

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS CONDICIONES DEL CONFORT TÉRMICO

A. Alkassir – aawf@unex.es
J. Gañan – jogomez@unex.es
A. Ramiro – aramiro@unex.es
E. Sabio – esabio@unex.es
J. F. González – jfelix@unex.es
Carmen M. González – cggarcia@unex.es

Universidad de Extremadura – Escuela de Ingenierías Industriales
Avda. de Elvas, s/n
06071 – Badajoz - SPAIN

Resumen. *La percepción del ambiente térmico no depende únicamente de los parámetros ambientales, sino que es un fenómeno que incluye muchos más factores del entorno interior y exterior, del sujeto que percibe estos parámetros. Incluso habría que considerar factores culturales y sociales. Así, al intentar crear en el interior de espacios públicos condiciones higrotérmicas satisfactorias, se ha empezado por estudiar factores que influyen en su sensación de bienestar, y las condiciones que debía reunir el ambiente para que una persona se sintiese cómoda desde el punto de vista del confort térmico. Para marcar los límites de estas condiciones, nuestro estudio tratará de establecer las condiciones de confort en edificios públicos (a partir de un espacio tomado como representativo) mediante la toma de datos tales como el nivel de CO₂, temperatura de bulbo seco y húmedo, humedad relativa, para el posterior estudio y valoración de resultados mediante las ecuaciones y diagramas de confort y la normativa UNE vigente, así como una comparación con las condiciones establecidas por la prenorma europea prENV 1752.*

Palabras claves: *Confort térmico, Experimental, Ambiente, Ventilación, Polución.*

1. INTRODUCCIÓN

La sensación mental que expresa la satisfacción con el ambiente térmico define el confort térmico (ASHRAE, 1971). Esta definición deja abierto el abanico de las distintas sensaciones de confort según las personas, pero enfatiza en el sentido de que el confort es un proceso complejo influido por multitud de variables físicas, fisiológicas, psicológicas y otros procesos distintos. Dentro de los factores que se indican en la Fig. 1 (Chávez, 2001) nos centraremos en el estudio de las temperaturas, la humedad y la velocidad del aire, como más representativos del confort. De esta forma, se procederá a la medición de la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo

húmedo, la temperatura radiante, la velocidad del aire ambiente, la humedad relativa y la concentración de CO₂ (Calidad Aceptable del Aire).

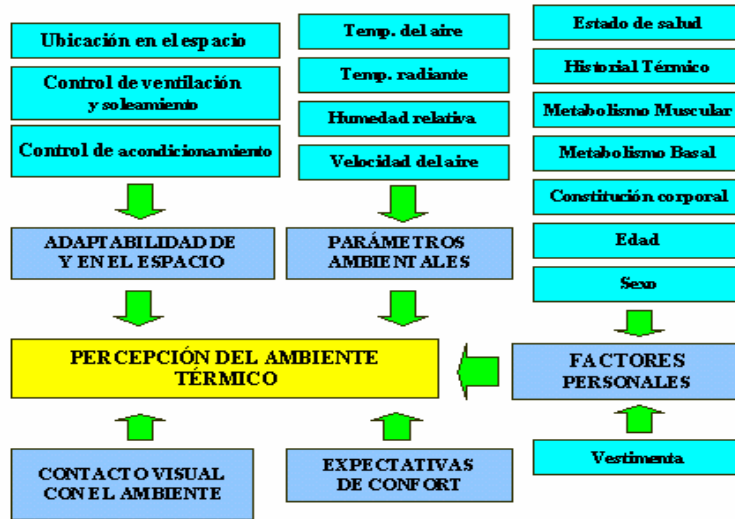


Figura 1. El ambiente térmico.

El presente trabajo trata de las condiciones de confort que se deben dar en el interior de edificios públicos, que una parte del mismo se ha realizado en estudios anteriores (Alkassir, *et al.* 2004). Por lo tanto, y para la toma de medidas hemos seleccionado el edificio de la Escuela de Ingenierías Industriales de Badajoz. Como espacio interior representativo, hemos seleccionado el Laboratorio de Máquinas y Motores Térmicos situado en la primera planta del citado edificio.

