

## ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL UMBRAL DE LAS CONDICIONES DE CONFORT TÉRMICO EN OCUPANTES

**José Roberto García Chávez (1); Juan José Ambriz García (2);  
Hernando Romero Paredes Rubio (3)**

(1) Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco  
División de Ciencias y Artes para el Diseño.  
Departamento de Medio Ambiente.  
Laboratorio de Investigaciones en Arquitectura Bioclimática  
San Pablo 180. Colonia Reynosa Tamaulipas.  
C.P. 02200. México, D.F.  
Tels. 5318-9000. Ext 2084. Fax. 5752/9377  
e-mail: [jgc@correo.azc.uam.mx](mailto:jgc@correo.azc.uam.mx)

(2), (3) Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa  
División de Ciencias Básicas e Ingeniería.  
Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica.  
Laboratorio de Ambiente Controlado  
San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina.  
C.P. 09340. México, D.F.  
Tels. 5804-4644, Fax. 5804 4900  
e-mail: [agi@xanum.uam.mx](mailto:agi@xanum.uam.mx) y [hrp@xanum.uam.mx](mailto:hrp@xanum.uam.mx)

### RESUMEN

La interacción de las variables del clima exterior y las edificaciones determinan la percepción de las condiciones de confort térmico de los ocupantes y el consumo de energía. El confort es una condición esencial para lograr la satisfacción de los ocupantes. Estudios recientes han demostrado que los factores psicológicos y conductuales tienen una relación directa en la percepción del confort humano. Actualmente, no existen indicadores prácticos relativos a la percepción de las condiciones de confort para diferentes tipos de edificios, regiones climáticas y ocupantes. Los estándares de confort actuales, tales como el ISO/7730 y el ANSI/ASHRAE 55/92, se basan en un “modelo estático”, en el cual, las respuestas fisiológicas y psicológicas con respecto al ambiente térmico son básicamente las mismas durante todo el año. De acuerdo al “Modelo de Confort Térmico Adaptivo”, *los factores contextuales y los históricos de la percepción térmica, modifican las expectativas y preferencias térmicas de los ocupantes*. Una de las consecuencias que se predicen en este Modelo, indica que las personas que habitan en climas predominantemente cálidos prefieren temperaturas interiores más cálidas que las personas que habitan en climas fríos. Esta situación es contraria a las suposiciones que se presentan en los estándares de confort actuales. Este trabajo presenta un estudio experimental realizado en una cámara de ambiente controlado con individuos, que habitan en un clima típicamente templado con gran oscilación térmica diurna y estacional, variando la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa y el movimiento del aire, para analizar el umbral de las condiciones de confort en estos ocupantes. Los resultados obtenidos han demostrado que los ocupantes tienen preferencias que rebasan el límite superior de la zona de confort aceptada en los estándares internacionales de referencia. Esta situación, además de contribuir a obtener condiciones de confort para los ocupantes, puede coadyuvar a reducir el consumo de energía y promover el desarrollo sustentable, para mejorar y preservar el medio ambiente y la calidad de vida de las personas.

### ABSTRACT

The interaction of the climate external variables and the buildings determines the perception of the ambient comfort conditions of the occupants as well as the energy consumption. Comfort is an essential condition aimed at achieving both human satisfaction and energy savings in buildings. Recent studies have demonstrated that behavioural and psychological factors have a direct relationship

