las temperaturas y humedad del aire usando instrumentos portátiles o permanentes no costosos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) En numerosas condiciones corrientes son adecuadas las mediciones de la temperatura del aire realizadas en una sola altura (sin velocidades del aire, humedad y temperatura media radiante).</li> <li>b) Esta alternativa no es apropiada para situaciones con altas velocidades del aire (por ejemplo, ventiladores usados para enfriar), estratificación de alta temperatura (por ejemplo, ventilación por desplazamiento) o altas ganancias o pérdidas de calor radiante (por ejemplo, cerca de ventanas frías).</li> <li>c) La exactitud del sensor de temperatura debería ser ~ 0,25°C porque diferencias de temperatura &lt; 1°C pueden influir significativamente en el confort térmico.</li> <li>d) La exactitud de los sensores de humedad debería ser ~ 5% HR.</li> <li>e) El costo del sensor accionado por batería con registrador secuencial de datos para un solo punto es ~ US\$100 a US\$200.</li> </ul>

(continúa)

Tabla 4 - Alternativas específicas de M&amp;V para parámetros de la IEQ (continuación)

Fila	Parámetro de la IEQ/ Alternativa M&V	Comentarios
3	Alternativa 3. Encuestas de confort térmico (Schiller et al. 1988, De Dear y Fountain 1994).	<p>a) En numerosos casos, las encuestas son la mejor alternativa.</p> <p>b) Las encuestas pueden interrogar acerca del nivel actual de confort térmico o del confort térmico durante un extenso período previo.</p>
<b>Tasa de ventilación de aire externo</b>		
4	Alternativa 1. Flujo de aire externo en la unidad manejadora de aire (UMA) usando anemometría (ASHRAE 1998, SMACNA 1993, Utterson y Sauer 1998, Solberg et al. 1990).	<p>a) Con frecuencia, la exactitud es discutible cuando las mediciones se toman cerca de rejillas de ventilación o de persianas del aire externo.</p> <p>b) ♦ La mejor exactitud se obtiene si las mediciones se hacen en un trozo de ducto recto de largo suficiente del aire externo.</p>
5	♦ Alternativa 2. Flujo de aire externo en la unidad manejadora de aire (UMA) medido basándose en el flujo del suministro del sistema HVAC y en el % de aire externo (Drees et al. 1992).	<p>a) El suministro del flujo de aire previene generalmente de los balómetros (campanas para las corrientes de aire), tubo de Pitot o anemómetros de hilo caliente en la corriente de aire del suministro o en las estaciones de medición del flujo de aire del suministro instaladas en forma permanente.</p> <p>b) El porcentaje de aire externo se determina en base al anhídrido carbónico o el equilibrio de masa del gas trazador.</p> <p>c) Con frecuencia, el método de temperatura para determinar el porcentaje de aire externo no es exacto.</p>
6	Alternativa 3. Tasas de ventilación del aire externo determinadas usando los métodos del gas trazador (ASTM 1995, NORDTEST 1982, 1998, Lagus y Persily 1985, ASHRAE 1998, Faulkner et al. 1998, Charlesworth 1988).	<p>a) Entre los procedimientos se incluye la dilución del gas trazador, los incrementos y los métodos basados en la liberación continua del trazador hacia el interior.</p> <p>b) Las mediciones pueden caracterizar la ventilación natural y la mecánica.</p> <p>c) En muchos edificios es posible obtener una exactitud razonable (por ejemplo, 15% - 25%).</p> <p>d) Para la mayoría de los métodos de gas trazador, las tasas de ventilación deben ser razonablemente estables durante los períodos de medición.</p> <p>e) Con frecuencia las mediciones son costosas y requieren de un considerable conocimiento especializado (los costos de instrumentación son habitualmente &lt; US\$ 10 000).</p> <p>f) La mayoría de los procedimientos entrega tasas de ventilación representativas de un período de tiempo corto (algunas horas); algunos proporcionan una tasa promedio real de ventilación durante un extenso período.</p>

(continúa)

Tabla 4 - Alternativas específicas de M&amp;V para parámetros de la IEQ (continuación)

