

Aumento de la Productividad de las Oficinas a través del Mejoramiento de la Calidad del Aire Interior

Por P. Ole Fanger
Conferencia Plenaria CIAR 2001

Centro Internacional para la Energía del Ambiente Interior, Universidad Técnica de Dinamarca International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark, Building 402,2800 Lyngby, Denmark

Publicado en: Revista Clima Nro 172. Pp 70-77. Buenos Aires, 2001.

RESUMEN: El control de las fuentes de contaminación interior y la ventilación, son dos formas de calidad del aire interior. Tres experimentos recientes han documentado que eliminar una fuente de contaminación o aumentar el grado de ventilación mejoraría la calidad del aire percibido, reduciría la intensidad de varios síntomas del Síndrome de Edificios Enfermos (SBS) y aumentaría la productividad de los empleados de oficina. En estos experimentos, la realización de trabajo de oficina simulado (tipeado de texto, adiciones y lectura de prueba, tareas típicas que requieren concentración) mejoraba uniformemente a medida que la proporción de personas insatisfechas por la calidad del aire se reducía en cualquiera de las mediciones. La relación cuantitativa era una modificación de desempeño del 1.1 % por 10 % de insatisfechos, en una escala de 25 a 70 % de insatisfechos ó 0.5 % de modificación del desempeño por 1 decipol (dp), en la escala 2-13 dp. Las mejoras significativas en el desempeño ocurrían sólo cuando la intensidad de los síntomas SBS generales, tales como dolores de cabeza y dificultad en pensar claramente se reducían en gran medida lo cual implica que éste era un mecanismo de causación. La realización de trabajo de oficina simulado mejoraba uniformemente con disminución de la carga de contaminación en un 1.6 % de aumento en el desempeño por cada disminución doble de carga de contaminación en la escala de 0.3-2 olf/m² de piso, y con una cantidad de provisión de aire exterior aumentada en un 1.8 % en el desempeño por cada aumento doble en la proporción de provisión de aire exterior en la escala de 0.8-5.3 L/s por olf. Como estos resultados claramente justifican mayores costos iniciales y operativos, los adelantos futuros en la tecnología HVAC pueden llegar a incluir "aire personalizado", nuevas formas de mejorar la calidad de la provisión de aire (ej. por filtración), el uso más extensivo de la recuperación de calor a partir del aire agotado y una sistemática selección de materiales de construcción y revestimiento de baja contaminación.

1 - INTRODUCCIÓN

Existe buena documentación del hecho de que las condiciones térmicas dentro de la zona de confort térmico pueden reducir el desempeño en un 5 % hasta un 15%; pero poco se conoce con respecto a los efectos directos de la calidad del aire sobre el desempeño humano en los ambientes no industriales, especialmente en oficinas (Wyon, 1996). Las exposiciones en laboratorio al tolueno (un abundante agente contaminante del aire, ver Fig. 1) a 100 ppm (380 mg/m³) (Baelum et al., 1985) y a una mezcla de 22 agentes contaminantes del aire interior a una concentración de hasta 25 rmg/m³ (Molhave et al., 1986) demostraron reducir el desempeño de pruebas psicológicas de diagnóstico. Sin embargo, estos dos experimentos fueron llevados a cabo en agentes contaminantes del aire seleccionados y a concentraciones considerablemente más elevadas que aquéllas que típicamente suceden en edificios de oficina (Wargocki, 1998). Los estudios de muestra representativa en aulas en las cuales los agentes contaminantes del aire interior típicos de los materiales de construcción y revestimiento y de los ocupantes puede presumirse que han alcanzado concentraciones bastante elevadas, debido a proporciones bajas de cambio de aire, que permiten que las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) alcancen niveles por sobre 4000 ppm demostraron una relación entre el nivel aumentado de CO₂ y el desempeño reducido de las pruebas psicológicas de diagnóstico en alumnos > 15 años (Myhrvold et al., 1996). La posibilidad de aturdimiento entre los niveles de cambio de aire del aula y otros factores capaces de haber causado los efectos observados, tales como temperaturas de aire del aula o posibles diferencias socioeconómicas entre áreas de agrupamiento de diferentes escuelas, no era dirigida. Debe notarse también que las variables dependientes en los experimentos de Baelum et al. (1985), Molhave et al. (1986) y Myhrvold et al. (1996) fueron pruebas psicológicas de diagnóstico de corta duración, las

cuales pueden no predecir el desempeño del trabajo típico de oficina fuera de hora.