2. RECINTO ESTUDIADO

Las condiciones que afectan a la calidad del ambiente deben ser mantenidas en la zona ocupada, definida por las distancias indicadas en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1. Límites de la zona de ocupación.

Distancia desde la superficie interior del elemento (cm)			
Pared exterior con ventana o puertas			100
Pared exterior sin ventanas o puertas o pared interior			50
Suelo:	Limite inferior		10
	Limite superior	Persona sentada	130
		Persona de pie	200

No pueden ser consideradas como zonas ocupadas los lugares en los que puedan darse importantes variaciones de temperatura con respecto a la media y pueda haber presencia de corrientes de aire, como son zonas de tránsito, zonas próximas a puertas de uso frecuente, zonas próximas a cualquier tipo de unidad terminal de aire o zonas próximas a aparatos con fuerte producción de calor.

Las mediciones de los parámetros ambientales deben efectuarse dentro de la zona ocupada anteriormente mencionada, a estas alturas del suelo, dependiendo de la posición de las personas como está indicado en la Tabla 2.

Tabla 2. Alturas de medición de los parámetros ambientales.

Posición de las personas	Altura de medición sobre el suelo (cm)		
	superior	media	inferior
Sentadas	110	60	10
De pie	170	110	10

Para nuestra toma de datos, hemos seleccionado un número de puntos de medida, distribuidos por toda la zona ocupada del laboratorio de forma aparentemente uniforme, formando un total de nueve puntos, que a su vez están distribuidos en tres zonas, anterior, media y posterior, para una mayor facilidad en la interpretación de los resultados pertinentes, como se puede ver en la Fig. 2.

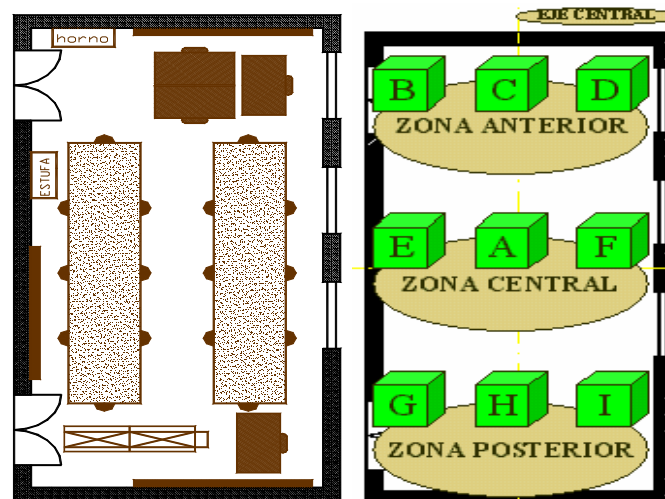


Figura 2. Puntos de medida en el espacio estudiado.

Las condiciones que afectan a la calidad del ambiente deben ser mantenidas en la zona ocupada (ATECYR, 1999), establecida a una distancia de 100 cm de paredes exteriores con vanos, reduciéndose a 50 cm si la pared no tiene vanos. En cuanto a distancias verticales, queda definida por un límite inferior de 10 cm y uno superior de 130 cm ó 200 cm, dependiendo si la persona está en pie o sentada. No pueden ser consideradas como zonas ocupadas los lugares en los que puedan darse importantes variaciones de temperatura con respecto a la media y pueda haber presencia de corrientes de aire, como son zonas de tránsito, zonas próximas a puertas de uso frecuente, zonas próximas a cualquier tipo de unidad terminal de aire o zonas próximas a aparatos con fuerte producción de calor.

3. TEMPERATURA DEL BULBO SECO

Establecemos como punto de partida para el estudio las temperaturas de bulbo seco medida en los distintos puntos del laboratorio, para distintas alturas, como se muestra en la Fig. 3.

