

CONFORT HIGROTÉRMICO PARA ACTIVIDADES EN ESPACIOS EXTERIORES: PERIODO CÁLIDO, EN CLIMA CÁLIDO SECO EXTREMO

G. Bojórquez¹, G. Gómez-Azpeitia², R. García-Cueto³, A. Luna¹, R. Romero¹

¹Profesor-Investigador, Posgrado e Investigación, Facultad de Arquitectura y Diseño,
Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México.

gonzalobojoquez@uabc.edu.mx, anibal@uabc.edu.mx, ramonaromero@uabc.edu.mx

² Profesor-Investigador, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Colima, Colima, México.
ggomez@ucol.mx

³Investigador, Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México.
rafaelcueto@uabc.edu.mx

Resumen: El tiempo de duración de las actividades en espacios exteriores en clima cálido seco extremo, depende de las condiciones de confort higrotérmico de los usuarios. Además por condiciones de ambiente térmico existen riesgos como deshidratación o golpe de calor. El objetivo del presente estudio fue estimar condiciones confort por temperatura y humedad relativa de usuarios de espacios exteriores de un centro recreativo de Mexicali, Baja California, México. Se presenta la estimación de temperatura y humedad relativa neutral con rangos de confort térmico para espacios exteriores, en el período cálido en un clima desértico. Se diseñó un cuestionario basado en ISO 10551, se midieron temperatura de bulbo seco y humedad relativa. Se aplicaron 822 encuestas en julio y agosto del 2008. Se estimaron temperatura y humedad relativa neutra y rangos de confort con el método de medias por intervalo de sensación térmica. El análisis se hizo para tres niveles de actividad: pasiva, moderada e intensa y uno combinado con los tres niveles. El período analizado presentó un comportamiento de clima asimétrico. Los valores de temperatura son aproximadamente simétricos con respecto a sus rangos de confort térmico, mientras que el confort por humedad relativa en actividad moderada e intensa fue asimétrico. Las temperaturas y humedad relativa neutras obtenidas muestran que los sujetos en actividad intensa, con práctica periódica de ejercicio y hábitos apropiados a las condiciones de clima, tienen una temperatura y humedad relativa de confort similar a aquellos con actividad pasiva.

Palabras Clave: Confort higrotérmico, espacios exteriores, temperatura de bulbo seco, humedad relativa.

Abstract: The duration of outdoor activities in extreme dry in warm weather, depends on the hygrothermal comfort conditions for users. In addition to the thermal environment conditions there are risks such as dehydration or Heat Stroke. The objective of this study was to estimate the comfort conditions for temperature and relative humidity of outdoor users of a recreational center in Mexicali, Baja California, Mexico. This work shows the estimated neutral temperature, neutral relative humidity and thermal comfort ranges during the warm period for a public recreational green area located on a desert climate. A questionnaire was designed based on the scale of thermal sensation of ISO 10551 were measured dry bulb temperature and relative humidity. A total of 822 questionnaires were applied during the months of July and August 2008. By estimated neutral temperature, neutral relative humidity and comfort range with a statistical method of correlation. The analysis was done for three activity levels: passive, moderate e intense, besides the three levels together. The period of climate analyzed was asymmetric. The neutral temperature values obtained are approximately symmetrical with respect to the thermal comfort range, while the relative humidity comfort for moderate and intensity activity was asymmetric. The neutral temperatures and relative humidity obtained show that the intense activity in subjects with regular exercise and practice habits appropriate to the weather conditions, had a temperature of comfort similar to subjects with passive activity.

Key words: Hygrothermal comfort, outdoors spaces, dry bulb temperature, relative humidity.



1. Introducción

El conocer las condiciones de confort térmico en exteriores, establece las bases para una correcta toma de decisiones en el diseño de espacios, lo que puede propiciar que los usuarios estén en un ambiente térmico apto para el desarrollo de sus actividades. La necesidad de investigación sobre la sensación térmica percibida en exteriores, se ha visto en eventos como juegos olímpicos y ferias mundiales (Pickup y deDear, 2000), además de proyectos como Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces (Nikolopoulou, 2004), las aportaciones de estos trabajos tienen aplicaciones en proyectos de tipo turístico, recreativo ó áreas de exposiciones.

El estudio de la relación clima-humano es el origen de la bioclimatología, definida como: área de la ciencia, que estudia la interacción entre los seres vivos y el ambiente atmosférico donde se desenvuelven (Auliciems, 1998).

En bioclimatología existe un interés particular sobre el estudio, estimación y simulación del confort térmico humano, definido en la norma ISO 7730 (2005) como "aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico"; que también puede definirse según Nikolopoulou (2004) como "la satisfacción psicofisiológica del humano con respecto a las condiciones climáticas del entorno". Según Humphreys y Nicol (1998) para los estudios de confort térmico se utilizan dos enfoques:

1. Enfoque de predicción: Se trabajan datos de laboratorio, con condiciones de prueba controladas. El individuo se estudia aislado de su hábitat y se consideran las reacciones fisiológicas (aclimatación) voluntarias e involuntarias para alcanzar el confort térmico. Se considera al humano como receptor pasivo en espera del balance energético. Los modelos de este enfoque tienen un nivel de análisis fisiológico.
2. Enfoque de adaptación: Se trabajan datos de campo, las condiciones de prueba tienen variación continua y el individuo se estudia en su hábitat. Se consideran reacciones fisiológicas (aclimatación) y psicológicas (expectativa, experiencia, conducta). Se considera al humano como receptor activo en busca del confort térmico. Los modelos de este enfoque tienen niveles de análisis fisiológico y psicológico.