En experimentos llevados a cabo para La Comisión del Estado de Nueva York sobre Ventilación (1923) en los 1910's, el desempeño del trabajo de oficina simulado (incluyendo adiciones y tipeado) no pudo demostrar ser significativamente reducido por niveles bajos de ventilación resultante en concentraciones de CO₂ de 3000-4000 ppm, los cuales eran niveles medidos en aulas de mínima mejor ventilación en el estudio de muestra representativa de Lmyhrvold et al. (1996) citado anteriormente. La ausencia de un efecto de baja ventilación en los experimentos de Nueva York pudo deberse a la presencia de fuentes de polución en el sistema mismo de HVAC, ya que esto resultaría en una falta de mejoría en la totalidad de la calidad del aire, aún a pesar de que las concentraciones de CO₂ y bioefluentes fueron reducidas por los niveles aumentados de ventilación utilizados en las exposiciones de control.

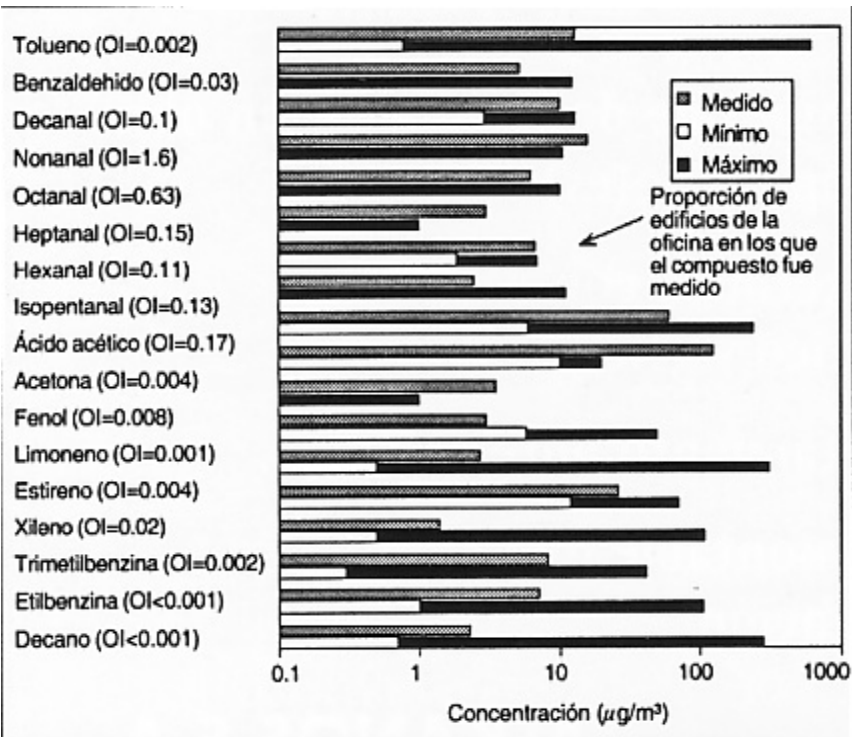


Figura 1 - Comparación de concentraciones de químicos medidas en la oficina con fuente de polución presente (Wargocki et al., 1999) con la escala de concentraciones (mín.-máx) medidas en 22 estudios en 299 edificios de oficina cuando los químicos fueron detectados (Wargocki, 1998). El índice exterior (OI), el radio de concentración medido en el experimento hacia la detección exterior de concentración del umbral (Devos et al., 1990), está dada entre paréntesis para cada químico.

En un estudio reciente en edificios de 40 oficinas en Estados Unidos (Milton et al., 2000) las ausencias por enfermedad de corto plazo, las cuales pueden considerarse como una medida de pérdida en la productividad, eran un 35 % más elevadas en oficinas ventiladas con una proporción de provisión de aire exterior de 12 L/s por persona, comparada con oficinas ventiladas con 24 L/s por persona. Debido a que la incapacidad de largo plazo fue excluida del análisis, se podría hacer una hipótesis de que el ausentismo de corto plazo aumentado en oficinas ventiladas con 12 L/s por persona puede haber sido causado por la exacerbación de infecciones respiratorias y/o enfermedades relacionadas con el edificio (tales como por ej. los dolores de cabeza) debidas a la calidad pobre del aire, causante de que el empleado reporte enfermedad y deba quedarse en su casa. Debe notarse también que las proporciones de provisión de aire exterior en este estudio fueron bastante elevadas y cumplían con los requerimientos de las normas de ventilación (ej ASHRAE, 1989) aún en las oficinas con salida por enfermedad de corto plazo.