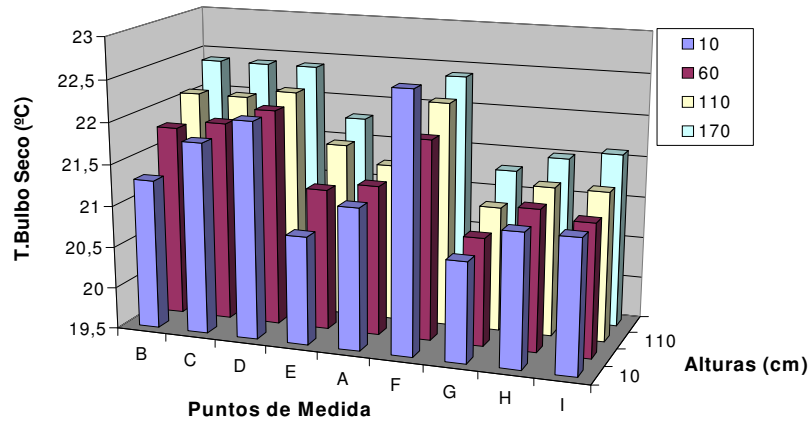


Figura 3. Temperaturas medidas de bulbo seco.

Los intercambios de calor entre el cuerpo y el ambiente, para individuos sentados, descansando y vestidos, vienen dados por la Fig. 4 (Alaman, 1968), en las que tendremos en cuenta que al contar con el calor de evaporación, se incluye el eliminado por la evaporación procedente de los pulmones. El rango de los datos obtenidos va desde 20,7 °C a 22,4 °C la máxima medida, que llevado a la zona sombreada de la Fig. 4, obtenemos que la mayor parte del calor cedido será por acción de la convección y radiación, al encontrarnos en una zona dentro del marco del confort, por lo que la pérdida de calor por evaporación es poco significativa respecto las pérdidas anteriormente mencionadas. Estaremos en muy próxima al equilibrio térmico, pues la línea de pérdida total de calor es muy cercana a la de producción del mismo por el metabolismo de los ocupantes.

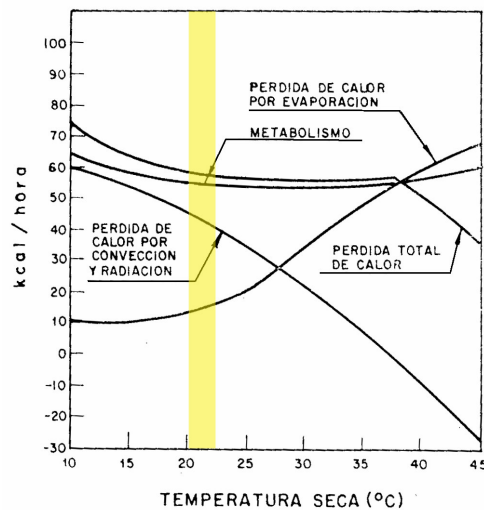


Figura 4. Calor intercambiado frente a la temperatura del bulbo seco.

4. EL BIENESTAR

Atendiendo a la sensación térmica, puede decirse que para temperaturas inferiores a 22 °C, no tiene influencia la humedad relativa. Para temperaturas más elevadas, la humedad empieza a

tener influencia tanto más cuanto más elevado es este valor. En nuestras medidas resultó una humedad relativa del 50 %, prácticamente constante por todo el laboratorio. Mediante la medición de la temperatura de los cerramientos y de su superficie, y ponderando el sumatorio de su producto por la suma de las superficies, hallamos la *temperatura media radiante* del laboratorio 23,46 °C.

De esta forma, haciendo la media con las temperaturas de bulbo seco obtenidas anteriormente, hallamos la temperatura equivalente, que junto con la humedad hallada antes, del 50%, nos permitirá situar los puntos en el diagrama (UNE-100-012, 1984), Fig. 5, obteniendo (como resulta con el punto escogido como ejemplo, el punto A del laboratorio) que todos los puntos estudiados están dentro de la zona de bienestar, que equivale al área del diagrama psicrométrico en la que los valores de temperaturas equivalente y humedad relativa son los juzgados satisfactorios por, al menos, el 80 % de las personas. Por lo tanto, podemos deducir que el laboratorio se encuentra dentro de las condiciones de confort desde un punto de vista térmico.