in people's perception of human comfort. However, there is a lack of practical indicators relative to perception of comfort for different type of buildings, climatic regions and users also. Current comfort standards such as ISO/7730 and ANSI/ASHRAE 55/92 are based on a static model of human thermal comfort, in which physiological and psychological response to the thermal environment is basically the same throughout the year. According to the "adaptive thermal comfort model" *contextual factors and past thermal history modify occupants' thermal expectations and preferences*. One of the predicted consequences is that people in warm climates zones prefer warmer indoor temperatures than people living in cold climate zones. This is contrary to the static assumptions underlying the current ASHRAE comfort standards. This work presents a field study carried out in a controlled ambient chamber with individuals of a typical mild climate with large diurnal and seasonal temperature swings under different types of climate conditions, varying dry bulb temperature and relative humidity. This work is aimed at assessing the boundaries of thermal comfort conditions for occupants. Results have shown that occupants have preferences beyond the upper limit of comfort stated in recent standards. This will eventually lead to a reduction in energy consumption and will also promote sustainable development for improving the environment and people's quality of living.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Una de las definiciones más aceptadas de Confort Térmico, establece que es la "*condición mental bajo la cual expresan satisfacción la mayoría de los ocupantes de un determinado ambiente térmico*". Sin embargo, para entender el confort térmico de los ocupantes en las edificaciones, es indispensable analizar diversas variables, directas e indirectas, que interactúan para dar como resultado una percepción psicofisiológica integral de las condiciones ambientales circundantes en las que desarrollan sus actividades los ocupantes. Para presentar alternativas viables, orientadas a solucionar la problemática actual de inadaptación e inadecuación de los espacios construidos a su entorno natural, se ha planteado la aplicación de una arquitectura con sentido común, bajo el concepto de Arquitectura Bioclimática, cuyos principios se han aplicado en diversos ejemplos en el mundo. La metodología del Diseño Bioclimático, que establece el análisis de las condiciones microclimáticas del lugar en estudio (García-Chávez, 1996), y que se refiere al conocimiento de las condiciones existentes, es decir "lo que hay" en el lugar del proyecto. A partir de este análisis se procede a establecer las condiciones de bienestar ambiental de los usuarios que se requieren satisfacer en los espacios constructivos, es decir, "lo deseable". Es en este punto donde deben definirse las condiciones de bienestar de los ocupantes, particularmente, las condiciones deseables de *Confort Térmico*.

## **2. CONSECUENCIAS DE LA FALTA DE CONFORT. AFECTACIONES EN LA SALUD Y EFICIENCIA. CONSUMO DE ENERGÍA E IMPACTO AMBIENTAL**

El confort es una condición ambiental de gran importancia ya que más del 90% del tiempo, en promedio, las personas realizan sus actividades dentro de un espacio arquitectónico. Por lo tanto, contar con condiciones de confort higrotérmico es esencial para el óptimo desarrollo de todas las actividades de los ocupantes. Desafortunadamente, la mayoría de los edificios contemporáneos se caracterizan por elevados e irracionales consumos de combustibles fósiles y por su excesiva dependencia en equipos de climatización e iluminación artificial. Esto, a su vez, provoca un impacto negativo en el medio ambiente, debido a la emisión de gases de invernadero a la atmósfera.

## **3. INDICES Y MODELOS DE CONFORT TERMICO. ANALISIS HISTORICO**

Diversos autores han planteado diferentes tipos de índices, criterios y modelos térmicos. Uno de los primeros estudios serios de confort lo realizó, Haldane, en U.K., en 1905. En 1923, Houghten y Yagloglou en ASHVE (American Society of Heating and Ventilating Engineers) intentan definir una "zona de confort". En 1963, Víctor Olgyay fue el primero en conjuntar los descubrimientos de varias disciplinas e interpretarlos para propósitos prácticos en la arquitectura. Olgyay desarrolló un "Diagrama Bioclimático" y presentó en él, la "zona de confort", así como las "medidas correctivas" para retornar a ésta zona, mediante el manejo de la radiación solar, la temperatura del bulbo seco, el movimiento del aire, la humedad del aire y el sombreado.

