

Valoración de la calidad del aire de la biblioteca UNET con base en los niveles de CO₂

UNET library air quality evaluation based on CO₂ concentration

Zambrano, Juan* y Fumo, Nelson

Departamento de Matemática y Física

Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET)

San Cristóbal 5001, Venezuela

*jzambra@unet.edu.ve

Recibido: 27-08-2007

Revisado: 04-04-2008

Resumen

El sistema de aire acondicionado de la biblioteca de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), a lo largo de sus más de 15 años de servicio, ha sufrido modificaciones que hasta donde se conoce han sido justificadas con base en la carga y confort térmico. Pero, ¿cómo está la situación con respecto a los niveles de ventilación? Olores percibidos al entrar al recinto, así como comentarios de empleados con respecto a afecciones respiratorias, motivaron a los investigadores a desarrollar el presente trabajo. La medición de las concentraciones de CO₂ y el número de ocupantes, permitió conocer el comportamiento de estas dos variables con respecto del tiempo. El sistema de distribución de aire fue evaluado y se determinaron los valores de ventilación actuales para ser comparados con los recomendados por el estándar ASHRAE-62 (2004). Adicionalmente, y con la finalidad de poder inferir sobre el control de los biofluentes se determinó la variación de la concentración de CO₂ entre la concentración de equilibrio del ambiente con respecto de la concentración del aire exterior. En general se determinó que los niveles de ventilación en la biblioteca de la UNET son adecuados con excepción del piso 1 durante las horas pico de ocupación, pero el análisis global del sistema de ventilación sugiere que la situación puede ser corregida con una redistribución del aire de suministro.

Palabras clave: Aire acondicionado, dióxido de carbono, calidad de aire, ventilación.

Abstract

The UNET's library air conditioning system, throughout its more than 15 years of service, has suffered modifications that have been probably justified based on the thermal load and comfort. But, how is the situation with respect to the ventilation levels?. Perceived odors by persons entering to the building, as well as employees' comments about breathing affections, led the authors to propose this investigation. Measuring CO₂ concentrations and the number of occupants allowed knowing the behavior of these variables with respect to time. The air distribution system was evaluated and the actual ventilation rates were compared to the recommended by the standard ASHRAE-62 (2004). Additionally, and with the intention of infer about the control of biofluents, the variation of CO₂ concentration between the ambient equilibrium concentration and outdoor air concentration was determined. In general, it was determined that appropriate ventilation levels exist with the exception of the 1st floor for peak hours of occupation, but the overall analysis suggests that this situation can be corrected by redistributing the supply air.

Key words: Air conditioning, carbon dioxide, air quality, ventilation

1 Introducción

La calidad del aire puede ser definida con base en la presencia de agentes externos a la composición estándar del aire (70,1% N₂ – 20,9% O₂ – 0,9% Ar – 0,1% otros gases

inertes, en volumen). Para ambientes ocupados por personas, en donde no se tienen procesos productivos o de transformación, es común encontrar que el único agente externo a la composición estándar del aire es el dióxido de carbono (CO₂), ya que el CO₂ es un agente orgánico producido por

la respiración humana. La Norma COVENIN 2253:2001 señala que para el CO₂ la Concentración Ambiental Permissible (CAP) es de 5000 ppm y el Límite de Exposición Breve (LEB) es de 30000 ppm. La definición de CAP está referida a sufrir daños adversos para la salud para ocupación por períodos de 8 horas diarias, pudiéndose entonces considerar éste valor como un caso extremo. Por ello la calidad del aire se mide con base a niveles de concentración que controlen los biofluentes humanos percibidos a través de olores del cuerpo. Pero desde el punto de vista del control de biofluentes humanos los niveles de CO₂ son fácilmente controlados a través de la ventilación, natural o forzada. En este sentido tal vez la norma más ampliamente utilizada es la ASHRAE Standard 62 "Ventilation for acceptable indoor air quality" la cual establece para Salones de Lectura en Edificaciones Educativas una tasa de ventilación de 7,5 PCM/persona. Este nivel de ventilación se supone que diluirá los olores a niveles que harán satisfactorio el ambiente para la mayoría (80%) de ocupantes no adaptados (visitantes). Pero en general la norma indica que concentraciones de CO₂ en el espacio ocupado no mayores de 700 ppm con respecto a la concentración del aire exterior, harán que la mayoría de los visitantes entrando al espacio se sentirán satisfechos con respecto a los biofluentes humanos (olores corporales). Conociéndose de la inexistencia de fuentes de agentes contaminantes dentro y en los alrededores de la biblioteca de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), con excepción del mismo material impreso (libros), y con base en apreciaciones propias de los investigadores originadas por el hecho de la percepción de olores extraños (característico de lugares encerrados o cosas viejas) y aunado a comentarios de empleados sobre presuntas afecciones respiratorias, se planteó la verificación de la calidad del aire de la biblioteca UNET con base en los niveles de concentración de CO₂.