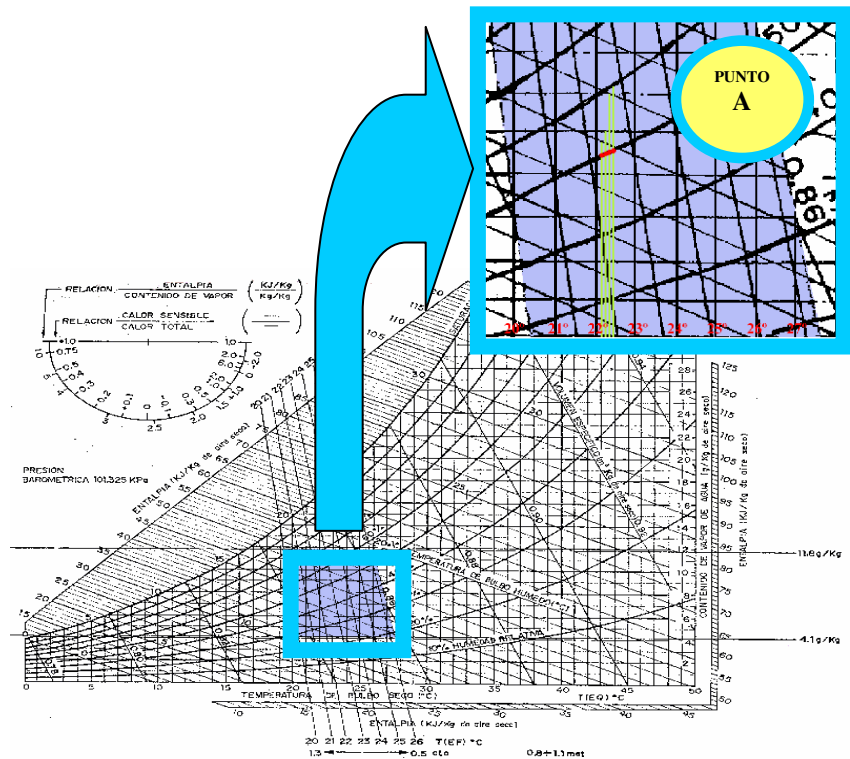


Figura 5. Presentación de los resultados en el diagrama psicrométrico.

5. MOVIMIENTO DEL AIRE

En el laboratorio tenemos una situación en la que la velocidad del aire en el interior del laboratorio es inferior siempre a 0,1 m/s. Si hacemos la suposición de que la temperatura del aire es igual a la temperatura media radiante, hallaremos la temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco que deberían de darse para que con velocidades de ese orden se alcanzasen las condiciones de confort. De esta forma, para nuestro estudio nos situamos en la Fig. 6 (Pizzetti, 1991) que representa una actividad sedentaria ($M=1$ met) y con una vestimenta media ($I_{cl}=1$ clo). Por lo tanto, con la temperatura radiante de 23,46 °C que obtuvimos antes, si la suponemos aproximadamente igual a la temperatura del aire (suposición que luego comprobaremos con otro diagrama de confort, para humedades relativas del 50 %), nos resultará, si introducimos una humedad relativa en torno al 50 %, una temperatura de bulbo húmedo de 16 °C, y una velocidad

del aire en torno a 0,15 m/s, resultando una temperatura de bulbo húmedo de 16,5 °C, que coincide con la medida en el laboratorio. Esto nos viene a confirmar la necesidad de aumentar la velocidad del aire en el interior del laboratorio, por lo menos hasta el valor que nos ha resultado.