Fila	Parámetro de la IEQ/ Alternativa M&V	Comentarios
7	Alternativa 4. Tasas de ventilación del aire externo usando estaciones de medición del flujo de aire externo en los dispositivos controladores de aire.	<p>a) Habitualmente, los rectificadores del flujo de aire y los sensores de velocidad en múltiples puntos se instalan cerca de los amortiguadores/rejillas de ventilación del flujo de aire.</p> <p>b) Los productos que se encuentran disponibles en el comercio son relativamente nuevos, por lo tanto, existen datos limitados sobre su comportamiento.</p>
<b>Concentraciones de anhídrido carbónico</b>		
8	♦ Alternativa 1. Analizadores infrarrojos de $CO_2$ en tiempo real con registro secuencial de la salida a través del tiempo (Persily y Dols 1990, Persily 1993, ASTM 1998).	<p>a) Las concentraciones pico o promediadas en el tiempo del anhídrido carbónico, son indicadores útiles de cuan eficazmente se controlan mediante la ventilación los bioefluentes generados por los ocupantes, y pueden ser buenos indicadores para otros efluentes asociados a la ocupación.</p> <p>b) Se han usado diversos procedimientos (y con frecuencia no se han usado bien) para estimar las tasas de ventilación de las concentraciones de anhídrido carbónico medidas. En muchos edificios, es difícil determinar exactamente la tasa de suministro de aire externo en base a los datos del anhídrido carbónico debido a las incertidumbres y variaciones temporales de la ocupación, tasas inciertas de generación de anhídrido carbónico por los ocupantes y porque las concentraciones cambian lentamente después de hacer cambios en la ventilación o en la ocupación.</p> <p>c) El costo de un analizador de anhídrido carbónico es típicamente US\$ 700 a US\$ 3 000.</p>
<b>Concentraciones de monóxido de carbono</b>		
9	Alternativa 1. Analizador infrarrojo en tiempo real con registro secuencial de la salida a través del tiempo.	<p>a) Altas concentraciones internas de monóxido de carbono, en relación con las concentraciones externas, pueden indicar fallas en la evacuación de un artefacto de combustión o fugas del autoevacuador en el edificio.</p> <p>b) El costo de instrumentación típico es de pocos miles de dólares (US\$).</p>
10	♦ Alternativa 2: Uso de alarmas de monóxido de carbono de bajo costo.	<p>a) Una elevada concentración de monóxido de carbono interno, en relación con las concentraciones externas, puede indicar fallas de la evacuación de un artefacto de combustión o fugas en el autoevacuador del edificio.</p> <p>b) El costo de alarma típico es ~ US\$100</p>

(continúa)

Tabla 4 - Alternativas específicas de M&amp;V para parámetros de la IEQ (continuación)

Fila	Parámetro de la IEQ/ Alternativa M&V	Comentarios
<b>Concentraciones de ozono</b>		
11	Alternativa 1: Uso de analizador electroquímico en tiempo real con registrador secuencial de datos.	a) En ciudades con alto contenido de ozono puede ser útil determinar si las medidas de la conservación de la energía que cambian las tasas de ventilación influyen significativamente en las razones de la concentración de ozono internas-externas o en el promedio de tiempo de las concentraciones de ozono internas. b) Las concentraciones internas y externas son muy variables con el tiempo. c) El equipo de medición es relativamente costoso, > US\$ 6 000, así que la medición con frecuencia es impracticable.
<b>Concentraciones de partículas</b>		
12	Alternativa 1: Recuento de partículas en tiempo real usando instrumentos difusores de la luz.	a) Las concentraciones de partículas internas se pueden comparar con límites especificados en normas o se puede evaluar la influencia de la conservación de la energía en la razón de la concentración interna-externa. b) El aire externo es una fuente significativa de partículas internas, a veces dominante. c) Las concentraciones internas y externas varían a través del tiempo. d) El costo típico de los instrumentos de tiempo real es al menos de unos miles de dólares (US\$).
13	Alternativa 2: Extracción de muestras de aire a tasas constantes y conocidas y peso de los filtros usando una balanza de precisión para determinar la masa de las partículas recolectadas (ACGIH 1993).	a) Las concentraciones de partículas internas se pueden comparar con límites especificados en normas o se puede evaluar la influencia de la medida de la conservación de la energía en la razón de la concentración interna-externa. b) El aire externo es una fuente significativa de partículas internas, a veces dominante. c) Las concentraciones internas y externas varían a través del tiempo. d) Costos de los instrumentos de muestreo ~ US\$ 1 000 para un solo sitio de medición. La balanza de precisión puede costar algunos miles de dólares (US\$). Costos de manipulación de la muestra sustanciales.

(continúa)

Tabla 4 - Alternativas específicas de M&amp;V para parámetros de la IEQ (continuación)

Fila	Parámetro de la IEQ/ Alternativa M&V	Comentarios
<b>Concentraciones de bioaerosoles</b>		
14	Alternativa 1. Usar un impactador de una o de varias etapas para recolectar las muestras en medios de cultivo, incubar y hacer el recuento e identificación de las colonias microbianas (ACGIH 1990, 1995b, 1995c).	<p>a) Las mediciones son costosas, las concentraciones pueden variar mucho con el tiempo mientras que los períodos de recolección de muestras ocupan menos de 15 min.</p> <p>b) Los resultados de las mediciones dependen de los medios de cultivo y de las condiciones de incubación.</p> <p>c) Los métodos basados en cultivos no detectan organismos no cultivables (por ejemplo, muertos) que pueden provocar los efectos en la salud.</p> <p>d) Se requiere un nivel alto de conocimientos especializados.</p>
<b>Compuestos orgánicos volátiles transportados por el aire</b>		
15	♦ Alternativa 1. Recolectar muestras sobre sólidos absorbentes y hacer analizar las muestras en un laboratorio para TVOC usando cromatografía gaseosa con detector de ionización por llama o cromatografía gaseosa-espectrometría de masa (Hodgson 1995, ECA 1997).	<p>a) Ver comentarios en cláusula 3 sobre uso de datos TVOC.</p> <p>b) El costo del equipo de muestreo para un solo sitio de medición es usualmente &lt; US\$ 1 000.</p> <p>c) El costo del análisis del TVOC es ~ US\$ 100 por muestra.</p>
16	Alternativa 2. Usar analizador infrarrojo sensible (por ejemplo, fotoacústico) para medir la concentración de TVOC (Hodgson 1995).	El valor de las mediciones TVOC con analizadores infrarrojos es incierto debido a que la respuesta del análisis varía dependiendo de la mezcla de compuestos del aire.
17	Alternativa 3. Recolectar muestras sobre sólidos absorbentes y hacer analizar las muestras en un laboratorio usando cromatografía gaseosa-espectrometría de masa para concentraciones de diversos VOC individuales (por ejemplo, cuantificar los VOC más abundantes o aquellos de fuentes conocidas) (Hodgson 1995, ECA 1997, ASTM 1994, 1994b, 1994c, 1995b, 1996, 1997, 1998b).	<p>a) Ver comentarios en cláusula 3 VOC.</p> <p>b) El costo del equipo de muestreo para un solo sitio de medición es usualmente &lt; US\$ 1 000. El costo del análisis para un conjunto de 10 a 15 VOC es ~ US\$ 500 por muestra.</p>
<b>Parámetros de iluminación y satisfacción</b>		
18	Alternativa 1. Mediciones de la intensidad de la luz hechas en conformidad con las normas existentes (IES 1993).	<p>a) Mediciones hechas una sola vez de la intensidad de la iluminación (iluminancia a la altura de la actividad) y de la uniformidad en los espacios característicos.</p> <p>b) Los instrumentos (medidor de luz) son relativamente poco costosos (~ US\$ 200 a US\$ 400). Se requiere de conocimiento especializado para determinar qué espacios son característicos y para ejecutar las mediciones correctamente.</p>