Parece razonable asumir que las personas que no se sienten muy bien no trabajarán efectivamente. El respaldo para un efecto en el desempeño debido a los síntomas de aflicción causados por la calidad pobre del aire, lo provee una investigación de campo en edificio de oficinas realizada por Nunes et al. (1993) la cual demostró que los empleados de oficina que han reportado cualquiera de los síntomas SBS durante ese día se desempeñaban significativamente menos en las pruebas psicológicas de diagnóstico administradas intermitentemente por una computadora a lo largo del día de trabajo y por las intensidades aumentadas del síntoma SBS que fueron también relacionadas con niveles elevados de CO₂ en el estudio del aula de Myhrvold et al. (1996 citado más arriba). Otros mecanismos posibles para un efecto de calidad pobre de aire en el desempeño incluyen la distracción por olores irritaciones sensitivas, reacciones alérgicas, o por efectos toxicológicos directos.

2 NUEVOS RESULTADOS EN LOS EFECTOS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL DESEMPEÑO

Recientemente, en tres experimentos independientes de intervenciones de campo, la calidad del aire en oficinas normales se alteraba mientras que la salud, el confort y la productividad de los ocupantes era medida (Wargocki et al., 1999; 2000; Lagercrantz et al., 2000). La calidad de aire era alterada por medio de uno u otro de los dos tipos de interversión, ya sea: 1) por disminución de la carga de polución, es decir, suprimiendo físicamente una fuente de polución sin dar información, manteniendo siempre una proporción de provisión de aire exterior de 10 L s por persona, lo cual era la intervención utilizada en oficinas situadas en dos países diferentes (Dinamarca y Suecia) (Wargocki et al., 1999 Lagercrantz et al., 2000) aumentando la proporción de provisión de aire exterior de 3 a 10 ó a 30 L/s por persona, de este modo produciendo proporciones de cambio de aire de 0.6, 2 ó 6 por hora en una de estas oficinas, con las mismas fuentes de polución siempre presentes (Wargocki et al., 2000). Una fuente mayor de polución en estos tres estudios era la misma alfombra de 20 años, presente detrás de una pantalla en una cantidad correspondiente al área del piso de la oficina en la cual cada exposición tenía lugar, pero los materiales más vale inocuos de construcción, piso y revestimiento, y los bioefluentes emitidos por las personas mismas estaban siempre presentes también. A pesar de que la alfombra fue tomada de un edificio con historia de problemas SBS (Pejtersen et al., 2001), la Fig. 1 muestra que los niveles resultantes de concentración del agente contaminante del aire eran típicos de aquéllos normalmente encontrados en edificios de oficina en todo e mundo (Wargocki, 1998).

Los niveles de temperatura, humedad relativa, velocidad del aire y ruido se mantuvieron constantes, independientes de la intervención. Noventa mujeres fueron expuestas a diferentes niveles de calidad de aire 30 en cada estudio. No pudieron ver si la fuente estaba presente o percibir cambios en el nivel de sonido o velocidad del aire cuando era modificada la proporción de ventilación, y permanecieron térmicamente neutrales ajustando sus ropas.

En estos tres estudios, las personas realizaron trabajo de oficina simulado durante una exposición a diferentes niveles de calidad de aire de 4,5 horas y