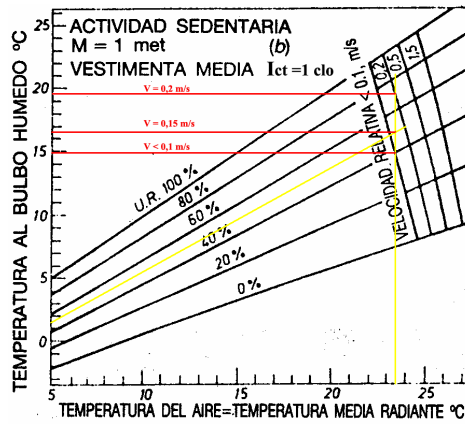


Figura 6. Presentación de los resultados en el diagrama de confort de Fanger.

Para ver el efecto que podría causar esta variación de velocidad en el laboratorio, si procedemos a variar la velocidad, manteniendo la temperatura media radiante de nuestros cerramientos, nos encontramos que para velocidades menores de 0,1 m/s, el confort se alcanzaría disminuyendo la humedad relativa del ambiente hasta un 40 %, disminuyendo también la temperatura de bulbo húmedo hasta 15 °C. Si en cambio aumentamos la velocidad del aire hasta un valor de 0,2 m/s, nos resultaría un porcentaje de humedad en torno al 70 %, aumentando también la temperatura de bulbo húmedo, debido a la mayor influencia de la humedad relativa al llegar a temperaturas altas, por lo que la humedad relativa se convierte en un factor más influyente a la hora de conseguir el confort térmico buscado. En nuestro estudio nos encontramos que todo el laboratorio esta expuesto a velocidades inferiores a 0,1 m/s, lo que conllevará molestias por falta de movimiento de aire, como se observa en la Fig. 7.

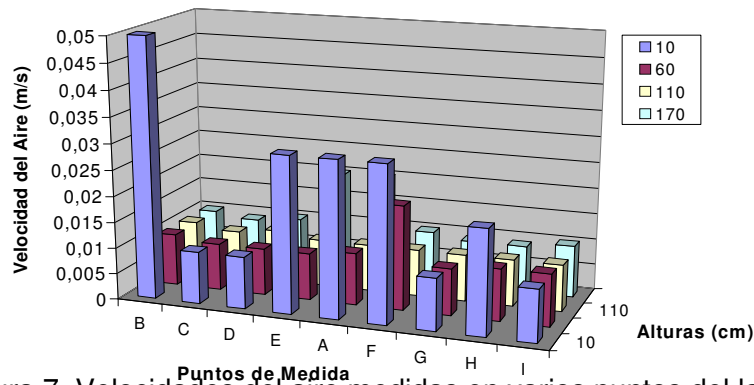


Figura 7. Velocidades del aire medidas en varios puntos del laboratorio.

A la vista de los resultados, observamos un gradiente de velocidades, que en alturas más cercanas al suelo suele darse la velocidad máxima, que va decreciendo y tendiendo a estabilizarse al aumentar la altura. Este gradiente se observa que es inverso al que experimenta la temperatura, de forma que podemos ver reflejada una dependencia entre las diferencias de temperaturas y la velocidad del aire. Se experimenta un aumento de velocidad en zonas cercanas a los cerramientos, debido a que la existencia de corrientes de aire en el interior de los edificios viene provocada sobre todo por las infiltraciones que se produzcan en los cerramientos, por las diferencias de presiones entre el interior y el exterior de los edificios. También podemos observar

que las corrientes de aire fluyen los espacios que le deja el mobiliario, cuya distribución contribuye la formación de corrientes.

6. NIVELES DE CO₂

Como principal contaminante de los edificios públicos nos centraremos en los niveles de concentración de CO₂, expresados en la Fig. 8, como principal indicador de la calidad del aire que necesitaremos para la correcta ventilación de los mismos

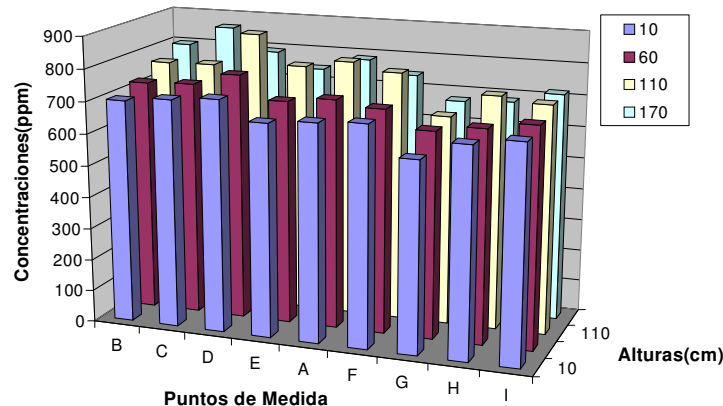


Figura 8. Valores obtenidos de concentración de CO₂.