(continúa)

Tabla 4 - Alternativas específicas de M&amp;V para parámetros de la IEQ (conclusión)

Fila	Parámetro de la IEQ/ Alternativa M&V	Comentarios
19	♦ Alternativa 2. Mediciones de múltiples parámetros hechas en conformidad con las normas existentes (IES 1993).	a) Mediciones de la distribución de la luminancia (obtenibles con un sistema de captura de imágenes) en los espacios característicos. b) Los sistemas existentes de captura de imágenes aún se encuentran en las etapas iniciales. Hay algún software disponible para analizar imágenes después de su captura; no obstante, los instrumentos de análisis existentes no calculan directamente los parámetros de la calidad de la iluminación en base a los datos de la luminancia. c) Las mediciones del brillo directo en base a fuentes en el campo visual (tanto eléctrico como de luz diurna) requieren de un medidor de luminancia. Es difícil documentar la ubicación exacta de las mediciones de la luminancia, así que la reproducibilidad es cuestionable. d) Algunas fuentes de luz (por ejemplo, la luz diurna) varían con el tiempo.
20	♦ Alternativa 3. Confort o satisfacción del ocupante con la iluminación evaluada mediante una encuesta (Collins et al. 1990, Dillon y Vischer 1987, Eklund y Obice 1995, Hygge y Loftbeerg 1998).	a) Con frecuencia, el método menos costoso. b) Los resultados de la encuesta se pueden integrar a través del tiempo. c) Una encuesta bien diseñada puede ayudar a los ocupantes a identificar fuentes particulares relacionadas con los problemas de iluminación.
<b>Satisfacción del ocupante con la IEQ</b>		
21	♦ Evaluación usando encuesta (ver 8.5.5).	a) Ver comentarios sobre encuestas en 8.5.5. b) Los resultados de las encuestas se pueden integrar a través del tiempo. c) Una gran satisfacción con la calidad del aire no asegura que los contaminantes no presenten un riesgo para la salud. d) A veces, los ocupantes atribuyen los problemas a una fuente incorrecta o a condiciones ambientales no relacionadas (por ejemplo, el ruido de los computadores atribuidos a los balastos del sistema de iluminación).
<b>Predominio o gravedad de los síntomas agudos no específicos en la salud</b>		
22	♦ Evaluación usando encuesta (ver 8.5.5).	a) Ver comentarios sobre encuestas en 8.5.5. b) Los resultados de las encuestas se pueden integrar a través del tiempo. c) Un bajo nivel de síntomas de salud comunicados por el usuario mismo no asegura que los contaminantes no presenten un riesgo para la salud.

## 9 Implementación de la norma

Para implementar esta norma, se recomiendan las acciones siguientes:

- 1) Desarrollar un conocimiento general de la IEQ a través de una revisión de cláusulas 4 y 5 o de documentación equivalente.
- 2) Para las medidas de la conservación de la energía que se implementarán, usar Tabla 2, cláusula 7 y la información complementaria necesaria para determinar:
  - a) los impactos potenciales de las medidas de la conservación de la energía en la IEQ; y
  - b) las precauciones asociadas o las medidas de mitigación.
- 3) Seleccionar una meta para la M&V de la IEQ según 8.2.
- 4) Basándose en las medidas de la conservación de la energía y en la meta, seleccionar un enfoque de la M&V de la IEQ según 8.5.
- 5) Suponiendo que el enfoque de la M&V de la IEQ seleccionado no es el Enfoque I (ningún M&V de la IEQ), seleccionar e implementar una alternativa de la M&V de la CAI basándose en Tabla 4. Durante la implementación, utilizar según sea apropiado, las etapas 4-10 del procedimiento de M&V descrito en Tabla 3. Si Tabla 4 no incluye una Alternativa de la M&V de la IEQ aceptable, se pueden desarrollar y utilizar otras alternativas.
- 6) Preparar y distribuir documentación escrita del proceso de la M&V de la IEQ que incluya descripciones y justificaciones de decisiones y procedimientos importantes más un resumen e interpretación de los hallazgos.