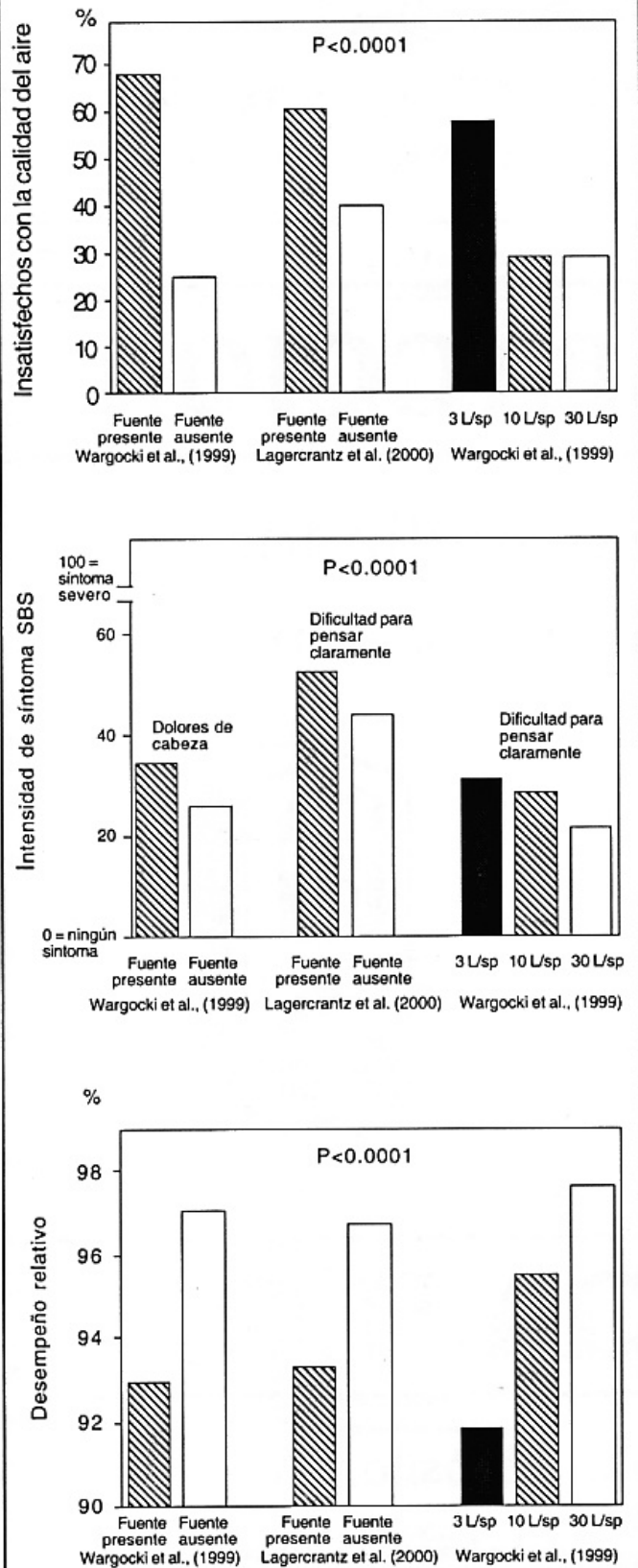


Figura 2 - Calidad de aire percibida, intensidad de síntomas SBS percibidos, y desempeño relativo de las tareas de oficina como función de la presencia o ausencia de la fuente de polución, ó la proporción de provisión de aire exterior.

determinaron la calidad del aire percibida y la intensidad de sus síntomas SBS en un proyecto de repetición de medidas equilibrado por orden de presentación. El trabajo de oficina simulado comprendía tipeado de texto, lectura de prueba, adiciones y pensamiento creativo, todas tareas de oficina típicas que requieren concentración. La realización de estas tareas, era utilizada para estimular la productividad. La calidad del aire percibida en las oficinas era determinada solicitando a las personas que dieran una proporción de aceptabilidad de la calidad del aire al entrar a la oficina. La intensidad de una lista comprensiva de síntomas SBS específicos era indicada por las personas a intervalos a lo largo de cada exposición marcando en escalas visual- analógicas (escalas VA).

Los resultados de estos estudios mostraron que eliminar una fuente de contaminación o aumentar la proporción de ventilación mejoraba significativamente la calidad del aire percibida, reducía la intensidad de los síntomas SBS, tales como dolores de cabeza y dificultad de pensar con claridad, y también mejoraba el desempeño del trabajo de oficina simulado (Fig. 2).

En base a la información presentada en la Fig. 2, se derivaron las relaciones presentadas en las Fig. 3, 4 y 5. Estas muestran que, mejorando la calidad de aire, ya sea reduciendo la carga de contaminación o aumentando la proporción de ventilación, se mejora el desempeño de las tareas de oficina. La calidad del aire en la Fig. 3 está expresada, ya sea como el % insatisfecho con la calidad del aire como en decipol (dp), la cual es una medida cuantitativa de calidad de aire percibida basada en descripciones sensoriales (Fanger, 1988). La carga de contaminación en la Fig. 4 está expresada en unidades olf: la fuerza de la fuente de contaminación del aire sensitiva en olf se calcula a partir de niveles de calidad del aire en decipol y la proporción de ventilación medida, utilizando el modelo de confort (Fanger, 1988). La proporción de ventilación en la Fig. 5 se calcula como la recíproca de la calidad del aire expresada en pol (triple dp). Las relaciones cuantitativas entre la calidad del aire, carga de contaminación sensitiva, proporción de ventilación y el desempeño de tareas de oficina son respectivamente: (1) un aumento del 1.1 % en el desempeño por cada 10 % de reducción en la proporción insatisfecha con la calidad del aire, en la escala de 25-70 % de insatisfechos, o un