La ecuación de Fanger (1970), es, probablemente, el análisis más meticuloso y detallado de la relación del hombre con su entorno inmediato circundante. Sus índices analíticos: PMV y PPD, forman las bases del ISO 7730, 1994, así como en los estándares confort de varios países. El “modelo de los 2 nodos”, desarrollado por Stolwijk y Nishi en 1971 (Nueva Temperatura Efectiva), establecen las bases del Estándar del AHSRAE 55-1992. El Modelo Adaptivo (propuesto inicialmente por Humphreys, 1978). Humphreys y Nicol (1996), demostraron los errores inherentes al modelo que calificaron de “estático” del ISO 7730 y del ASHRAE. Es importante mencionar que los índices PMV y PPD, niegan el efecto del rol de la “aclimatización” de las personas. La gran mayoría de los índices y trabajos realizados y presentados anteriormente, corresponden a estudios realizados en cámaras de ambiente controlado, con personas jóvenes americanos y europeos, asumiendo un valor óptimo aplicable por igual a todas las personas. Fanger estableció categóricamente que su ecuación del confort y sus índices de “PMV” y “PPD” son válidos para todas las personas, y que sus preferencias térmicas son las mismas, “sin importar la localización geográfica o el tipo de clima y edificio”.

### **3.1 Modelos de Confort Térmico Recientes. El Papel de los Factores Conductuales y Psicológicos en la Percepción del Confort Higrotérmico. El Modelo Adaptivo**

Humphreys en 1978 y Auliciems, en 1981, presentaron un modelo psico-fisiológico del confort térmico, el cual formó las bases de la hipótesis del llamado “Modelo Adaptivo”, en el cual, tanto los “factores conductuales como los psicológicos” tienen un efecto significativo en la percepción del confort higrotérmico (de Dear, et al., 1997, 2000).

La Temperatura de Bulbo Seco es el parámetro de medición más útil para la establecer las condiciones de confort, pero para la estimación de la magnitud de “desconfort” o estrés térmico, se deben encontrar otros índices, que reconozcan e incluyan: la humedad del aire, la temperatura radiante media y el movimiento del aire. Es indispensable realizar nuevas investigaciones de campo, usando “gente real”, realizando “diversas tareas reales”, en “diversos edificios reales”, en “diferentes ambientes y climas reales” y comparar los resultados con los obtenidos en “cámaras de ambiente controlado”. La comparación de investigaciones de campo en “condiciones reales” y en pruebas de laboratorio, en “cámaras de ambiente controlado”, tienen el potencial de proporcionar nueva información, útil para establecer índices y criterios de confort más realistas y con un nivel de aplicabilidad mayor a nivel global. EL “Modelo de PMV y PPD” ha provocado controversia acerca de su efectividad en edificios ventilados naturalmente (Forwood, 1995). Esto puede conducir al uso innecesario equipos de climatización artificial, consumos excesivos de energía y daño al medio ambiente. El “Modelo Adaptivo” se basa en el hecho de que en las distintas regiones climáticas del planeta, las personas tienden a reaccionar o a adaptarse de diversas maneras para restaurar su estado de confort térmico. Bajo este enfoque, *los factores conductuales, fisiológicos y psicológicos son prioritarios.*

Ciertamente, el cuerpo humano mantiene su equilibrio térmico con su entorno circundante por medio de mecanismos naturales fisiológicos de termogulación (sudoración, escalofríos, etc.). Más allá de estos procesos automáticos, existe una gama de **respuestas adaptivas** que permiten a los ocupantes de las edificaciones adaptarse a los ambiente intramuros y del exterior, por medio de **ajustes conductuales** (*uso y ajustes de vestimenta adecuada, operación ventanas -abrir o cerrar-, ventiladores, etc*), de **adaptaciones fisiológicas** (*aclimatización*) , y **ajustes psicológicos** (*expectativas*). Desde el punto de vista práctico, se sugiere que *el Método Adaptivo se base en las temperaturas de la piel y en las tasas de sudoración que corresponden a diversos puntos en la escala de ASHRAE, para diferentes rangos de actividad metabólica.*