## Anexo A (Informativo)

### Bibliografía

NOTA - A los usuarios de esta norma se les recomienda revisar las últimas versiones de los textos citados en función de considerar los últimos cambios técnicos y metodológicos en algunas áreas de la ingeniería medioambiental.

- [1] ACGIH (1990) *Guidelines for the assessment of bioaerosols in the indoor environment*, Publication 3180, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Cincinnati, OH.
- [2] ACGIH (1993) *Aerosol measurement: principles, techniques, and applications*, Klaus Willeke and Paul A. Baron, Eds American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Publication 9400, Cincinnati, OH.
- [3] ACGIH (1998) *1998-1999 Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati.
- [4] ACGIH (1995) *Air sampling instruments*, 8th Ed., Publication 0030, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Cincinnati, OH.
- [5] ACGIH (1995b) *Bioaerosols*, Harriet Burge, Ed., Publication 9612, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Cincinnati, OH.
- [6] ACGIH (1995c) *Bioaerosols handbook*, Christopher S. Cox and Christopher M. Wathes, Eds., Publication 9611, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc., Cincinnati, OH.
- [7] Andersson, K.; Bakke J.V., Bjorseth, O., Bornehag, C.G., Clausen, G., Hongslo, J.K., Kjellman, M., Kjaergaard, S., Levy, F., Molhave, L., Skerfving, S., and Sundell, J. (1997) TVOC and health in non-industrial indoor environments: report from a Nordic Scientific Consensus Meeting at Langholmen in Stockholm, 1996, *Indoor Air* 7(2): 78-91.
- [8] Arens, E. and Baughman, A. (1996) Indoor humidity and human health, part 2: buildings and their systems, *ASHRAE Transactions* 102(1): 212-221.
- [9] Arens, E.A. Bauman, F.S., Johnston, L.P., and Zhang, H. (1991) Testing of localized ventilation systems in a new controlled-environment chamber, *Indoor Air* 1(3), pp. 263-281.
- [10] ASHRAE (1998) ASHRAE/ANSI Standard 111-1988, Practices for measurement, testing, adjusting, and balancing of building heating, ventilating, and air-conditioning systems, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta.

- [11] ASHRAE (1989) ASHRAE Standard 62-1989, ventilation for acceptable indoor air quality, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [12] ASHRAE (1992) 1992 ASHRAE handbook, HVAC systems and equipment, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [13] ASHRAE (1992b) ASHRAE/ANSI Standard 55-1992, Thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [14] ASHRAE (1995) 1995 ASHRAE handbook, HVAC applications, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [15] ASHRAE (1995b) ANSI/ASHRAE Standard 55a-1995, Addendum to thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [16] ASHRAE (1996) 1996 ASHRAE Handbook, HVAC Systems and Equipment, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [17] ASHRAE (1996b) ASHRAE Standard 62-1989 Ventilation for acceptable indoor air quality, public review draft, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [18] ASHRAE (1996c) Guideline 1-1996 - The HVAC commissioning process, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [19] ASHRAE (1997) 1997 ASHRAE handbook, fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [20] ASHRAE (1998) ASHRAE Standard 129, measuring air change effectiveness, To be published by the American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta.
- [21] ASTM (1994) ASTM Standard D 5014-94, standard test methods for measurement of formaldehyde in indoor air (passive sampler methodology), American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [22] ASTM (1994b) ASTM Standard D 4947-94, standard practice for chlorodane and heptachlor residues in indoor air, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [23] ASTM (1994c) ASTM Standard D 4861-94a, standard practice for sampling and selection of analytical techniques for pesticides and polychlorinated biphenyls in indoor air, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

- [24] ASTM (1995) ASTM Standard E 741-95, standard test methods for determining air change in a single zone by means of a tracer gas dilution, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [25] ASTM (1995b) ASTM Standard D 5466-95, standard test method for determination of volatile organic compounds in atmospheres (canister sampling methodology), American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [26] ASTM (1996) ASTM Standard D 5075-96E01 standard test method for nicotine and 3-ethenylpyridine in indoor air, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [27] ASTM (1997) ASTM Standard D 5197-97 standard test method for formaldehyde and other carbonyl compounds in air (active sampler methodology), American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [28] ASTM (1998) ASTM Standard D 6245-98, standard guide for using indoor carbon dioxide concentrations to evaluate indoor air quality and ventilation, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [29] ASTM (1998b) ASTM Standard D 6306-98, standard guide for placement and use of diffusion controlled passive monitors for gaseous pollutants in indoor air, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- [30] Awbi, H.B. (1991) Ventilation of buildings, Chapman & Hall, Northway, Andover, Hants, United Kingdom.
- [31] Baughman, A. and Arens, E (1996) Indoor humidity and human health, part 1: literature review of health effects of humidity-influenced indoor pollutants, ASHRAE Transactions 102(1): 193-211.
- [32] Bauman, F., Baughman, A., Carter, G., and Arens, E. (1997) A field study of PEM (Personal Environment Module) performance in Bank of America s San Francisco office buildings, CEDR-01-97, University of California, Berkeley ([cedr@ced.berkeley.edu](mailto:cedr@ced.berkeley.edu)).
- [33] Bauman, F.S., Zhang, H., Arens, E.A., and Benton, C. (1993) Localized comfort control with a desktop task conditioning system ASHRAE Transactions 99(2), pp.733-749.
- [34] Bearg, D.W. (1993) Indoor air quality and HVAC systems, Lewis Publishers, Chelsea, MI.
- [35] BEIR VI (1998) Health effects of exposure to radon: BEIR VI, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR VI), National Research Council, National Academy Press.