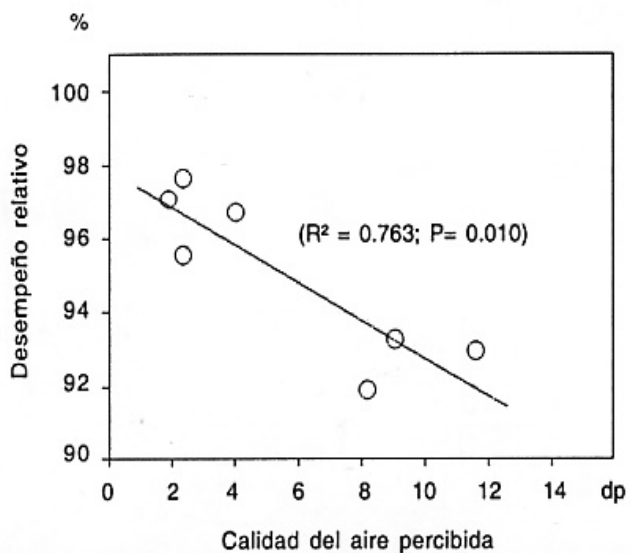
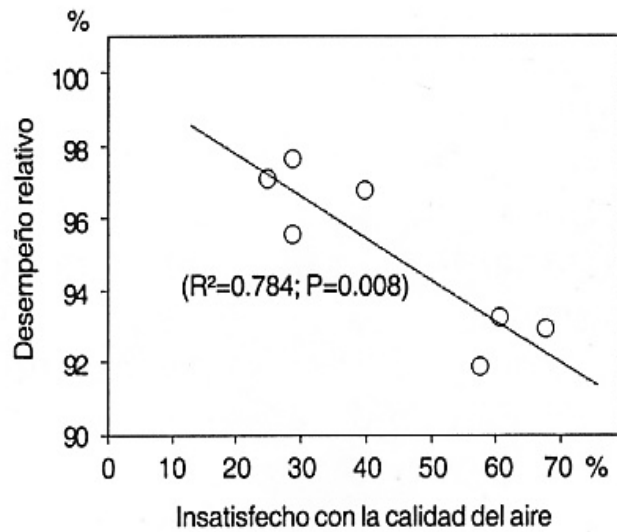


Figura 3 - El desempeño relativo de tareas de oficina como función de la calidad del aire.

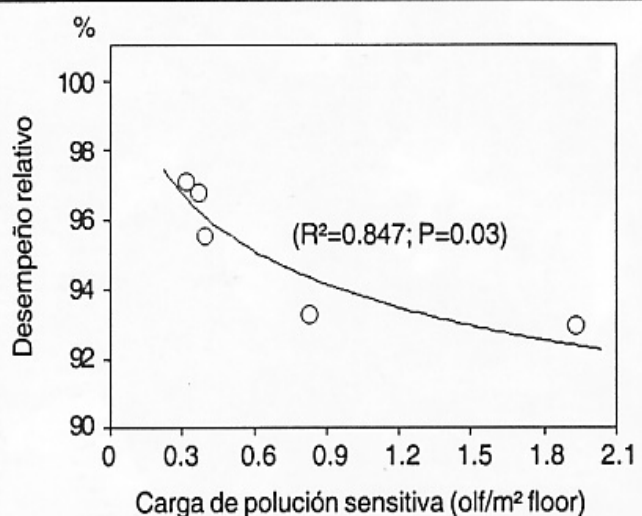
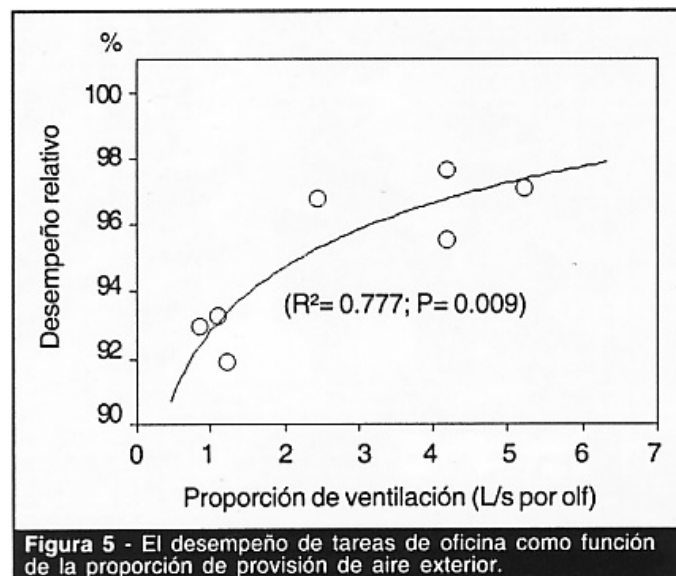


Figura 4 - El desempeño de tareas de oficina como función de la carga de contaminación sensitiva en una proporción de ventilación constante de 10 L/s por persona.