2 Método

La biblioteca de la UNET es una edificación que consta de tres pisos con área aproximada de 820 m² cada uno, con una altura promedio de 3,5 m. El primer y segundo piso son de mayor ocupación y tránsito de personas, y ambos satisfacen la definición de Zona-Simple con respecto a la concentración de CO₂ a que hace mención el estándar ASTM D6245-98 (Reapproved 2002) "Using Indoor carbon dioxide concentration to evaluate indoor air quality and ventilation". Mientras que para el tercer piso es importante indicar: 1. es un área de menor ocupación por encontrarse en este piso las oficinas administrativas y servicios menos frecuentados como lo es el área de audiovisuales; 2. las divisiones hasta el techo de los ambientes no permiten considerar este piso como una Zona-Simple; y 3. el retorno de este nivel hacia la manejadora de aire del sistema de aire acondicionado toma el aire del pasillo central sin balancear los volúmenes de aire de los diferentes ambientes.

Para el primer y segundo nivel se toman, con respecto al tiempo, los niveles de concentración de CO₂ en el retorno del sistema de aire acondicionado con una frecuencia de 15 minutos y el número de ocupantes (estudiantes y trabajadores) cada 30 minutos. Para el caso del tercer piso sólo se toman valores de concentración de CO₂ en puntos de muestreo para poder inferir sobre niveles máximos de concentración. Los niveles de concentración se miden con el sensor de CO₂ TELAIRE 7001 y los datos se guardan utilizando el almacenador de datos (datalogger) HOBO H8-004-02.

3 La situación actual

3.1 Ocupantes

Los datos fueron tomados durante días con ocupación típica a lo largo de un semestre académico y los valores presentados corresponden al promedio de los datos registrados. En la Fig. 1 se presenta el número de ocupantes (trabajadores y visitantes) registrados cada 30 minutos en los pisos 1 y 2; las barras de error muestran la diferencia encontrada entre el valor promedio y los valores mínimo y máximo para la correspondiente hora.

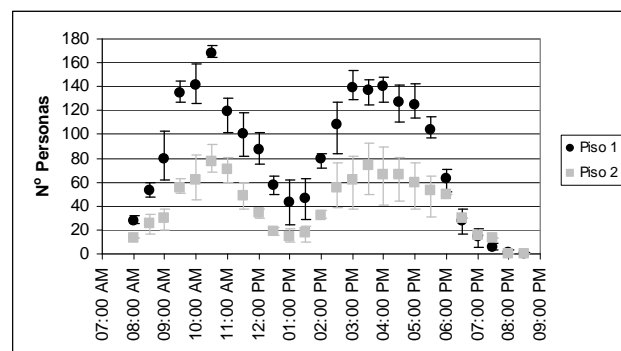


Fig. 1. Número de ocupantes en el piso 1 y piso 2

3.2 Concentraciones de CO₂

En la Fig. 2 se muestran los valores promedio de dióxido de carbono recopilados cada 30 minutos para los pisos 1 y 2, en este caso y debido a un efecto de inercia de concentración que se discute más adelante, las barras de error representan la diferencia del valor promedio con respecto a la máxima diferencia encontrada para los datos registrados 15 minutos antes y 15 minutos después de la correspondiente hora.

En la Fig. 3 se muestra la vista en planta del piso 3 donde presentan los valores promedios de concentración de CO₂ registrados en horas típicas de ocupación general del piso 3. Las mediciones se realizaron a dos alturas sobre el nivel del piso, h1 y h2 con valores de 0,8 m y 2 m respectivamente.