El estudio realizado por deDear *et al.*, (1998), contribuyó a la reconciliación de los dos enfoques al demostrar la existencia de niveles diferentes de adaptación (fisiológico y psicológico), algo que no era reconocido en el pasado. Se observó como las personas se adaptan mediante procesos de ajuste en su organismo y modificaciones en su ambiente térmico, bajo el enfoque de adaptación, para reducir incomodidad y la tensión fisiológica (Humphreys y Nicol, 2002)

Según Nikolopoulou y Steemers (2003), la adaptación térmica humana se considera como el decremento gradual de respuesta del organismo a repetidas exposiciones a estímulos que se reciben de un ambiente térmico específico. En el contexto del confort térmico esta descripción considera todos los procesos en los cuales las personas tienden a mejorar sus condiciones entre el ambiente térmico y sus requerimientos higrotérmicos. La adaptación para su estudio se puede dividir en dos categorías: fisiológica y psicológica.

La adaptación fisiológica implica cambios en las respuestas de la termorregulación humana. En el contexto del medio ambiente térmico esto es llamado aclimatación. La adaptación psicológica establece que la manera de percibir el medio ambiente de las personas es diferente de una a otra, y la respuesta humana a un estímulo físico no está directamente relacionada con su magnitud, pero depende de la información que las personas reciban para una situación en particular.



Los factores psicológicos son por lo tanto influidos por la percepción térmica del espacio y los cambios que ocurren en éste, con base en las condiciones del espacio, expectativa y experiencia, tiempo de exposición, control de la percepción y estimulación del medio ambiente (Nikolopoulou y Steemers, 2003).

La permanencia por uso en espacios exteriores, es menor a la permanencia en interiores, debido a los tiempos en el proceso de adaptación, lo anterior genera que la aplicación de un modelo de confort térmico diseñado para interiores tenga una tendencia a sobrestimar la sensación real del usuario de exteriores. Esta diferencia es mayor en condiciones de temperaturas bajas que en las de temperaturas altas.

En espacios exteriores, el uso de un modelo de predicción por las implicaciones de variabilidad de ambientes, condiciones de los espacios exteriores y tiempos de permanencia, no es adecuado, mientras que la aplicación del método de adaptación, debido a que es resultado de una evaluación de campo, se ajusta mejor a las condiciones exteriores (Höppe, 2002).

El objetivo de este artículo es presentar la estimación de temperatura neutra y humedad neutra, así como rangos de confort térmico para espacios exteriores de un centro recreativo, en el período cálido, en un clima desértico, para tres niveles de actividad metabólica.

Los resultados obtenidos coinciden con la teoría de los climas asimétricos y su variabilidad con los rangos de confort térmico en período cálido. En términos generales podría decirse que los valores de temperatura neutra son aproximadamente simétricos con respecto a sus rangos de confort térmico extenso y ajustado. En el caso del confort por humedad relativa se observó que en el caso de la actividad moderada e intensa se tuvo un comportamiento asimétrico.

Los sujetos estudiados presentaron variabilidad en cuanto a los valores de confort por nivel de actividad ya que ésta no es directamente decreciente conforme aumentó el nivel de metabolismo global. Los valores obtenidos de temperatura neutra, humedad relativa neutra y rangos de confort, demuestran la teoría de adaptación, ya que los sujetos en actividad intensa, con práctica periódica de ejercicio y hábitos apropiados a las condiciones de clima (vestimenta y consumo de líquidos), tienen una temperatura y humedad relativa de confort térmico similar a aquellos con actividad pasiva.

2. Método

El método fue estructurado en dos partes: 1) Características de la investigación y 2) Estudio correlacional.

2.1. Características de la investigación

El enfoque de estudio fue determinado en función del objetivo y condicionantes de la investigación, según los parámetros: origen de los datos, tipo de hábitat, reacciones a analizar, tipo de receptor de la información y nivel de análisis, todos los requerimientos coinciden con el enfoque de adaptación.

Cabe mencionar, que en la selección del enfoque de estudio también se consideraron los trabajos de Höppe (2002), Givoni *et al.*, (2003) y Nikolopoulou (2004), donde se afirma que en exteriores, por la variación climática, experiencia, expectativa y conducta reactiva e interactiva es adecuado el enfoque de adaptación.

El enfoque de adaptación establece como parte de su aplicación, el diseño de una investigación basada en correlaciones, lo que conlleva a un diseño de la investigación de tipo "no experimental". Debido a que se analizó el período cálido, la dimensión temporal fue de tipo transversal.

El estudio se realizó en Mexicali, Baja California, ciudad del noroeste de México, que se encuentra a una latitud de 32°39'54" N y longitud de 115°27'21" O, y con una altura sobre el nivel del mar de cuatro



metros. El clima es de tipo cálido seco extremoso, con temperaturas promedio de máximas de 42 °C (con máximas extremas de 49 °C) y temperaturas promedio de mínimas de 8 °C, (con mínimas extremas de -3 °C) (Luna *et al.*, 2008).

Se correlacionó la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa con la sensación térmica percibida. El periodo de aplicación fue en los meses cuando se presentan los valores máximos temperatura. Las encuestas se realizaron del 25 de julio al 10 de agosto del 2008 (periodo cálido), en el Centro Recreativo Juventud 2000, donde se practican deportes, ejercicios al aire libre y otras actividades de convivencia.