## **4. METODOS PARA REALIZAR ESTUDIOS DE CONFORT EN LABORATORIO Y EN CAMPO**

Esencialmente hay 2 métodos disponibles para estimar el confort higrotérmico de los ocupantes de las edificaciones:

Por medio de cuestionarios, con registro simultáneo de las condiciones ambientales intramuros, que se realizan en espacios normalmente ocupados por las personas, es decir, bajo condiciones climáticas REALES y en edificios REALES, con ocupantes REALES. Por medio del registro de los cambios fisiológicos (evapo-transpiración, humedad corporal, temperatura de la piel, etc.), realizados normalmente en laboratorio, bajo condiciones controladas, en “cámaras de ambiente controlado”, con ocupantes REALES. En estos estudios en cámaras de ambiente controlado, también se pueden realizar cuestionarios a los ocupantes en las pruebas. En la mayoría de estas investigaciones, se utiliza una escala de 7 puntos o niveles, ya sea la desarrollada por ASHRAE o la de Bedford. La diferencia en semántica es importante. La escala de Bedford se relaciona a *nivel afectivo*, mientras que la de ASHRAE implica un *juicio cognocitivo, indicativo de satisfacción*.

Es importante destacar también que las experiencias del pasado y los factores socio-culturales pueden influir en las experiencias térmicas efectivas de los ocupantes.

## **5. PRUEBAS PROPUESTAS PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES DE CONFORT TERMICO EN OCUPANTES**

Es necesario contar con información relacionada con los rangos de confort higrotérmico para diferentes regiones climáticas de México y para diversos géneros de edificios y ocupantes. Este trabajo está planeado para realizarse en un período de tres años. Los objetivos de este proyecto son: Obtener una guía para establecer temperaturas de confort y su relación con la humedad del aire, en el interior de diversos géneros de edificios, orientada a lograr estándares de confort higrotérmico en edificios en climas representativos de México. Objetivos específicos: Determinar la temperatura de bulbo seco intramuros y la temperatura de bulbo húmedo más confortable para el mayor número de personas en cada región climática analizada. Establecer la relación existente entre la temperatura de bulbo seco interior en los edificios analizados, la temperatura de bulbo seco exterior. Considerar en estos estudios la interacción de la temperatura radiante media (TRM) y el movimiento del aire.

El presente trabajo presenta los estudios desarrollados durante la primera etapa del proyecto, y consiste en la realización de pruebas en experimentales en una cámara de ambiente controlado con individuos, que habitan en un clima típicamente templado con gran oscilación térmica diurna y estacional, variando la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa y el movimiento del aire, para analizar el umbral de las condiciones de confort higrotérmico en ocupantes.

### **5.1 Cámara de Ambiente Controlado**

El Laboratorio de Ambiente Controlado (LAC) fue diseñado con base en las normas oficiales mexicanas de eficiencia energética de equipos de refrigeración y aire acondicionado. El objetivo de este dispositivo experimental es la realización de todo tipo de pruebas relacionadas con la eficiencia y desempeño de los equipos mencionados, así como la evaluación de condiciones de confort higrotérmico en humanos (Ambriz et al, 2000a).. La superficie total es de 61.35 m<sup>2</sup>, dividida en dos áreas de experimentación y un cuarto de control. La parte experimental se divide en dos espacios denominados "cámara caliente" y "cámara fría y de confort".

La cámara fría mide 3.74 x 5.96 m y una altura interior libre de 2.44 m. Aquí se realizan las pruebas de confort higro-térmico en personas y se utiliza como cuarto a climatizar en los estudios de equipos de aire acondicionado. El espacio permite que la muestra pueda ser integrada hasta por 10 personas (2.2 m<sup>2</sup>/p). Las temperaturas de esta cámara se pueden controlar entre 0 y 50°C y el nivel de humedad relativa de 10 a 90%. La puerta de acceso es de tipo frigorífica resistente a las bajas temperaturas. Tiene una ventana hermética, de doble vidrio para bajas temperaturas, para mantener contacto visual entre el cuarto de control y la cámara fría (Figs. 1 y 2).