Los datos obtenidos ponen de relieve que la concentración de CO₂ tiene de forma general un gradiente ascendente, debido a que al ser un gas, tiende a acumularse en los estratos superiores de la estancia; y también a que, como el principal productor de CO₂ son las personas que ocupan dicha estancia, la mayor concentración se produzca en alturas similares a la que es expelido el gas. Esta última causa también viene a resaltar la dependencia de la temperatura con la emisión de CO₂ por parte de las personas, por la cual al estar los estratos superiores a mayor temperatura la emisión es también ligeramente mayor. Además, la concentración de CO₂ delata claramente la presencia de personas en el ambiente, así como las zonas de mayor uso de la estancia, de forma la zona que estaba ocupada, donde se encuentran las personas trabajando, en donde se produce la mayor concentración de CO₂, que se acerca a veces al límite aceptable de 1000 ppm. También es indicativo de la presencia de fumadores; la medida realizada en el punto D sobre una persona fumadora se ve reflejada en el gran aumento del nivel de CO₂. Todo esto conlleva a unas mayores necesidades de ventilación.

7. CAUDAL DE VENTILACIÓN

La norma indica unos caudales de aire exterior de ventilación en función del uso del local (UNE 100-011, 1991). El valor mínimo del caudal de aire exterior por cada ocupante es de 8 l/s (28,8 m³/h) y llega hasta 15 l/s (5,4 m³/h) y algo más, en casos especiales. Consideramos dos criterios, que nos indican dos valores de caudales unitarios de ventilación (por persona y por metro cuadrado de suelo ocupable, ambos en función del tipo de local), y se elegirá siempre el que de lugar al mayor caudal total. Así tenemos que para un laboratorio se requieren 10 l/s por persona, por lo que si estimamos una ocupación media de veinte personas nos quedará un caudal de ventilación de 200 l/s. Si por el contrario uso el criterio del área, se tiene una necesidad de ventilación de 3 l/s y por metro cuadrado, de forma que como tenemos una superficie de 97,92 m² de laboratorio, nos resulta un total de 293,76 l/s, que escogeré como válido al ser un valor mayor.

También tendremos en cuenta el *caudal mínimo necesario* (q), en litros por segundo y por persona, se halla mediante el siguiente balance de masas del anhídrido carbónico. Si la

concentración máxima admisible en el espacio ventilado debe mantenerse igual a 0,1%, la concentración de CO₂ medida en el exterior es de 0,0393 %. Sustituyendo los valores mencionados en la Ec. (1) (UNE 100-011, 1991), queda un caudal de 9 l/s por persona.

$$q = 100 \cdot \frac{q(\text{CO}_2)}{(\text{CO}_2)_{\text{amb}} - (\text{CO}_2)_{\text{ext}}} \quad (1)$$

La *Calidad Percibida del Aire (CPA)* se expresa como *Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI)*, que son aquellas que juzgan si el aire es inaceptable inmediatamente después de entrar en un espacio (visitantes) (ATECYR, 1999). Por lo tanto, para el caudal mínimo de ventilación hallado de 9 l/s, resultaría el valor que corresponde a un PPI del 16,59 %. La CPA puede también expresarse en *decipol (dp)*, que se define como la calidad del aire en un espacio con una fuente de polución de fuerza 1 olf, ventilada por 10 l/s de aire limpio (Mondelo *et al.*, 1995). La figura 9 (ATECYR, 1999) muestra la relación entre la calidad del aire percibido, expresada en porcentaje de personas insatisfechas (PPI) y en decipol (dp). Como antes nos resultó un valor del 16,59% de insatisfechos, nos resultará un valor de CPA de 1,107 según la prenorma europea (*prENV1752*).