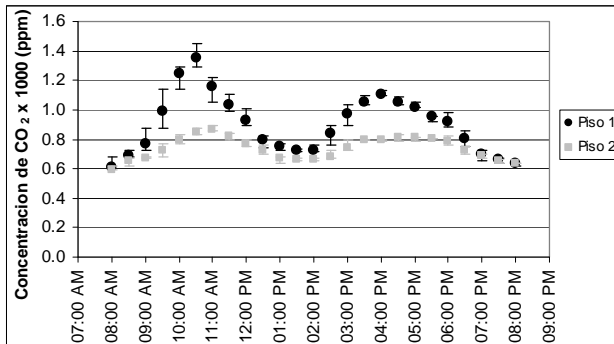


Fig. 2. Concentración de dióxido de carbono en los pisos 1 y 2

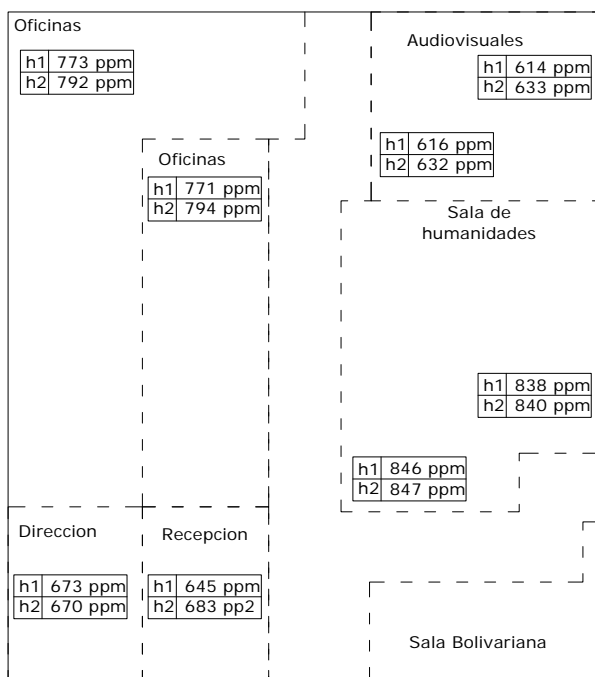


Fig. 3. Distribución de la concentración de CO₂ en el tercer piso

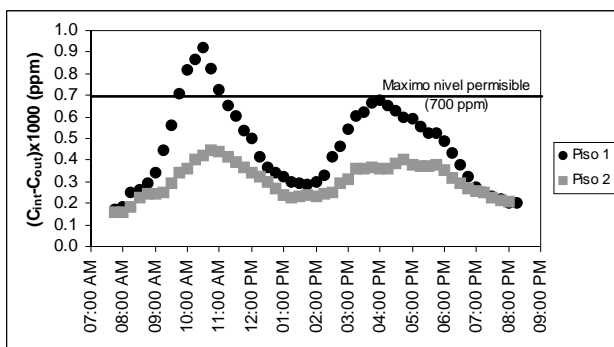


Fig. 4. Variación de la concentración de CO₂ entre el aire interior y exterior

Debido a que la calidad del aire con respecto al control

de los biofluentes humanos es medida con respecto a la variación entre la concentración de CO₂ del aire interno y el aire externo, en la Fig. 4 se presenta la variación de la concentración de CO₂ promedio de los pisos 1 y 2 con respecto a la concentración de CO₂ del aire exterior (aprox. 440 ppm).

4 Tasas de ventilación

Debido a la constitución del sistema de manejo y distribución de aire del sistema de aire acondicionado, es imposible medir la cantidad de aire exterior que se está ingresando a cada uno de los niveles. En consecuencia se desarrolló el siguiente modelo con el cual se pudo determinar las cantidades de aire exterior presentadas en la Tabla 1

4.1 Obtención del caudal de ventilación

Para la obtención del caudal de ventilación se procede con un balance de masa en la manejadora de aire (ver Fig. 5).

$$m_{r,1} + m_{r,2} + m_{r,3} + m_{out} = m_s \quad (1)$$

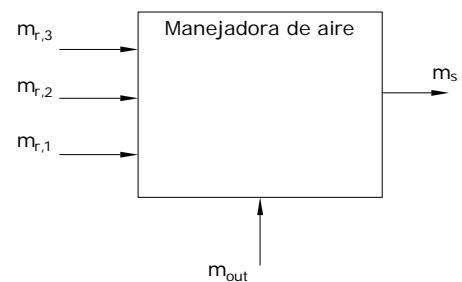


Fig. 5. Esquema de la manejadora de aire

Estos valores se midieron directamente en los retornos por piso ($m_{r,1}, m_{r,2}, m_{r,3}$) y la succión en la manejadora de aire (m_s).