- [36] Berman, S.M. (1992) Energy efficiency consequences of scotopic sensitivity, *Journal of the Illuminating Engineering Society* 21(1): 3-14.
- [37] Bluysen, P.M., de Oliveira Fernandes, E., Groes, L., Clausen, G., Fanger, P.O., Valbjorn, O., Bernhard, C.A., and Roulet, C.A. (1996) European indoor air quality audit project in 56 office buildings, *Indoor Air* 6(4): 221-238.
- [38] Brightman, H.S., Womble, S.E., Girman, J.R., Sieber, W.K., McCarthy, J.F., Buck, R.J., and Spengler, J.D. (1997) Preliminary comparison of questionnaire data from two IAQ studies: occupant and workspace characteristics of randomly selected buildings and complaint buildings, *Proceedings of Healthy Buildings/IAQ 97*, vol. 2, pp. 453-458, Healthy Buildings/IAQ 97 Washington DC.
- [39] Brunekreef, B. (1992) Damp housing and adult respiratory symptoms, *Allergy* 47: 498-502.
- [40] Busch, J. (1992) A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand, *Energy and Buildings* 18: 235-249.
- [41] California EPA (1997) Health effects of exposure to environmental tobacco smoke, final report September 1997, California Environmental Protection Agency, Sacramento, CA.
- [42] Carpenter, S.E. (1996) Energy and IAQ impacts of CO<sub>2</sub>-based demand-controlled ventilation, To be published in *ASHRAE Transactions* 102(2): 80-88.
- [43] Charlesworth, P.S. (1988) Air exchange rate and airtightness measurement techniques-an application guide *Air, Infiltration and Ventilation Centre*, Coventry, Great Britain.
- [44] Cohen, T. (1994) Providing constant ventilation in variable air volume systems, *ASHRAE Journal* 36(5): 38-40.
- [45] Collins, B.L., Fisher, W., Gillette, G. and Marans, R.W. (1990) Second - level post-occupancy evaluation analysis, *Journal of the Illuminating Engineering Society* 19(2): 21-44.
- [46] Committee on Health Effects of Indoor Allergens (1993) *Indoor allergens: assessing and controlling adverse health effects*, Pope, A.M., Patterson, R., and Burge, H. editors, National Academy Press, Washington DC.
- [47] Daisey, J.M., Hodgson, A.T., Fisk, W.J., Mendell, M.J., Ten Brinke, J.A. (1994) *Volatile organic compounds in twelve california office buildings: classes, concentrations, and sources*, *Atmospheric Environment* 28(22), pp. 3557-3562.
- [48] Dales, R.E.; Burnett, R.; and Zwanenburg, H. (1991) Adverse health effects among adults exposed to home dampness and molds, *American Review of Respiratory Disease* 143: 505-509.

- [49] De Almeida, A.T. and Fisk, W.J. (1997) Sensor based demand controlled ventilation, LBNL-40599, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA.
- [50] De Dear, R. and Brager, G.S.(1998) Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, to be published in ASHRAE Transactions 104(1).
- [51] De Dear, R. and Fountain M. (1994) Field experiments on occupant comfort and office building thermal environments in hot-humid climate, ASHRAE Transactions 100(2): 457-475.
- [52] Dillon, R. and Vischer, J. (1987) Derivation of the tenant survey assessment method: office building occupant survey data analysis, Public Works Canada, Ottawa.
- [53] Division of Respiratory Disease Studies, National Institute for Occupational Safety and Health (1984), Outbreaks of respiratory illness among employees in large office buildings - Tennessee, District of Columbia, MMWR 33(36): 506-513.
- [54] Drees, K.H., Wenger, J.D., and Janu, G. (1992) Ventilation air flow measurement for ASHRAE Standard 62-1989, ASHRAE Journal 34(10): 40-45.
- [55] ECA (1989) Report N° 4, Sick building syndrome - a practical guide, European Collaborative Action Indoor Air Quality and its Impact on Man, COST Project 613, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- [56] ECA (1992) Report N° 11: guidelines for ventilation requirements in buildings, EUR14441 EN, European collaborative action, indoor air quality & its impact on man, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- [57] ECA (1997) Report N° 19, total volatile organic compounds (TVOC) in indoor air quality investigations, European collaborative action, indoor air quality & its impact on man, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- [58] Eklund, N.H. and Boyce, P.R. (1996) The development of a reliable, valid, and simple office lighting survey, Journal of the Illuminating Engineering Society 25(2): 25-40.
- [59] Elixmann, J.H. Schata, M., and Jorde W. 1990. *Fungi in filters of air conditioning systems cause the building related illness*. Proceedings of the Fifth International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Toronto, vol. 1, pp. 193-202. Published by the International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Inc., 2344 Haddington Crescent, Ottawa, Ontario, K1H8J4.
- [60] Emmerich, S.J. and Persily, A.K. (1997) Literature review on CO<sub>2</sub> - based demand controlled ventilation, ASHRAE Transactions 103(2): 229-243.