Los niveles de actividad analizados fueron tres: pasivo (0 a 75 W/m²), moderado (76 a 183 W/m²) e intenso (183 a 600 W/m²), la relación metabólica de consumo energético se estableció con base en Fanger (1986) y Mondelo *et al.*, (2001). Las actividades de tipo pasivo fueron: caminar, observar, platicar y jugar con niños de forma tranquila. Las actividades de tipo moderada fueron: trotar, ejercicio ligero y jugar con niños de forma interactiva, mientras que las actividades intensas fueron: correr, hacer ejercicio intenso, jugar futbol, basquetbol y beisbol además de acrobacias con bicicleta, patineta y a pie.

La selección de variables meteorológicas a medir se basó en el efecto de las mismas en la sensación térmica percibida, así como en el análisis de algunos casos de estudio sobre confort térmico en interiores y exteriores (RUROS, RP 884 de ASHRAE), y las normas ISO 7730, ISO 7726 (Nikolopoulou (2004), PickUp y deDear (2000), Potter y deDear (2000)).

En el caso de los instrumentos se consideraron precisión y rangos de los mismos, así como la disponibilidad y accesibilidad, además de la complejidad de operación. Las variables seleccionadas fueron: temperatura de bulbo seco, humedad relativa, velocidad de viento y temperatura de globo gris. Se utilizó un monitor de estrés térmico que mide temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, humedad relativa, temperatura de globo negro y velocidad de viento (omnidireccional). El proceso y el equipo cumplen con lo requerido en la norma ISO 7726, por lo que los datos generados son de Clase I.

2.2. Estudio correlacional

En este apartado se describen los procesos mediante los cuales se diseñaron el cuestionario y la muestra, así como la aplicación del estudio en campo, además del proceso de captura y análisis de la información generada.

El cuestionario fue diseñado con base en la norma ISO 10551:1995 y en el análisis de tres cuestionarios para estudios de confort térmico (Gómez-Azpeitia *et al.*, 2007; Nikolopoulou, 2004). Se elaboró un cuestionario preliminar, se desarrolló un manual de aplicación de encuesta y uso de instrumentos. Se hizo una prueba piloto y con base en los resultados obtenidos se procedió a las correcciones necesarias.

Se diseñó una muestra, con una confiabilidad del 95% y precisión de los estimadores del 5%. Se estimaron 380 observaciones, pero debido a la aceptación del estudio entre los encuestados se llegó a un total de 822 aplicaciones en el periodo cálido. El proceso de selección de sujetos fue de tipo determinístico.

Los sujetos de estudio fueron hombres y mujeres entre 12 y 60 años de edad, no se incluyeron individuos con condiciones biológicas irregulares como enfermedades crónicas, embarazo, periodo de lactancia ó periodo menstrual. Algunas imágenes de aplicación de encuestas e instrumentos se presentan en la figura 1.

Las encuestas se realizaron de 06:00 a 22:00 horas de lunes a domingo. Previo al proceso de captura, se llevó a cabo una clasificación de las encuestas por nivel de actividad. Además de una revisión para ver posibles errores en los datos capturados. Se diseñó una hoja de cálculo para captura de la información en el programa Excel.



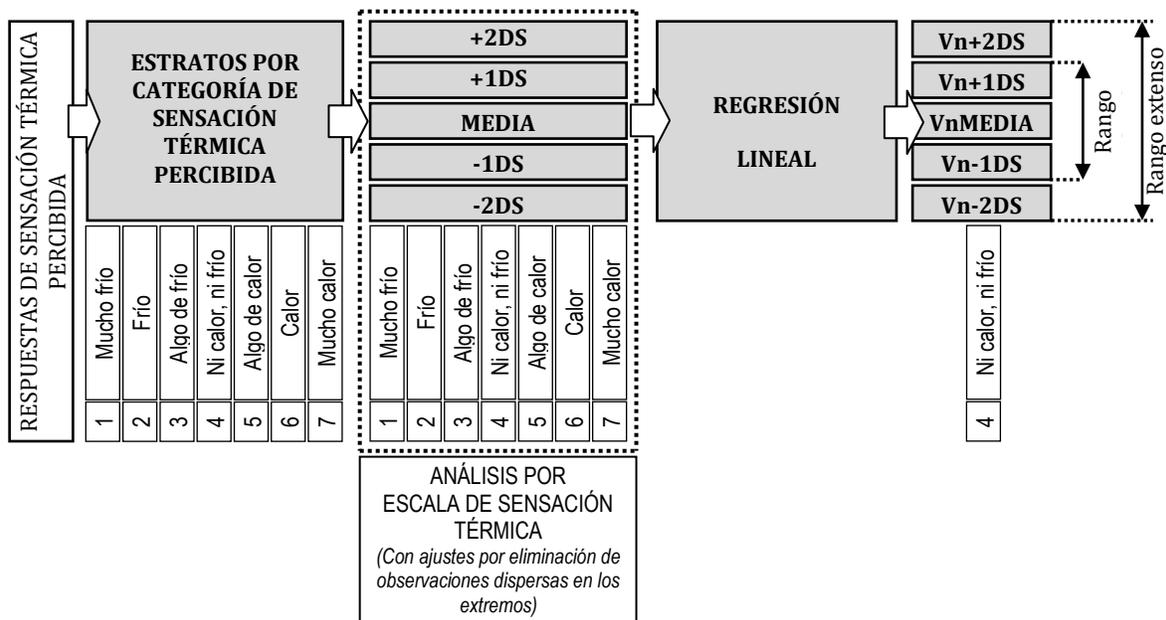
Figura 1. Fotos de la aplicación de encuestas y monitor de estrés térmico



Fuente: Bojórquez (2010)

El análisis de datos se llevó a cabo con el método de medias por intervalo de sensación térmica (MIST), propuesto por Gómez-Azpeitia *et al.*, (2007), el cual se desarrolló con base en la propuesta de Nicol (1993) para climas “asimétricos”. Un esquema del método mencionado se presenta en la figura 2.