$$m_s = 7719,45 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$$

$$m_{r,1} = 414,38 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$$

$$m_{r,2} = 637,50 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$$

$$m_{r,3} = 495 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$$

Resultando:

$$m_{out} = 6173 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$$

Haciendo balances de masa y de concentración de CO₂ en el piso 1, piso 2 y piso 3: en los sitios indicados en la Fig. 6, se tienen las siguientes expresiones:

$$m_{s,1} C_s + G_1 = m_{s,1} C_{r,1} \tag{2}$$

$$m_{s,2} C_s + G_2 = m_{s,2} C_{r,2} \tag{3}$$

$$m_{s,3} C_s + G_3 = m_{s,3} C_{r,3} \tag{4}$$

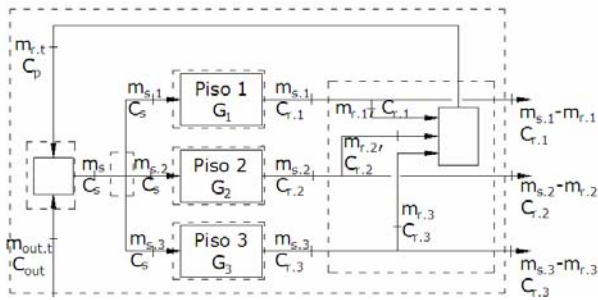


Fig. 6. Esquema del sistema

4.2 Obtención de los caudales por piso, concentración en los retornos, y concentración en el suministro.

Balance de masa en los suministros:

$$m_{s,1} + m_{s,2} + m_{s,3} = m_s \tag{5}$$

Balance de concentración de CO₂ en la manejadora de aire:

$$m_{out,t} C_{out} + m_{r,t} C_p = m_s C_s \tag{6}$$

Balance de concentración de CO₂ en la edificación:

$$m_{out} C_{out} + (G_1 + G_2 + G_3) = (m_{s,1} - m_{r,1}) C_{r,1} + (m_{s,2} - m_{r,2}) C_{r,2} + (m_{s,3} - m_{r,3}) C_{r,3} \tag{7}$$

Balance de CO₂ en los retornos:

$$m_{s,1} C_{r,1} + m_{s,2} C_{r,2} + m_{s,3} C_{r,3} = m_{r,t} C_p + (m_{s,1} - m_{r,1}) C_{r,1} + (m_{s,2} - m_{r,2}) C_{r,2} + (m_{s,3} - m_{r,3}) C_{r,3} \tag{8}$$

Una vez resuelto el sistema de ecuaciones (2) a la (8), conociendo la generación de CO₂ para el nivel 1 (G₁) de acuerdo al número de personas como se establece en ANSI (2002), se tiene:

$$m_{s,1} = 1843 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}} \quad m_{s,2} = 2938 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}} \quad m_{s,3} = 2938 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$$

$$G_2 = 3,447 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad G_3 = 1,609 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$C_s = 488,4 \text{ ppm} \quad C_p = 721,4 \text{ ppm}$$

Una vez obtenido el caudal de suministro para cada piso se propone el esquema que se presenta en la Fig. 7 para obtener las tasas de ventilación ya que son las verdaderas indicadores de las condiciones interiores. Para esto se tiene que m_{p,1}, m_{p,2} y m_{p,3} son las fracciones, de la mezcla de los flujos de retorno, correspondientes a cada piso y que tienen la misma concentración e igual al valor ponderado de las concentraciones de los flujos de retorno:

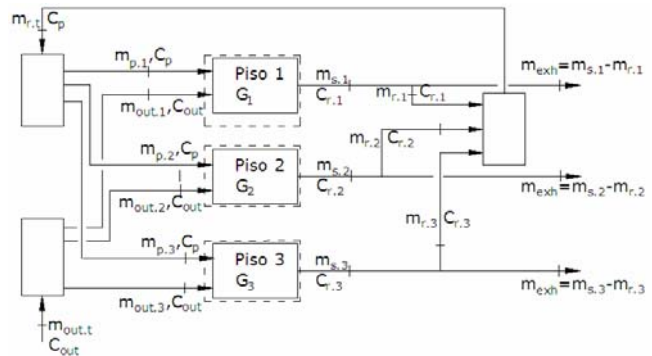


Fig. 7. Esquema del sistema (delimitación de nuevos sistemas)

Haciendo uso de balances de masa y concentración de CO₂, en cada piso como se muestra en la Fig. 7, se tiene:

$$m_{p,1} C_p + m_{out,1} C_{out} = m_{s,1} C_s \tag{9}$$

$$m_{p,2} C_p + m_{out,2} C_{out} = m_{s,2} C_s \tag{10}$$

$$m_{p,3} C_p + m_{out,3} C_{out} = m_{s,3} C_s \tag{11}$$

Balance de masa en cada piso:

$$m_{p,1} + m_{out,1} = m_{s,1} \tag{12}$$

$$m_{p,2} + m_{out,2} = m_{s,2} \tag{13}$$

$$m_{p,3} + m_{out,3} = m_{s,3} \tag{14}$$

Después de resolver las Ecs. (9) a (14) se obtiene como resultado la ventilación por piso que se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1 Distribución de aire de suministro y aire de ventilación a la edificación.