Fig. 1. Laboratorio de Ambiente controlado (LAC). Cámara Fría



Fig. 2. LAC: Cuarto de Control



Fig. 3. Ocupantes durante las pruebas en la cámara fría del LAC

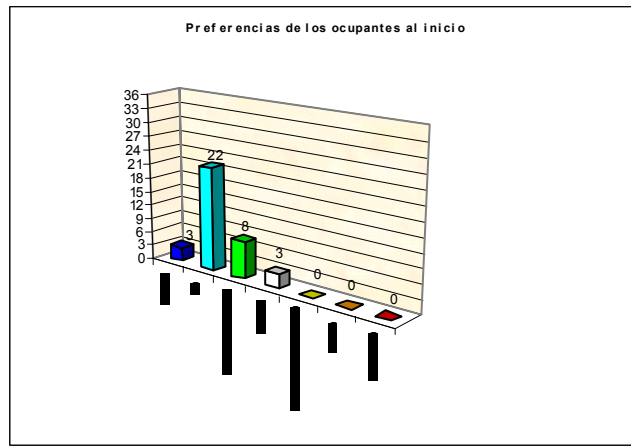


Fig. 4. Resultados de de la sensación térmica de los ocupantes al inicio de las pruebas. Condiciones: temperatura de bulbo seco de 15° C, humedad relativa de 89%, temperatura radiante media de 15.1° C

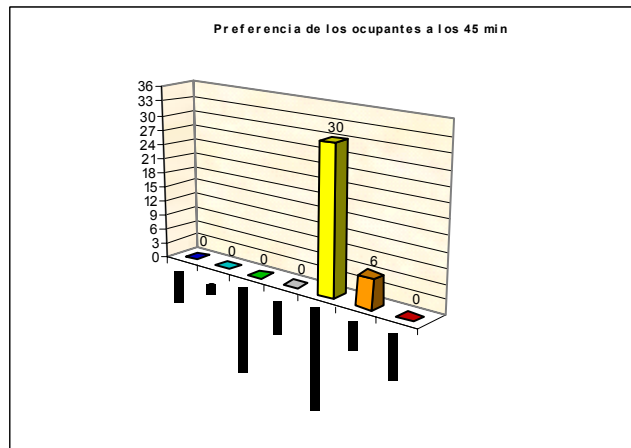


Fig. 5. Resultados de la sensación térmica de los ocupantes a los 45 minutos. Empieza la activación de los ventiladores

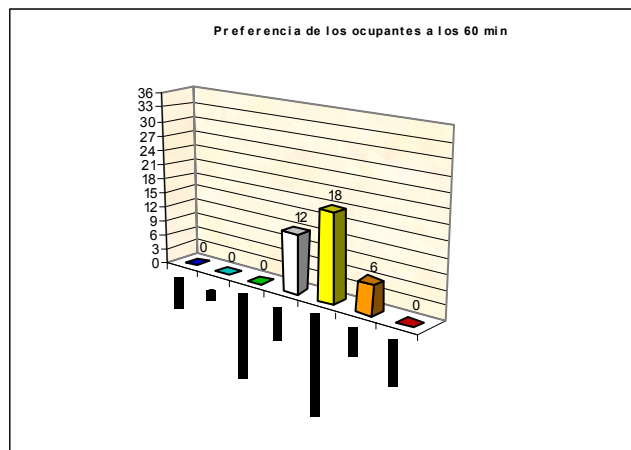


Fig. 6. Resultados de la sensación térmica de los ocupantes a los 60 minutos. Ventiladores continúan activos