Figura 2. Estimación de valor neutral para temperatura y humedad y rangos de confort térmico con el método de Medias por Intervalo de Sensación Térmica



Fuente: Bojórquez (2010)

La característica fundamental del MIST es que antes de obtener la línea de regresión que caracteriza a la muestra estudiada, se determinan grupos ó estratos de la misma para calcular el valor promedio y la desviación estándar de cada uno de ellos. Así, la regresión no se hace con todos los pares de datos de la muestra, sino sólo con los valores medios y los rangos se establecen mediante la adición y sustracción de una ó dos veces la desviación estándar (DS) de la muestra.

El objetivo de este procedimiento es determinar el valor medio de temperatura o humedad de todas las repuestas de cada nivel de sensación térmica percibida. De esa forma se calcula el valor de la temperatura o humedad promedio de los sujetos que dijeron sentirse en confort, pero también de quienes expresaron sentir calor ó frío.



Se procesaron por separado los datos colectados en el estudio de campo de acuerdo a cada una de las siete categorías de respuesta de confort según la ISO 10551. Se determinaron para cada una de ellas los valores promedio y desviación estándar de las temperaturas y humedades registradas para cada respuesta colectada. Cuando el número de respuestas de determinado grupo no era suficiente para obtener resultados confiables, se omitió el procedimiento y se eliminó la categoría.

Una vez que se obtuvieron estos datos se establecieron los rangos de distribución para cada categoría de respuesta. Se hizo a partir del valor medio de temperatura o humedad correspondiente (T_{nMedia} , HR_{nMedia}) y la adición de $\pm 1DS$. Este primer rango incluye teóricamente 68% de las personas que expresaron tener una misma sensación térmica. Se repite el procedimiento y se adiciona $\pm 2DS$ a la T_{nMedia} o HR_{nMedia} , con lo que teóricamente se incluye 95% de la población que emitió un mismo voto de sensación térmica.

Por último se hizo una regresión lineal con los valores que fueron obtenidos, a fin de determinar las rectas correspondientes a los límites extensos de los rangos definidos por T_{nMedia} y $HR_{nMedia} \pm 2DS$, y a los límites reducidos definidos por T_{nMedia} o $HR_{nMedia} \pm 1DS$. También se hizo lo propio con los valores de T_{nMedia} y HR_{nMedia} .

De esa forma se obtuvieron gráficas para cada periodo de estudio. La intersección de cada una de las líneas de regresión con la ordenada cuatro (que representa la sensación térmica de confort: ni calor, ni frío) determinan el valor de la temperatura o humedad relativa neutra según el método MIST, así como los valores límites de los rangos de confort térmico.

3. Resultados

El total de observaciones realizadas fueron 822, de las cuales 388 fueron de actividad pasiva, 257 de actividad moderada y 177 de actividad intensa. No se presentaron sensaciones térmicas de frío en ninguno de los niveles de actividad estudiados.

3.1. Sensación térmica por temperatura de bulbo seco

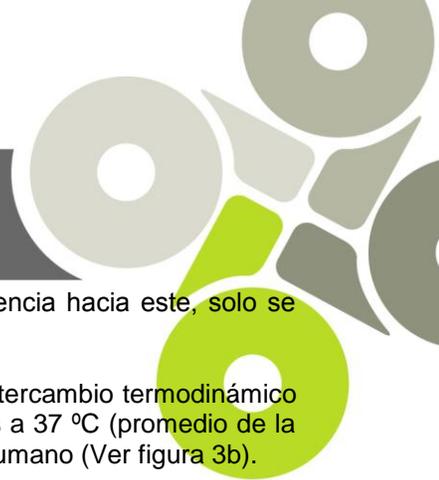
La *sensación térmica por temperatura de bulbo seco en periodo cálido para el total de observaciones*, mostró que los pocos casos que estuvieron fuera de los límites de confort térmico estimados, se presentaron hacia el extremo del rango extenso menor, además en lo que respecta al rango extenso mayor, no hubo casos que se aproximaran a esos valores.

Lo anterior se debió a que en este caso se consideraron los tres niveles de actividad con diferentes características de adaptación térmica y psicológica de los sujetos (Ver figura 3a), conforme a lo mencionado por Humphreys y Nicol, (2002) y Nikolopoulou y Steemers (2003).

Las líneas de regresión tuvieron una tendencia a ser convergentes con respecto a línea de regresión media, conforme se aumentó la sensación térmica de calor, lo que representó una mayor adaptación a las condiciones cálidas que a las frías, así como una variabilidad en las condiciones de adaptación térmica y psicológica de los sujetos, lo anterior se debió a que en este caso están incluidos los tres niveles de actividad.