	$m_p \left(\frac{\text{pie}^3}{\text{min}} \right)$	$m_{out} \left(\frac{\text{pie}^3}{\text{min}} \right)$	$m_{exh} \left(\frac{\text{pie}^3}{\text{min}} \right)$
Piso 1	369	1474	1424
Piso 2	588	2349	2301
Piso 3	588	2349	2443

5 Desfase entre la ocupación y los niveles de concentración de CO₂.

En las Figs. 8 y 9 se presentan sobre una base porcentual los valores de ocupación y de CO₂ respecto a los máximos valores encontrados en cada piso, con lo que puede observarse el desfase existente entre las curvas de ocupación y concentración de CO₂ en los pisos 1 y 2, respectivamente. Este desfase es producto de la propia inercia de concentración del volumen de aire de cada nivel, el cual se explica por el hecho de que un aumento repentino del número de personas solo será registrado por el sensor de CO₂, ubicado en el retorno, cuando la concentración del ambiente tienda a equilibrarse, lo cual según los datos se estima entre 15 a 30 minutos, dependiendo de la tasa de variación del número de ocupantes.

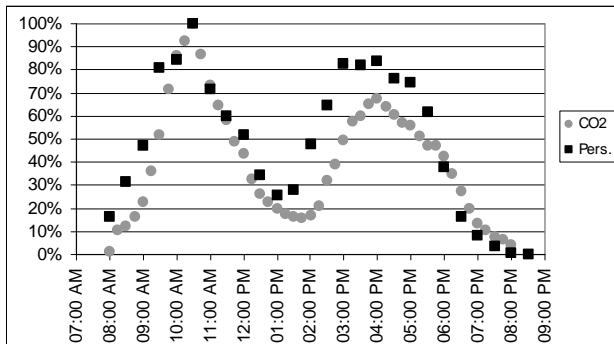


Fig. 8. Comparación en entre la concentración de de CO₂ y la cantidad de personas sobre una base porcentual para el piso 1

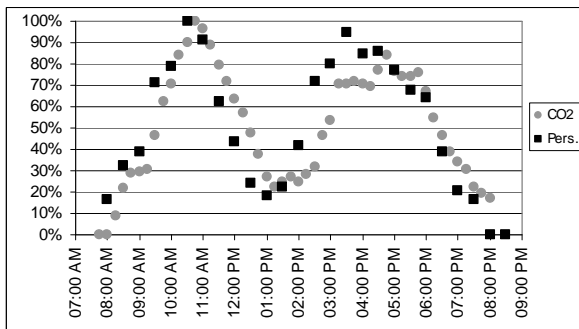


Fig. 9. Comparación en entre la concentración de de CO₂ y la cantidad de personas sobre una base porcentual para el piso 2

6 Análisis de resultados

Como era de esperarse, los niveles de concentración de CO₂ en los tres pisos de la biblioteca UNET no alcanzan en ningún momento los valores de Concentración Ambiental Permisible (5000 ppm). Desde el punto de vista del confort o satisfacción de los visitantes en cuanto al control de los biofluentes humanos se observa en la Fig. 4 que para el piso 1, en el tiempo comprendido entre las 9:45 y las 11 a.m., se

supera la variación de concentración de 700 ppm que garantiza la satisfacción de la mayoría de los visitantes. De acuerdo al ASHRAE Standard 62.1 (2004) el valor de ventilación (m_{out}) requerido para instalaciones de este tipo viene dada por:

$$m_{out} = R_o P + R_a A \tag{15}$$

Donde los factores (R_o) y (R_a) para salas de lectura son 7,5PCM/pers y 0,06PCM/pers respectivamente. Para los pisos 1 y 2, en la s Figs. 10 y 11 correspondientemente, se presenta la cantidad de ventilación requerida, con base en la cantidad de ocupantes y contrastado con la cantidad de ventilación suministrada por el sistema de aire acondicionado.