0.50 % de aumento en el desempeño por cada disminución de dp, en la escala 2-13 dp (Fig. 3); (2) un 1.6 % de aumento en el desempeño por cada doble disminución de la carga de polución en la escala 03-2.0 olf/m² de piso (Fig. 4) a una proporción de ventilación de 10 L/s por persona; (3) un 1.8 % de aumento en el desempeño por cada aumento doble de la proporción de ventilación en la escala 0.8-5.3 L/s por olf (Fig. 5). Es instructivo notar que esta escala de condiciones de proporción de ventilación fue lograda cuando se proveyó de aire exterior de elevada calidad en la proporción de 3-30 L/s por persona. La diferencia es debida a la presencia de otras fuentes de polución, además de las personas. Da la casualidad que 5.3 L/s por olf fueron logrados eliminando la fuente de polución extra mientras se proveía de aire exterior en la proporción de 10 L/s por persona, no proveyendo de 30 L/s por persona con la fuente de polución presente.

1 - SUGERENCIAS PARA LOS EDIFICIOS Y PROYECTOS DE SISTEMAS HVAC

Los resultados de nuevos experimentos de Wargocki et al., (1999; 2000) y Lagercrantz et al., (2000) indican que mejorar la calidad del aire, ya sea reduciendo la carga de polución en un espacio o aumentando la proporción de provisión de aire exterior, brinda un efecto positivo sobre la salud, el confort y la productividad. Estos efectos son similares en magnitud a aquéllos observados por los efectos de condiciones térmicas sobre el desempeño humano (Wyon, 2996). Estos proveen un fuerte incentivo económico para proyectar ambientes interiores con aire de calidad más elevada que el mínimamente prescrito por las normas actuales. Por ejemplo, las pautas europeas de ventilación CEN CR 1752 (1998) recomendaban tres categorías de calidad del aire en los edificios. A, B, y C correspondientes respectivamente al 15 %, 20 % y 30 % de insatisfechos con la calidad del aire. La información actual sugiere que aumentar la calidad del aire de la categoría C a la categoría A podría aumentar la productividad de las oficinas en un 1.5 %. Los niveles elevados de calidad del aire no sólo resultarán en productividad mejorada, sino que también fomentarán la salud y el confort. Con un proyecto inteligente de la envoltura del edificio y del sistema HVAC, y con una cuidada selección de los materiales de construcción y revestimiento, la provisión de buena calidad de aire interior no necesariamente requiere ser más costosa o de mayor energía. Por lo tanto, reducir las fuentes de polución interior es una manera eficiente de mejorar la calidad del aire interior.



Seleccionar materiales de construcción y revestimiento de baja polución resultará en una carga de polución disminuida. Este método es altamente recomendado por CEN CR 1752 (1998) ya que no necesita tomar en cuenta costos extra, especialmente si se aplica a la etapa del proyecto de construcción. La información de este trabajo sugiere que al reducir la carga de polución sensitiva correspondiente a un edificio no-bajo-contaminante (0.2 olf/m² de piso) al nivel de un edificio no contaminante (0,1 olf/m² de piso), como recomienda el CEN CR 1752 (1998), mejoraría la productividad de las oficinas en un 1.5 %.

El aumentar la proporción de ventilación incurrirá en costos extra. Sin embargo, los costos adicionales serán pequeños comparados con los beneficios económicos obtenidos en la productividad aumentada

que resultará, considerando el *costo del ciclo de vida* de un edificio. La presente información sugiere que mejorar la calidad del aire del nivel mediocre que existe en muchos edificios a un nivel de elevada calidad minimiza el consumo de energía extra utilizado para aumentar la proporción de ventilación.

Una calidad elevada del aire de respiración puede aún obtenerse en proporciones de baja ventilación, utilizando sistemas de "aire personalizado" (Fanger, 2000), en lugar de los sistemas HVAC tradicionales que intentan lograr una mezcla completa. La idea de mezclar la ventilación es proveer la misma calidad de aire en la totalidad del volumen del espacio. Esto significa que los ocupantes encontrarán la misma calidad de aire para respirar, ya sea que estén sentados en sus escritorios, parados o acostados en el piso. Sin embargo, sólo el 1 % del aire de ventilación provisto al espacio es inhalado.

El resto no se utiliza, y además, el 1 % del aire de ventilación inhalado por los ocupantes humanos no está ni siquiera limpio. Está contaminado en el espacio por los bioefluentes, emisiones de los materiales de construcción y a veces hasta por el humo de tabaco antes de que sea inhalado. En los sistemas de "aire personalizado" pequeñas cantidades de aire limpio son provistas cerca del área de respiración de cada individuo. La idea es brindar a cada ocupante aire limpio que no esté contaminado por las fuentes de polución en el espacio. El "aire personalizado" debiera ser provisto de tal manera que la persona inhale aire limpio desde el núcleo del inyector en el que el aire no está mezclado con el aire contaminado de la sala (Fig. 6).



Figura 6 - Principio de "aire personalizado": pequeñas cantidades de aire limpio provistas directa y suavemente a la zona de respiración de una persona (Fanger, 2000).