Con base en la desviación estándar, se puede decir que se presentaron diferencias significativas entre los niveles de adaptación para cada escala de sensación de los sujetos de estudio. Se observó una menor variabilidad conforme aumentó la temperatura, lo anterior indicó un mayor grado de adaptación a temperaturas altas en el periodo estudiado, lo que coincide con la teoría de adaptación de Humphreys y Nicol (2002).

La *sensación térmica por temperatura de bulbo seco en periodo cálido para actividad pasiva*, presentó una tendencia de datos hacia los valores de $-2DS$ en las escalas de sensaciones térmicas de "ni calor, ni



frío”, “algo de calor” y “calor”. En lo que respecta a valores de +2DS, la tendencia hacia este, solo se observó en la escala de sensaciones de “mucho calor”.

Lo anterior se debió a que en este nivel de sensación térmica se registró un intercambio termodinámico del ambiente térmico con los sujetos, ya que se tuvieron temperaturas mayores a 37 °C (promedio de la temperatura corporal), lo que representó una ganancia térmica para el cuerpo humano (Ver figura 3b).

El comportamiento de los niveles de adaptación que se presentaron, con base en las líneas de regresión, fueron similares al total de observaciones. Cabe mencionar que en este caso los sujetos no fueron consistentes en cuanto a las actividades que practican, además de los niveles de arropamiento variados. En los valores mayores a la media se vio una reducción de la DS, lo que representó mejor adaptación a las temperaturas mayores a la media para este nivel de actividad.

La *sensación térmica por temperatura de bulbo seco en periodo cálido para actividad moderada*, presentó una reducción de las variaciones para la DS conforme aumentó la sensación térmica de calor, lo que representó mayor adaptación a las temperaturas altas, sin embargo, aún cuando no hubo valores menores, si hubo inconsistencias para cada escala de sensación térmica.

Lo anterior representó variabilidad significativa en los niveles de adaptación de los sujetos de estudiados, situación que coincidió con lo mencionado por Humphreys y Nicol (2002) y Nikolopoulou y Steemers (2003) (Ver figura 3c).

Las líneas de regresión de $\pm 1DS$ y $-2DS$ fueron convergentes con relación a la línea de regresión de la media, conforme aumentó el nivel de sensación térmica (mucho calor), sin embargo, en el caso de +2DS el efecto de convergencia sucedió cuando disminuyó la sensación térmica hacia mucho frío. Lo anterior indicó que conforme aumentó la temperatura se redujo la capacidad de adaptación de los sujetos a condiciones cálidas, situación similar a lo expuesto por Fanger (1986).

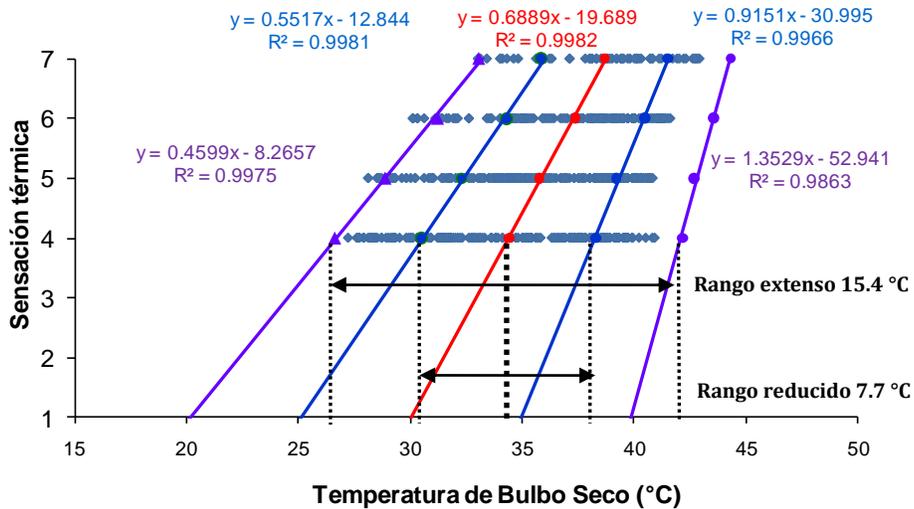
La *sensación térmica por temperatura de bulbo seco en periodo cálido para actividad intensa*, presentó una reducción de las variaciones en las escalas de cuatro a seis (Ni calor, ni frío – Calor), en los valores mayores a la media, por lo que se consideró que para estas sensaciones, fue mejor la adaptación a esas condiciones de temperatura.

Se observó una inconsistencia en la variación de DS, conforme aumentó la sensación térmica a “Mucho calor”. Lo anterior indicó que la falta de adaptación a la sensación de “mucho calor”, se debió a que los sujetos de estudio aún cuando están bien adaptados, tuvieron un límite de aclimatación y adaptación psicológica hasta la sensación de “calor” (Ver figura 3d).

Con respecto a las líneas de regresión en la actividad intensa, se observó que en el caso de regresión de $\pm 1DS$ y $-2DS$ fueron ligeramente convergentes (visualmente) lo que representó prácticamente el mismo nivel de adaptación para las diferentes sensaciones térmicas, lo que por nivel de actividad y periodicidad de la práctica de las mismas por parte de los sujetos de estudio, coincidió con las afirmaciones de Mondelo *et al.*, (2001).