- [61] EPA (1992) Respiratory health effects of passive smoking: lung cancer and other disorders, EPA/600/6-90/006F, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.
- [62] EPA (1994) A standardized EPA protocol for characterizing indoor air quality in large office buildings, Office of Research and Development and Office of Air and Radiation, U.S. Environmental Protection Agency.
- [63] EPA (1996) Air quality criteria for particulate matter, volume II of III, EPA/600/P-95/001bF, U.S. Environmental Protection Agency.
- [64] EPA/NIOSH (1991) Building air quality: a guide for building owners and facility managers, U.S. Environmental Protection Agency and National Institute for Occupational safety and Health, EPA/400/1-91/033, Superintendent of Documents, PO Box 37196, Pittsburgh, PA 15250.
- [65] Fang, L.; Clausen, G.; and Fanger, P.O. (1997) Impact of temperature and humidity on acceptability of indoor air quality during immediate and longer whole-body exposures, Proceedings of Health Buildings/IAQ 97, vol. 2: 231-236, Healthy Buildings/IAQ 97 Washington DC.
- [66] Fanger, P.O. (1970): Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering. McGraw-Hill, New York.
- [67] Faulkner, D.; Fisk, W.J.; Sullivan, D.P.; and Thomas, J.M. Jr. (1998) Characterizing building ventilation with the pollutant concentration index: results from field studies, To be published in the proceedings of IAQ and Energy 98, October 24-27, New Orleans, ASHRAE, Atlanta.
- [68] Federspiel, C.C. (1996) On-demand ventilation control: a new approach to demand-controlled ventilation, Proceedings of Indoor Air 96, vol. 3, pp. 935-940. SEEC Ishibashi, Inc., Japan.
- [69] Federspiel, C.C. (1998) Statistical analysis of unsolicited thermal sensation complaints in commercial buildings, ASHRAE Transactions 104(1): 912-923.
- [70] Fisk, W.J. and de Almeida, A.T. (1998) Sensor based demand controlled ventilation: a review, LBNL-41698, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, to be published in Energy and Buildings.
- [71] Fisk, W.J. and Rosenfeld, A.H. (1997) Estimates of improved productivity and health from better indoor environments, Indoor Air 7(3): 158-172.
- [72] Fisk, W.J. and Rosenfeld, A.H. (1998) Potential nationwide improvements in productivity and health from better indoor environments, Proceedings of the ACEEE 1998 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Energy Efficiency in a Competitive Environment, August 23-28, Asilomar, CA, pp. 8.85-8.97.

- [73] Fisk, W.J., Faulkner, D., Sullivan, D., and Bauman, F.(1997). Air change effectiveness and pollutant removal efficiency during adverse mixing conditions, *Indoor Air* 7: 55-63.
- [74] Fisk, W.J., Mendell, M.J., Daisey, J.M., Faulkner, D., Hodgson, A.T., Nematollahi, M., and Macher, J. (1993) *Phase 1 of the California Healthy Building Study: a summary*, *Indoor Air* 3(4): 246-254.
- [75] Fountain, M.E. and Huizenga, C. (1996): *A thermal comfort prediction tool*, *ASHRAE Journal* 38(9): 39-42.
- [76] Gammage, R.B. and Berven, B.A., eds. (1997) *Indoor air and human health*, second edition. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- [77] Givoni, B. (1997) *Passive and low energy cooling of buildings*, John Wiley & Sons, New York.
- [78] Hanley, J.T., Ensor, D.S., Smith, D.D., and Sparks, L.E. (1994) Fractional aerosol filtration efficiency of in-duct ventilation air cleaners, *Indoor Air* 4(3): 169-178.
- [79] Heiselberg, P. (1994) Draught risk from cold vertical surfaces, *Building and Environment* 29: 297-301.
- [80] Heiselberg, P., Overby, H., and Bjorn, E. (1995) Energy-efficient measures to avoid downdraft from large glazed facades, *ASHRAE Transactions* 101(2): 1127-1135.
- [81] Hodgson, A.T. (1995) A review and limited comparison of methods for measuring total volatile organic compounds in indoor air, *Indoor Air* 5(4): 247-257.
- [82] Hygge, S. And Loftberg, H. (1998) User evaluation of visual comfort in some buildings of the daylight Europe project, *Proceedings of the 4th European Conference on Energy Efficient Lighting*, vol. 2, pp. 69-74, DEF Congress Service, Copenhagen.
- [83] IES (1993) *Lighting handbook, reference & application*, M.S. Rea Ed., Illuminating Engineering Society of North America, New York.
- [84] International Energy Agency (1990) *Demand-controlled ventilating systems: state of the art review*, (editor W. Raatschen) Published by the Swedish Council for Building Research, Stockholm.
- [85] International Energy Agency (1992), *Demand controlled ventilation systems-source book*, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, Swedish Council for Building Research, Stockholm.
- [86] ISIAQ (1996) *ISIAQ guidelines: Task Force II - general principles for the investigation of IAQ complaints (DRAFT - May 31, 1996)*, International Society for Indoor Air Quality and Climate, Ottawa (<http://www.isiaq.org>).