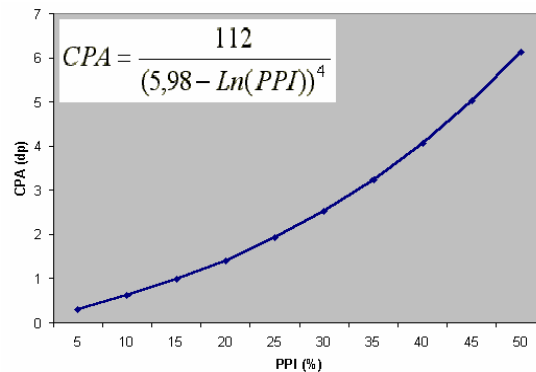


Figura 9. Calidad del aire en función del PPI.

El dióxido de carbono es producido por los seres humanos proporcionalmente a su actividad metabólica y es, en cantidad, el más importante bioefluente humano. En nuestro estudio obtuvimos un nivel de CO₂ en el ambiente exterior de 393 ppm, obteniendo así la concentración de CO₂ en el aire interior como expresa la Ec. (2) (ATECYR, 1999).

$$C = 393 + 52681 \cdot [5,98 - \text{Ln}(PPI)]^{-4} \quad (2)$$

Para los valores de los datos tomados durante nuestro estudio, nos movemos entre un valor mínimo de 597 ppm y un valor máximo de 873 ppm, lo que me lleva a moverme entre valores de un 7,17 % a 15,53 % de insatisfechos, lo que nos indica el gran aumento de este porcentaje que se produce debido a la presencia de un fumador dentro de la sala.

Las fuentes de contaminantes en un edificio producen una carga de polución que se puede expresar como carga química o carga sensorial (PrEnv 1752). La carga de polución química se expresa en términos de caudal de emisión de un contaminante específico en una unidad de volumen o peso por unidad de tiempo (G en mg/s ó µg/s ó g en mg/(s · m²) ó µg/(s · m²) por unidad de superficie de suelo). Una vez fijada la concentración en el aire interior y conocidas la concentración en el aire exterior, la eficiencia de filtración y el caudal de emisión, se puede hallar el caudal de aire de ventilación, mediante la Ec. (3) como sigue:

$$Q_o = \frac{G}{c_i - c_e \cdot (1 - e)} \cdot \frac{1}{\varepsilon_v} \quad (3)$$

Para hallar la concentración de la sustancia en el aire interior (valor máximo admitido), en mg/m^3 , hemos supuesto una ocupación media de 20 personas y una eficiencia de filtración del 0,95 %. La eficacia de ventilación depende del sistema de difusión de aire empleado, de forma que para nuestro laboratorio, el tipo de ventilación usado será el de *ventilación por mezcla, de tipo 1* (ATECYR, 1999), impulsándose y extrayéndose el aire desde la parte superior, tomando así un valor de eficiencia de 0,8 para la ventilación.

Sustituyendo todos los valores obtenidos, resulta 0,1353 l/s, que supone un valor excesivamente bajo para los valores que estamos barajando. Por ello, parece mucho más coherente realizar el cálculo desde el punto de vista de la carga de polución sensorial, que va más allá del punto de vista meramente químico, por lo que arrojará resultados más coherentes respecto al estudio que estamos realizando, de forma que si el resultado siguiente es mayor será el válido.