Sin embargo, en el caso de +2DS el efecto de convergencia sucedió cuando disminuyó la sensación térmica hacia mucho frío, situación similar a lo que sucedió en el caso de la actividad moderada con respecto al límite de aclimatación y adaptación psicológica para este periodo de estudio.

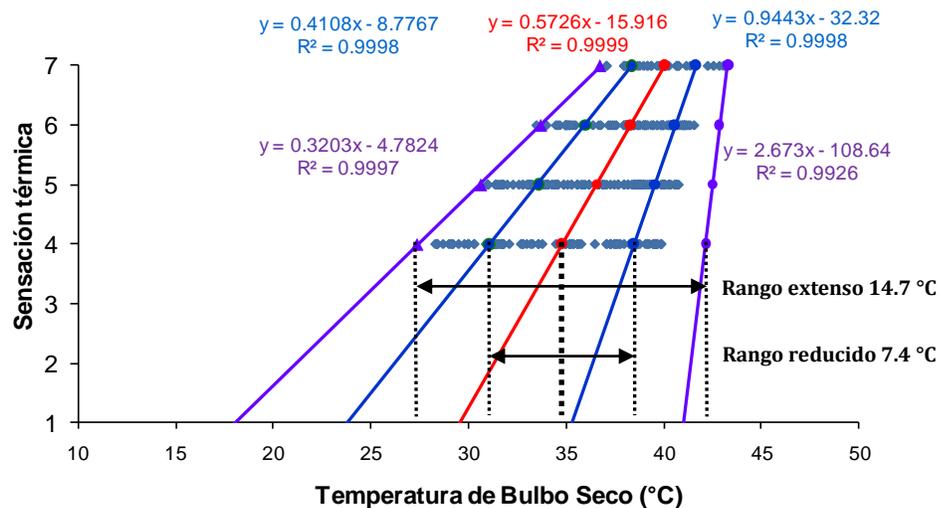
Figura 3. Temperatura de bulbo seco neutral y rangos de confort térmico en periodo cálido para: total de observaciones, actividad pasiva, moderada e intensa



TBS NEUTRAL	TBSn-2DS	TBSn-1DS	TBSn Media	TBSn+1DS	TBSn+2DS
	26.7	30.5	34.4	38.2	42.1

DS	Sensación térmica	Escala	-2DS	-1DS	Media	+1DS	+2DS
2.8	Mucho Calor	7	33.1	35.9	38.7	41.5	44.3
3.1	Calor	6	31.2	34.3	37.4	40.5	43.6
3.5	Algo de calor	5	28.9	32.3	35.8	39.2	42.7
3.9	Ni calor, ni frío	4	26.6	30.5	34.4	38.3	42.2

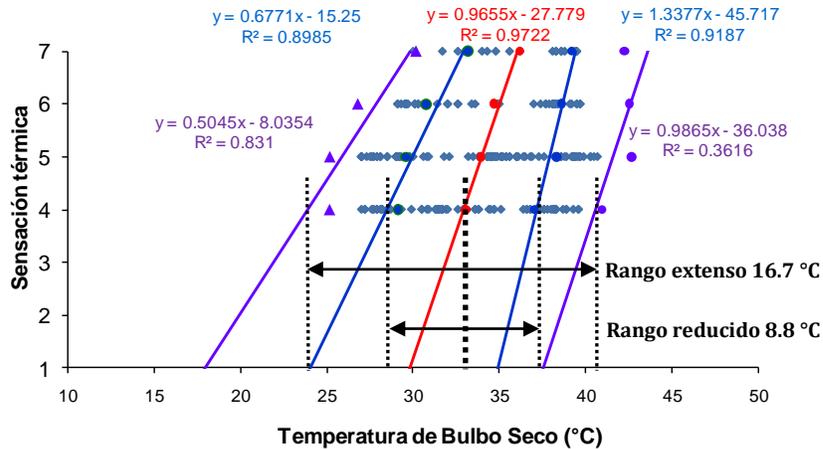
a. TOTAL DE OBSERVACIONES



TBS NEUTRAL	TBSn-2DS	TBSn-1DS	TBSn Media	TBSn+1DS	TBSn+2DS
	27.4	31.1	34.8	38.5	42.1

DS	Sensación térmica	Escala	-2DS	-1DS	Media	+1DS	+2DS
1.6	Mucho Calor	7	36.7	38.4	40.0	41.7	43.3
2.3	Calor	6	33.7	36.0	38.3	40.6	42.8
3.0	Algo de calor	5	30.6	33.6	36.6	39.5	42.5
3.7	Ni calor, ni frío	4	27.4	31.1	34.8	38.5	42.2

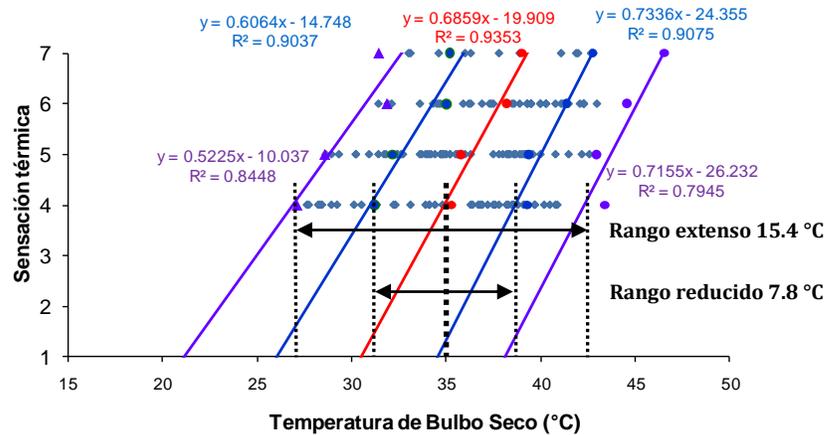
b. ACTIVIDAD PASIVA



TBS NEUTRAL	TBSn-2DS	TBSn-1DS	TBSn Media	TBSn+1DS	TBSn+2DS
	23.9	28.4	32.9	37.2	40.6