En una oficina el "aire personalizado" puede por ejemplo venir de una boca de salida próxima a la PC sobre el escritorio. Es esencial que el aire sea brindado "suavemente", es decir, con una velocidad y turbulencia bajas que no causen corriente de aire (Fanger et al., 1988). Por medio del "aire personalizado" es posible proveer aire de respiración de calidad óptima. El aire será percibido como fresco y agradable con un efecto positivo sobre la productividad humana como lo indica la Fig. 3.

Una elevada calidad del aire de respiración puede sólo lograrse asegurando una elevada calidad del aire provisto por sistemas HVAC, los cuales a veces en sí mismos pueden ser una fuente de polución (Mandell, 1993; Pejtersen, 1996; Sieber et al., 1996). El efectivo mantenimiento y limpieza de los sistemas HVAC es por lo tanto esencial.

La calidad del aire percibida puede también ser mejorada manteniendo una humedad moderadamente baja y temperatura, requerible en el punto más bajo de la escala de neutralidad térmica para el cuerpo como una totalidad, como lo demuestran los nuevos estudios comprensivos en la Universidad Técnica de Dinamarca (Fanger et al., 1988). La Fig. 7 muestra un fuerte efecto de humedad y temperatura combinado en la entalpía del aire sobre la calidad del aire percibida en la sala con composición química constante del aire. Queda claro que las personas prefieren el aire más seco y fresco que brinda una sensación refrescante del trayecto respiratorio cada vez que el aire es inhalado. La disminución de humedad y temperatura no sólo mejorará la calidad del aire percibido sino que también disminuirá la ventilación requerida. Además, es importante notar que las temperaturas y humedades de aire moderadas también disminuyen los síntomas SBS (Anderson et al., 1975; Krogstad et al., 1991).

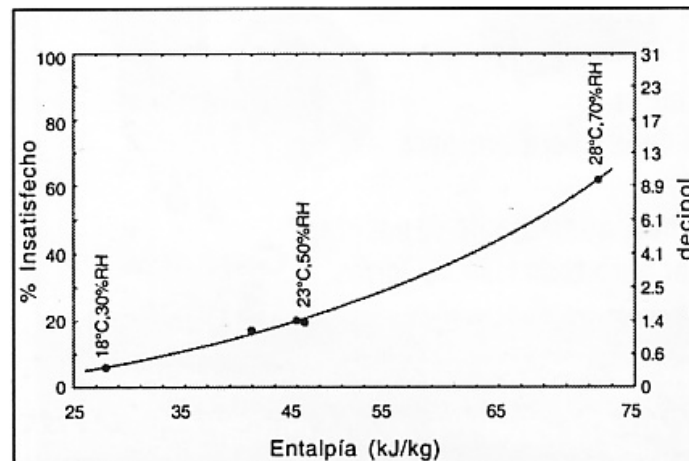


Figura 7 - Percepción de aire limpio de acuerdo con diferentes niveles de entalpía de aire interior. (Fanger et al., 1988)

El desafío de la ingeniería HVAC en el futuro será desarrollar procesos de acondicionamiento y limpieza de modo que el aire sea percibido óptimamente, y desarrollar métodos apropiados para conducir este aire hasta la zona de respiración de cada individuo sin mezclarse con el aire de la sala.

2 - CONCLUSIONES

- El desempeño de tareas de oficina ha demostrado ser experimentalmente una función de la calidad del aire. Este efecto resulta ser mediado por efectos sobre los síntomas SBS subjetivamente reportados.

- Mejorar la calidad del aire a través del control de la fuente de polución o aumento de ventilación está económicamente justificado, ya que es beneficioso para la salud, el confort y la productividad humanos. Consecuentemente, los edificios futuros deberán ser de baja-energía y bajo-contaminantes. Este objetivo puede lograrse a través de la selección apropiada de los materiales de construcción y revestimiento, nuevas formas de filtrar el aire provisto por los sistemas HVAC, sistemas de aire personalizado, y recuperación eficiente de la energía a partir del aire agotado.

- El aire personalizado provisto a la zona de respiración de cada individuo es un concepto alentador, que permite una calidad de aire para respirar que es óptimo para la percepción y productividad humanas. Se recomienda mayor estudio y desarrollo de este concepto.

- La presente información documenta los beneficios económicos de proveer aire interior de una calidad mayor que el mínimo prescrito por las normas de ventilación actuales.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo ha recibido el apoyo del Consejo de Investigación Técnica de Dinamarca (STVF) como parte del programa de investigación del Centro Internacional para el Ambiente Interior y la Energía establecido en la Universidad Técnica de Dinamarca para el período 1998-2007.

REFERENCIAS

Andersson, N. H., Frisk, P., Lófstedt, B. and Wyon, D. P., 1975, Human response to dry, humidified and intermittently humidified air in large office buildings, Gävle, Swedish Building Research, D1 1.