La deficiencia de aire exterior en el piso 1 puede ser corregida haciendo una redistribución del flujo de aire por piso, porque como se puede observar de la Tabla 1 los pisos

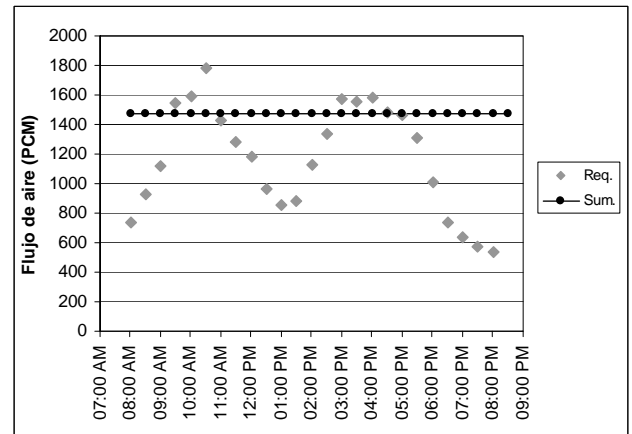


Fig. 10. Comparación entre la cantidad de aire requerida y la suministrada (Piso 1)

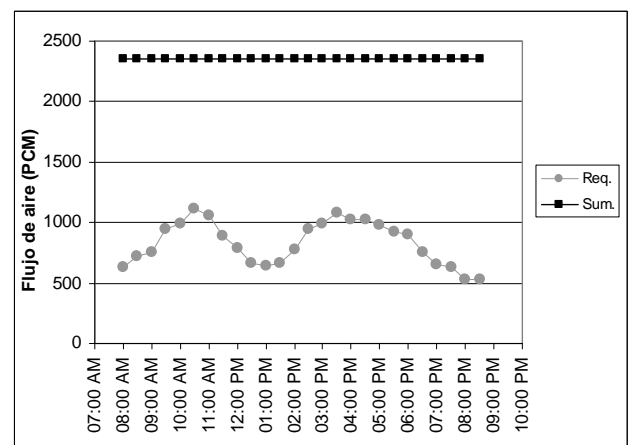


Fig. 11. Comparación entre la cantidad de aire requerida y la suministrada (Piso 2)

2 y 3 reciben un mayor flujo de aire que el piso 1, y como se observa en la Fig. 4, para el piso 2 la concentración de CO₂ entre el aire interior y exterior excede los requerimientos del Estándar ASHRAE-62 (2004).

Con respecto al tercer piso, sabiendo que la concentración del aire exterior es de 440 ppm, se determina que la máxima diferencia de concentración registrada es de 407 ppm, por lo que el piso 3 supera favorablemente los niveles de ventilación mínimos.

7 Conclusiones

En general, y considerando la edificación como un todo, puede decirse que en la biblioteca de la UNET se están cumpliendo las normas de ventilación y de calidad del aire desde el punto de vista de la concentración de CO₂ es satisfactoria. En el primer piso por cortos periodos de tiempo no se satisface la condición de control de biofluentes humanos, pero debido al exceso de aire exterior en los pisos 2 y 3 originado por una inadecuada distribución del aire de suministro proveniente de la unidad manejadora de aire, esta situación desfavorable puede ser corregida fácilmente al balancear el sistema de acuerdo a la ocupación típica por medio de desviadores de flujo en el sistema de ductos. La percepción de olores extraños dentro de la biblioteca y las presuntas afecciones respiratorias comentadas por los empleados, que fueron la principal motivación de este trabajo, definitivamente no pueden ser atribuidas a niveles insuficientes de ventilación.

Nomenclatura

Variables

A Área de la zona

C Concentración de dióxido de carbono
 G Tasa de generación de dióxido de carbono
 Número de personas
 R Flujo de aire exterior requerido
 h Altura sobre el nivel de piso
 m Flujo de aire

Subíndices

a Por unidad de área, aire exterior
 o Por personas
 p Promedio, en retorno
 r Retorno
 s Suministro
 exh Extracción
 int Interior
 out Exterior

Referencias

- ASHRAE Standard 62.1, 2004, Ventilation for acceptable indoor air quality.
 ASTM D6245-98, 2002, Using indoor carbon dioxide concentration to evaluate indoor air quality and ventilation.
 Herrmann D, 2002, Understanding CO₂ and ASHRAE 62, Energy Engineering. Vol. 99, No. 1, pp. 50-53.
 Norma COVENIN 2253:2001 Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición.
 Norma COVENIN 2250:2000 Ventilación de los lugares de trabajo.