DS	Sensación térmica	Escala	-2DS	-1DS	Media	+1DS	+2DS
3.0	Mucho Calor	7	30.1	33.2	36.2	39.2	42.2
3.9	Calor	6	26.8	30.7	34.7	38.6	42.5
4.4	Algo de calor	5	25.2	29.6	33.9	38.3	42.7
3.9	Ni calor, ni frío	4	25.2	29.1	33.1	37.0	41.0

c. ACTIVIDAD MODERADA



- ◆ Datos generales ▲ -2 DS ● -1 DS ● Media
- +1 DS ● +2 DS — Lineal (-2 DS) — Lineal (-1 DS)
- Lineal (Media) — Lineal (+1 DS) — Lineal (+2 DS)

TBS NEUTRAL	TBSn-2DS	TBSn-1DS	TBSn Media	TBSn+1DS	TBSn+2DS
	26.9	30.9	34.9	38.7	42.3

DS	Sensación térmica	Escala	-2DS	-1DS	Media	+1DS	+2DS
3.8	Mucho Calor	7	31.4	35.2	39.0	42.8	46.5
3.2	Calor	6	31.8	35.0	38.2	41.4	44.5
3.6	Algo de calor	5	28.6	32.2	35.8	39.4	43.0
4.1	Ni calor, ni frío	4	27.1	31.2	35.2	39.3	43.4

d. ACTIVIDAD INTENSA



3.2. Sensación térmica por humedad relativa

La *sensación térmica por humedad relativa en periodo cálido para el total de observaciones*, no presentó casos fuera de los límites de $\pm 2DS$; Sin embargo, se observaron valores próximos al límite de $-2DS$.

Lo anterior se debió a una mejor adaptación a las condiciones de humedad menores al valor de HR_{nMedia} , que bajo condiciones cálidas y procesos de adaptación coincidieron con lo mencionado por Humphreys y Nicol (2002) y Nikolopoulou y Steemers (2003), ya que a mayor humedad relativa aumentó la sensación de desconfort térmico (Ver figura 4a).

Las líneas de regresión fueron convergentes con respecto a línea de regresión media, conforme aumentó la sensación térmica de calor y se redujo la humedad relativa, lo que representó una mayor adaptación a las condiciones cálidas con menor humedad relativa.

Además de una variabilidad en las condiciones de adaptación térmica y psicológica de los sujetos, con base en las sensaciones térmicas percibidas de “ni calor, ni frío” hasta “mucho calor”, lo anterior se debió a que en este caso están incluidos los tres niveles de actividad.

Con base en la desviación estándar se observaron diferencias entre los niveles de adaptación para las escalas de “ni calor, ni frío”, “algo de calor” y “calor”. Se presentó una menor variabilidad conforme se redujo la humedad relativa y aumentó la sensación térmica hacia “mucho calor”, lo anterior indicó un mayor grado de adaptación a humedad relativa baja en el periodo estudiado, lo que coincidió con la teoría de adaptación de Humphreys y Nicol (2002).

La *sensación térmica por humedad relativa en periodo cálido para actividad pasiva*, presentó una tendencia de datos hacia los valores de $+2DS$ en las escalas de sensaciones térmicas de “algo de calor”, “calor” y “mucho calor”.

Los valores para la sensación térmica de confort fueron centralizados con respecto a los límites de los rangos de confort por humedad relativa (Ver figura 4b). Lo anterior indicó que los sujetos en actividad pasiva tuvieron una preferencia a una mayor humedad relativa conforme aumentó la sensación térmica hacia “mucho calor”, que fue coincidente con lo mencionado por Humphreys y Nicol (2002), Nikolopoulou y Steemers (2003).

Las líneas de regresión fueron convergentes con respecto a línea de regresión media, conforme se aumentó la sensación térmica de calor y se redujo la humedad relativa, sin embargo cabe mencionar el cambio de pendiente para la línea de regresión de $-2DS$, la cual fue inversa a las demás líneas. Lo anterior estableció un límite de humedad relativa dentro de condiciones entre confort y tolerables que es de 13.5% con base en la media aritmética y $-2DS$.

Se presentaron diferencias significativas entre los valores de DS en las sensaciones térmicas de “ni calor, ni frío”, “algo de calor” y “calor”, además se observó una reducción de la variabilidad de DS conforme aumentó la sensación térmica hacia “mucho calor”. Sin embargo cabe recordar que en este nivel de actividad no hubo consistencia en cuanto a las actividades que los sujetos de estudio practican, además de los niveles de arropamiento variados.

La *sensación térmica por humedad relativa en periodo cálido para actividad moderada* presentó una concentración de datos entre los límites de $-1DS$ y $+2DS$, con excepción de los valores para la sensación térmica de “mucho calor”.

También se observó una reducción de las variaciones para la DS conforme aumentó la sensación térmica de calor y se redujo la humedad relativa. Cabe mencionar que se dio un cambio de pendiente en la línea de regresión de $-2DS$ con respecto al resto de las líneas de regresión (Ver figura 4c).