La carga de polución sensorial se calcula sumando las diferentes cargas de polución de cada fuente. Por tanto, para nuestro laboratorio, al tener una ocupación media de veinte personas, con una carga de polución de 1 olf, nos dará un total de 20 olf. La calidad del aire exterior depende del lugar de emplazamiento del edificio. Para nuestro caso, al encontrarnos en una zona próxima al campo, a las afueras de la ciudad, podremos considerar la calidad del aire exterior como de buena calidad en ciudad. El caudal de ventilación se calcula mediante la Ec. (4) (ATECYR, 1999), muy parecida a la del procedimiento analítico anterior.

$$Q_o = 10 \cdot \frac{G}{c_i - c_o} \cdot \frac{1}{\varepsilon_v} \quad (4)$$

Obtenemos un valor de 277,77 l/s, que vemos guarda gran similitud con el establecido según la norma española. El caudal por persona resultará del 13,88 l/s. Si estamos ante la presencia de fumadores, el caudal de emisión de uno de ellos es de 6 olf, lo que equivale a 0,6 dp, obteniendo por persona 83,33 l/s. Podemos observar el gran incremento en las necesidades de aire de ventilación que se produce debido a la polución producida por la presencia de fumadores, y consiguiente disminución de la calidad del aire percibida que conlleva.

8. CONCLUSIONES

En el presente estudio se ha tratado establecer las condiciones de confort en edificios públicos. El recinto estudiado se ha encontrado dentro de la zona de confort, y sus condiciones son más cercanas a las condiciones de invierno. El recinto esta expuesto a velocidades inferiores a 0,1 m/s, lo que conllevará molestias por falta de movimiento de aire.

La cercanía de algunos valores de concentración de CO_2 al límite permitido de 1000 ppm nos indica una mayor necesidad de ventilación en el laboratorio. Existe un gradiente vertical de temperatura en todas las zonas del laboratorio, que, aunque no es relevante, convendrá controlarlo para evitar molestias locales que deterioren la sensación de bienestar térmico.

REFERENCIAS

- Alaman, A., 1968, Condiciones Higrotérmicas de Confort en Edificios, I.E.T.
 AlKassir, A., et.al, 2004, Cálculo y obtención de los parámetros del confort, El Instalador, N° 406, Marzo, pp. 80-94.
 ANSI-ASHRAE 55-1992: Thermal environmental conditions for human occupancy.
 ASHRAE, 1971, ASHRAE Guide and Data Book (Fundamentales), Atlanta.

ATECYR, 1999, Plan de Calidad. Los Parámetros del Bienestar, AFEC, Madrid.
Carrier Air Conditioning Company, 1986, Manual de Aire Acondicionado (Handbook of Air Conditioning System Design), Marcombo, Barcelona.
Chávez del Valle F.J., 2001, La Percepción del Ambiente Térmico, UPC, Valencia.
Mondelo, P.R., Gregori, E., Comas, S., Castejon, E., Bartolomé, E., 1995, Ergonomía 2: Confort y Estrés Térmico, UPC, Valencia.
Pizzetti, C., 1991, Acondicionamiento del aire y refrigeración, Bellisco, Madrid.
PrENV 1752: Ventilation for buildings. Design criteria for the indoor environment.
UNE EN 150 7730: Ambientes térmicos moderados. Determinación de los índices PMV y PPD y especificaciones de las condiciones de confort térmico.
UNE 100-012-84: Bases para el proyecto. Zona de bienestar.
UNE 100-011-91: La ventilación para una calidad aceptable del aire en la climatización de los locales.

EXPERIMENTAL STUDY OF THERMAL CONFORT CONDITIONS

Resumen. *The perception of the thermal environment does not depend only on the environmental parameters, but it is a phenomenon that includes many factors of the interior and exterior environment and of the occupant that perceives these parameters. Even it would be necessary to consider cultural and social factors. Therefore, on having tried to create inside public spaces satisfactory hygrotermics conditions, it has been begun for studying factors that influence its sensation of confort, and the conditions that it had to assemble the environment in order that a person was feeling comfortable from the point of view of the thermal confort. To mark the limits of these conditions, our study will try to establish the conditions of thermal confort in public buildings by capturing of such information as the level of CO₂, dry and humid bulb temperature and relative humidity, for their posterior study and valuation of results by means of confort equations and graphs and the Spanish Norm, as well as a comparison with the conditions established by the European prenorma prENV 1752.*

Keywords: *Thermal confort, Experimental, environment, Ventilation, Pollution.*