- [87] ISO 7730:1994 *Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, International Organization for Standardization.
- [88] Jaakkola, J.K.; Heinonen, O.P.; and Seppanen, O. (1991) Mechanical ventilation in office buildings and the sick building syndrome. An experimental and epidemiological study, *Indoor Air* 2: 111-121.
- [89] Janu, G.; Wenger, J., and Nesler, C. (1995) Outdoor air flow control for VAV systems, *ASHRAE Journal* 37(4): 62-68.
- [90] Katzeb, R. (1992) The impact of energy-efficient office lighting strategies on employee satisfaction and productivity, *Environment and Behaviour* 24(6): 759-778.
- [91] Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew, Szokolay (1973) *Manual of tropical housing and building: part 1, climatic design*, 320 pp., Longman Group Limited, London and New York.
- [92] Lagus, P. and Persily, A.K. (1985) A review of tracer gas techniques for measuring airflows in buildings, *ASHRAE Transactions* 91(2b): 1075-1087.
- [93] Martikainen, P.J., Asikainer, A., Nevabiner, A., Jantunen, M., Pasanen, P., and Kalliokski, P. (1990) *Microbial growth on ventilation filter materials*, Proceedings of the Fifth International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Toronto, vol. 3, pp. 203-206. Published by the International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Inc., 2344 Haddington Crescent, Ottawa, Ontario, K1H 8J4.
- [94] Mendell, M.J. (1993) Non-specific health symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiologic literature, *Indoor Air* 3(4): 227-236.
- [95] Menzies, D.; Tamblyn, R.; Farant, J.; Nunes, F.; and Tamblyn, R. (1993) The effect of varying levels of outdoor-air supply on the symptoms of sick building syndrome, *The New England Journal of Medicine* 328(12): 821-827.
- [96] Ministers (1970) *Law for maintenance of sanitation in buildings*, Ministers of Justice, Health and Welfare, Labor, and Construction, Japan.
- [97] Molhave, L., Bach, B., and Pedersen, O.F. (1986) Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds, *Environment International* 12: 167-175.
- [98] Molhave, L., Lui, Z., Jorgensen, A.H., Pedersen, O.F., and Kjaergaard, S.K. (1993) Sensory and physiological effects on humans of combined exposures to air temperatures and volatile organic compounds, *Indoor Air* 3(3), pp. 155-169.

- [99] Morey, P.R. and Williams, C.M. (1991) *Is porous insulation inside an HVAC system compatible with a healthy building*, Proceedings of IAQ '91: Healthy Buildings, pp. 128-135. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [100] Mudarri, D.; Hall, J.D.; and Werling, E. (1996) Energy cost and IAQ performance of ventilation systems and controls, Proceedings of IAQ 96, pp. 151-160, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [101] Nagda, N. And Harper, J., (eds.), 1989, Design and protocol for monitoring indoor air quality, ASTM STP 1002, ASTM, West Conshohocken, P.A.
- [102] Nathanson, T. (1995) Indoor air quality in office buildings: a technical guide, A report of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental Health, Health Canada, available from Communications Branch, Health Canada, Tunney's Pasture, Ottawa, Ontario, Canada K1A0K9.
- [103] National Laboratories (1997) Survey and discussion of models applicable to the transport and fate thrust area of the Department of Energy Chemical and Biological Nonproliferation Program, available from the National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield VA.
- [104] Nazaroff, W.W., Gadgil, A.J., and Weschler, C.J. (1993) Critique of the use of deposition velocity in modeling indoor air quality, In American Society of Testing and Materials Standard Technical Publication 1205, ASTM, Philadelphia.
- [105] Nelson, N.A.; Kaufman, J.D.; Burt, J.; and Karr, C. (1995) Health symptoms and the work environment in four nonproblem United States office buildings, Scand. J. Work Environ. Health 21(1): 51-59.
- [106] NKB (1991) Indoor climate-air quality: NKB publication N° 61e, Nordic Committee on Building Regulations, Espoo, Finland (ISBN 951-47-5322-4).
- [107] NORDTEST (1982) Standard NT BUILD 232, buildings: rate of ventilation in different parts of a building, Edition 2, NORDTEST, Espoo, Finland.
- [108] NORDTEST (1988) Standard NT VVS 019, buildings - ventilation air: local mean age, Edition 2, NORDTEST, Espoo, Finland.
- [109] NRC (1981) Indoor pollutants, Committee on Indoor Pollutants, National Research Council, National Academy of Sciences, National Academy Press.
- [110] Owen, MK, DS Ensor, and LE Sparks (1992) Airborne particle sizes and sources found in indoor air, Atmospheric Environment 26A(12): 2149-2162.
- [111] Persily, A. and Dols, W.S. (1990) The relation of CO<sub>2</sub> concentration to office building ventilation, ASTM Special Technical Publication 1067-1990, pp. 77-91, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