## 6. METODOLOGIA DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Este trabajo presenta un estudio experimental realizado en la cámara de ambiente controlado descrita anteriormente, con individuos, que habitan en un clima típicamente templado con gran oscilación térmica diaria y estacional, variando la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa y el movimiento del aire. Este trabajo tiene como objetivo analizar el umbral de las condiciones de confort en estos ocupantes. Es importante mencionar que un número importante de edificios comerciales en la zona metropolitana del valle de México (ZMVM) presentan condiciones extremas de temperaturas. Por la mañana, las temperaturas son relativamente bajas y por la tarde, éstas se elevan hasta alcanzar niveles de incomodidad térmica, que resultan en problemas de eficiencia y productividad en los ocupantes. En este estudio, se evaluaron estas condiciones típicas extremas. Se realizaron 4 pruebas en la cámara fría del laboratorio de ambiente controlado durante un período de 3 meses, aproximadamente, en sesiones de 60 minutos. 36 adultos jóvenes, 27 hombres y 9 mujeres, participaron en las pruebas con una actividad sedentaria equivalente a  $70 \text{ W/m}^2 = 1.2 \text{ met}$ , de acuerdo con lo establecido en el Internacional Standard vigente: ISO 7730 para espacios de oficinas. El nivel de arropamiento (clo) tuvo un rango de 1 clo a 0.5 clo, equivalentes a  $0.155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  y  $0.078 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ , respectivamente. Las pruebas se realizaron durante un lapso de 60 minutos, tiempo durante el cual 9 personas permanecieron en la cámara fría, realizando actividades típicas de oficina. Las pruebas se iniciaron con una temperatura de bulbo seco de  $15^\circ \text{ C}$  y una humedad relativa de 89%, temperatura radiante media de  $15.1^\circ \text{ C}$ , y sin movimiento del aire (Fig. 4). Estas condiciones se mantuvieron durante los primeros 15 minutos. En el minuto siguiente, la temperatura se incrementó a  $25^\circ \text{ C}$  y gradualmente  $2^\circ \text{ C}$  cada 3 minutos hasta alcanzar  $31^\circ \text{ C}$  a los 30 minutos de iniciadas las pruebas. La humedad relativa de la cámara disminuyó a 65%. Esta temperatura se mantuvo hasta el final de la prueba a los 60 minutos. A los 45 minutos se activaron 3 ventiladores ubicados simétricamente en la cámara, con una velocidad promedio, medida con un anemómetro de hilo caliente cada 5 minutos, a 3 metros de distancia, de  $1.06 \text{ m/s}$  y se mantuvieron activos, desde los 45 hasta los 60 minutos (Figs. 5 y 6). La humedad relativa de la cámara al final de la prueba fue de 60% (Fig. 6). Se aplicaron encuestas a los ocupantes concurrentemente con intervalo de tiempo en que se registraron los parámetros climáticos en la cámara, que incluyeron también diversas variables ambientales, en las cuales los ocupantes indicaron sus sensaciones térmicas, de acuerdo con la escala de confort de Bedford.

## 7. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

Las encuestas aplicadas a los ocupantes indicaron que bajo las condiciones iniciales, sus sensaciones térmicas se inclinaron por percibir un ambiente sensiblemente frío (Fig. 4). La segunda etapa, al incrementarse la temperatura a  $25^\circ \text{ C}$ , sus sensaciones térmicas fueron predominantemente en condiciones de confort. A los 30 minutos de iniciadas las pruebas, con una temperatura promedio de  $31^\circ \text{ C}$ , sus sensaciones térmicas se ubicaron con un “voto” predominante de “confortablemente caliente”. Los ocupantes que tenían sweater o chamarra se los quitaron. A los 45 minutos, manteniéndose la temperatura de bulbo seco en  $31^\circ \text{ C}$ , y una humedad relativa de 60%, con mayores ganancias térmicas internas acumuladas, y activando 3 ventiladores, sus sensaciones térmicas se ubicaron en “confortablemente caliente”. El efecto del movimiento del aire fue percibido rápidamente, ya que los ocupantes manifestaron, inmediatamente después de la activación de los ventiladores, y hasta el final de la prueba, a los 60 minutos, percibir condiciones “confortablemente calientes” y de “confort”, predominantemente (Figs. 5 y 6).