ASHRAE, 1989, Standard 62-89: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Baelum, J., Andersen, I., Lundqvist, G. R., Molhave, L., Pedersen, O. F., Vaeth, M. and Wyon, D. P., 1985, Response of solvent exposed printers and unexposed controls to six-hour toluene exposure, Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, vol. 11, pp. 271-280.

CEN CR 1752, 1998, Ventilation for buildings: Design criteria for the indoor environment, Brussels, European Committee for Standardization. Daevos, M., Patte, F., Rouault, J., Laffort, P. and Van Gemert, L. J., 1990, Standardized Human Olfactory Thresholds, IRL Press, Oxford.

Umbralos Olfativos Humanos Normalizados Fang, L., Clausen, G. and Fanger, P. O., 1988, Impact of temperature and humidity on perception of indoor air quality during immediate and longer whole body exposure, Indoor Air, vol. 8, pp. 276-284.

Fanger, P. O., 1988, Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors, Energy and Buildings, vol. 12, pp. 1-6.

Fanger, P. O., 2000, Indoor air quality in the 21st century: Search for excellence, Indoor Air, vol. 10, pp. 68-73.

Fanger, P. O., Melikov, A. K., Hanzawa, H. and Ring, J., 1988, Air turbulence and sensation of draught, Energy and Buildings, vol. 12, pp. 21-40.

Krogstadt, A. L., Swanebeck, G. and Barregård, L., 1991, Besvär vid kontorsarbete med olika temperaturer i arbetslokaler - en prospektiv undersökning [A prospective study of indoor climate problems at different temperatures in offices], Göteborg, Volvo Truck Corp.

Lagercrantz, L., Wistrand, M., Willén, U., Wargocki, P., Witterseh, T. and Sundell, J., 2000 Negative impact of air pollution on productivity repeated in new Swedish test room, Proceedings of Healthy Buildings '2000, Espoo, Finland, vol. 1, pp. 653- 658.

Mendell, M., 1993, Non-specific symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiologic literature, *Indoor Air*, vol. 3, pp. 227-236.

Milton, D. K., Glencross, P. M. and Walters, M. D., 2000, Risk of sick leave associated with outdoor air supply rate, humidification and occupant complaints, *Indoor Air*, vol. 10, pp. 212-221.

Myhrvold, A. N., Olsen, E. and Lauridsen, O., 1996, Indoor environment in schools - pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations, *Proceedings of Indoor Air '96, 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Nagoya, Japan, vol. 4, pp. 369-374.

Molhave, L., Bach, B. and Pedersen, O. F., 1986, Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds, *Environment International*, vol. 12, pp. 167-175.

New York State Commission on Ventilation, 1923 Report of the New York State Commission on Ventilation, Dutton, New York.

Nunes, F., Menzies, R., Tamblyn R. M., Boehm, E. and Letz, R., 1993, The effect of varying level of outdoor air supply on neurobehavioural performance function during a study of sick building syndrome (SBS), *Proceedings of Indoor Air '93, 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Helsinki, Finland, vol. 1, pp. 53-58.

Pejtersen, J., 1996, Sensory pollution and microbial contamination of ventilation filters, *Indoor Air*, vol. 6, pp. 239-248.

Pejtersen, J., Brohus, H., Hylgaard, C. E., Nielsen, J. B., Valbjorn, O., Hauschildt, P., Kjaergaard, S. K. and Wolkoff, P., 2001, Effect of renovating an office building on occupants' comfort and health, *Indoor Air*, vol. 11, pp. 10-25.

Sieber, W. K., Stayner, L. T., Malkin, R., Petersen, M. R., Mendell, M. J., Wallingford, K. M., Crandall, M. S., Wilcox, T. G. and Reed, L., 1996, The National Institute for Occupational Safety and Health indoor environmental evaluation experience. Part three: Associations between environmental factors and self-reported health conditions, *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 11, pp. 1387-1392.

Wargocki P., 1998, Human perception, productivity and symptoms related to Indoor air quality, Ph. D. Thesis, Technical University of Denmark.

Wargocki, P., Wyon, D. P., Baik, Y. K., Clausen, G. and Fanger, P. O., 1999, Perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads, *Indoor Air*, vol. 9, pp. 165-179.

Wargocki, P., Wyon, D. P., Sundell, J., Clausen, G. and Fanger, P. O., 2000, The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity, *Indoor Air*, vol. 10, pp. 222-236.

Wyon, D. R., 1996, Indoor environmental effects on productivity, *Proceedings of IAQ'96 Paths to Better Building Environments*, USA, ASHRAE, pp. 5-15.