- [112] Persily, A., (1993) *Ventilation, carbon dioxide and ASHRAE Standard 62-1989*, ASHRAE Journal, 35(7): 40-44.
- [113] Preller, L.; Zweers, T.; Brunekreef, B.; and Boleij, J.S.M. (1990) Sick leave due to work-related complaints among workers in the Netherlands, Proceedings of the Fifth International Conference on Indoor Air Quality and Climate, vol. 1: 227-230, International Conference on IAQ and Climate, Ottawa.
- [114] Raferty, P.J. (1993) The industrial hygienist's guide to indoor air quality investigations, Stock N° 144-EQ-93, American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA.
- [115] Schiller, G., E. Arens, F. Bauman, C. Benton, M. Fountain, and T. Doherty (1988). *A field study of thermal environments and comfort in office buildings*. ASHRAE Transactions, vol. 94(2): 280-308.
- [116] Seppanen, O., Fisk, W.J., Eto, J., and Grimsrud, D.T. (1989) *Comparison of conventional mixing and displacement air conditioning and ventilating systems in U.S. commercial buildings*. ASHRAE Transactions 95(2): 1028-1040.
- [117] Sieber, W.K., Petersen, M.R., Staynor, L.T., Malkin, R., Mendell, M.J., Wallingford, K.M., Wilcox, T.G., Crandall, M.S., and Reed, L. (1996) Associations between environmental factors and health conditions: Proceedings of Indoor Air 96, vol. 2, pp. 901-906. SEEC Ishibashi, Inc., Japan.
- [118] Skov, P., Valbjorn, O., Pedersen, B.V. and DISG (1989) *Influence of the indoor climate on the sick building syndrome in an office environment*, Scand. J. Work. Environ. Health 16, pp. 1-9.
- [119] SMACNA (1993) HVAC systems-testing, adjusting, and balancing, Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association, Chantilly, VA.
- [120] SMACNA (1995) IAQ guidelines for occupied buildings under construction, Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association, Chantilly, VA.
- [121] Smedje, G.; Norback, D.; Wessen, B.; and Edling, C. (1996) Asthma among school employees in relation to the school environment, Proceedings of Indoor Air 96, vol. 1:611-616, Seec Ishibashi, Inc., Japan.
- [122] Solberg, D.; Dougan, D., and Damiano, L. (1990) Measurement for the control of fresh air intake, ASHRAE Journal 32(1): 46-51.
- [123] Spengler, J., Neas, L., Nakai, S., Dockery, D., Speizer, F., Ware, J., and Raizenne, M. (1993) *Respiratory symptoms and housing characteristics*, Proceedings of Indoor Air '93, The 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, vol. 1: 165-170, Published by Indoor Air '93, Helsinki.
- [124] Stenberg, B., Hansson, Mild, K.H., Sandstrom, M., Sundell, J., and Wall, S. (1993).

- [125] Sundell, J. (1994) On the association between building characteristics, some indoor environmental exposures, some allergic manifestations and subjective symptom reports Indoor Air Supplement 2.
- [126] Ten Brinke, J. (1995) Development of new VOC exposure metrics and their relationship to sick building syndrome symptoms, Lawrence Berkeley National Laboratory Report, LBL-37652, Berkeley, CA.
- [127] U.S. Environmental Protection Agency (1996) Air quality criteria for particulate matter, volume II of III, EPA/600/P-95/001bF.
- [128] Utterson, E. and Sauer, H.J. Jr. (1998) Outside air ventilation control and monitoring, ASHRAE Journal 40(1): 31-35.
- [129] Vedal, S. (1985) Epidemiological studies of childhood illness and pulmonary function associated with gas stove use, Chapter 23 in Indoor Air and Human Health, Proceedings of the Seventh Life Sciences Symposium, October 29-31, Knoxville, TN, Lewis Publishers, Chelsea, MI.
- [130] Veitch, J.A. [ed.] (1994) Full-spectrum lighting effects on performance, mood, and health, IRC-IR-659, pp. 53-111, National Research Council of Canada, Institute for Research in Construction, Ottawa, <http://www.nrc.ca/irc/light>.
- [131] Veitch, J.A. and Newsham, G.R. (1998) Determinant of lighting quality I: state of the science, Journal of the Illuminating Engineering Society 27(1): 92-106.
- [132] Veitch, J.A. and Newsham, G.R. (1998) Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction, and comfort, Journal of the Illuminating Engineering Society 27(1), 107-129.
- [133] Victor Olgay, V. (1963) Design with climate; bioclimatic approach to architectural regionalism. 236 pp., Princeton University Press, Princeton, NJ.
- [134] Ward, G. and Rubinstein, F.M. (1988) A new technique for computer simulation of illuminated spaces, Journal of the Illuminating Engineering Society 17(1).
- [135] Watson, D. and Labs, K. (1983) Climatic design; energy-efficient building principles and practices, 280 pp. McGraw-Hill Book Company, New York.
- [136] Weekes, D.M. and Gammage, R.B. (1990) The practitioner's approach to indoor air quality investigations, Proceedings of the Indoor Air Quality International Symposium, Stock N° 145-EQ-90, American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA.
- [137] Weschler, C.J. and Shields, H.C. (1997) Is the importance of ventilation partially explained by indoor chemistry, Proceedings of Healthy Buildings/IAQ 97, vol. 1, pp. 293-298, Healthy Buildings/IAQ 97 Washington DC.

NCh3055

- [138] Wilkins, A.J., Nimmo-Smith, I., Slater, A.I., and Bedocs, L. (1988) *Fluorescent lighting, headaches and eyestrain*. Proceedings of the CIBSE National Lighting Conference, Cambridge (UK), pp. 188-196.
- [139] World Health Organization (1987) *Air quality guidelines for Europe*, WHO Regional Publications, European Series N° 23, Copenhagen.
- [140] Wyon, D.P. (1992) *Sick buildings and the experimental approach*, Environmental Technology 13: 313-322.
- [141] Wyon, D.P. (1996) *Indoor environment effects on productivity*, Proceedings of IAQ 96, pp. 5-15, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
- [142] Yuan, X.; Chen, Q.; and Glicksman, L.R. (1998) *A critical review of displacement ventilation*, to be published in ASHRAE Transactions 104(1).