## 8. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos y las sensaciones térmicas que los ocupantes percibieron, en esta etapa del proyecto, han demostrado que sus preferencias rebasan el límite superior de la zona de confort aceptada en los estándares internacionales de referencia. Esta situación, además de contribuir a obtener condiciones de confort para los ocupantes, puede coadyuvar a reducir el consumo de energía y promover el desarrollo sustentable, para mejorar y preservar el medio ambiente y la calidad de vida de las personas. Es necesario realizar más pruebas y continuar con las siguientes etapas del proyecto, para obtener información que pueda ser de utilidad para establecer los rangos de confort higrotérmico para diferentes regiones climáticas de México y para diversos géneros de edificios y ocupantes, y orientada

a lograr estándares de confort higrotérmico en edificios en climas representativos de México. Además de obtener condiciones de confort higrotérmico en los diversos géneros de edificios, los resultados de este trabajo pueden contribuir al ahorro y uso eficiente de la energía, así como a la preservación y el mejoramiento del medio ambiente natural y a promover acciones compatibles con el desarrollo sustentable, orientadas a la obtención de una auténtica calidad de vida para el hombre y sus futuras generaciones.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMBRIZ, et al. (2000a). "Cámaras de Ambiente Controlado para Pruebas de Confort Humano y Eficiencia Energética de Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado". Proc. int. conf. on Comfort and thermal performance of buildings. Maracaibo, Venezuela. 21-23 de junio. pp 409-413.

AULICIEMS, A. (1981). *Towards a Psycho-Physiological Model of Thermal Perception*. *Int. J. of Biometeorology*. 25:109-22.

ASHRAE (2001). *Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air/Conditioning Engineers, Inc, 2001.

ASHRAE (2000). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ANSI/ASHRAE Standard 55/2000R. American Society of Heating, Refrigerating and Air/Conditioning Engineers, Inc, 2000.

ANSI&ASHRAE 55/1992. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ASHRAE 1992. Englewood, Colorado.

BEDFORD, T. (1936). *Warm Factor in Comfort at Work*. Med. Res. CI., Ind. Health Res.Board, Report No.76. HMSO.

DE DEAR, R., BRAGER, COPPER, D. (1997). *Developing and Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference*. Final Report. ASHRAE-RP/884, March 1997.

FANGER, P.O. (1970). *Thermal Comfort*. McGraw-Hill, New York.

FORWOOD, B. (1995). *What is Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings?* Standards for Thermal Comfort. de. F. Nicol et al. Chapman and Hall. London.

GARCÍA-CHÁVEZ, J.R. (1996). *Diseño Bioclimático para Ahorro de Energía y Confort Ambiental Integral*. Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F.

GIVONI, B. (1981). *Man, Climate and Architecture*. Van Nostrand Reinhold. New York.

HALDANE (1905). *Influence of High Temperatures*. *Journal of Higiene*, Camb. 5: 494.

HOUGHTEN, F., YAGLOU, C. (1923) *Determining lines of equal comfort*. ASHVE Trans., Vol. 29, p. 163.

HUMPHREYS, M., NICOL, F. (1996). *Conflicting Criteria for Thermal Sensation with the Fanger PMV Equation*. CISBE&ASHRAE Joint National Conference, London.

ISO/7730. Moderate Thermal Environments. *Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort*. ISO, 1994.

NICOL, F., HUMPHREYS, M. (1996). *Conflicting Criteria for Thermal Sensation within the Fanger Predicted Mean Vote Equation*. Proc. CIBSE/ASHRAE Joint National Conference, UK. p.153-158.

OLGYAY, V. (1963). *Design with Climate*. Princeton University Press, N.J.