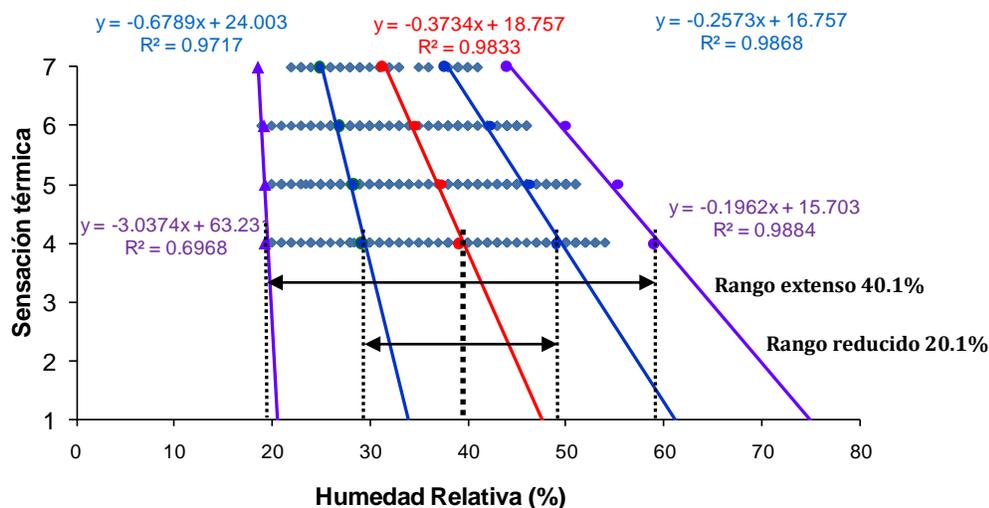


Lo anterior indicó una mejor adaptación a condiciones de humedad relativa baja, pero con limitaciones establecidas por la regresión de -1DS, además de una variación de los niveles de adaptación para los sujetos en la sensación térmica de “mucho calor”. Este comportamiento coincidió con lo mencionado por Humphreys y Nicol (2002).

La *sensación térmica por humedad relativa en periodo cálido para actividad intensa*, presentó una reducción de solo 6% entre la sensación térmica de confort térmico a la de “mucho calor”, por lo que se consideró un nivel similar de adaptación por escala de sensación (Ver figura 4d).

Las líneas de regresión fueron convergentes a la línea de regresión media conforme aumentó la sensación térmica a “mucho calor” y se redujo la humedad relativa, sin embargo, la línea de regresión de -2DS presentó una pendiente inversa con respecto a la reducción de la humedad relativa, por lo que se consideró esta fuera de los límites de confort tolerable. Lo mencionado fue similar a los resultados obtenidos por Givoni *et al.*, (2003) y Humphreys y Nicol (2002).

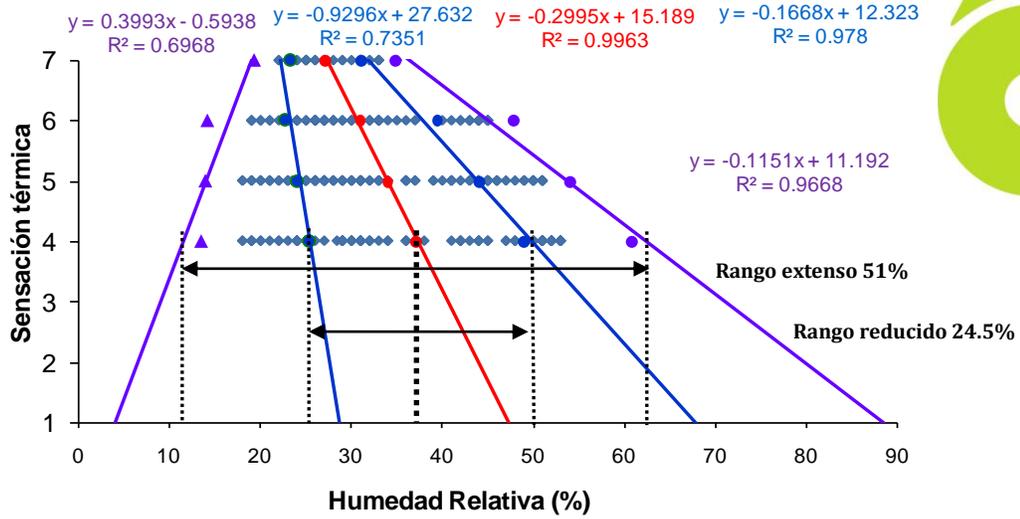
Figura 4. **Humedad relativa neutral y rangos de confort térmico en periodo cálido para: total de observaciones, actividad pasiva, moderada e intensa**



HR	HRn-2DS	HRn-1DS	HRnMedia	HRn+1DS	HRn+2DS
NEUTRAL	19.5	29.5	39.5	49.6	59.6

DS	Sensación térmica	Escala	-2DS	-1DS	Media	+1DS	+2DS
6.4	Mucho Calor	7	18.5	24.8	31.2	37.5	43.9
7.7	Calor	6	19.1	26.8	34.5	42.2	49.9
9.0	Algo de calor	5	19.2	28.2	37.2	46.2	55.3
9.9	Ni calor, ni frío	4	19.2	29.1	39.1	49.0	58.9

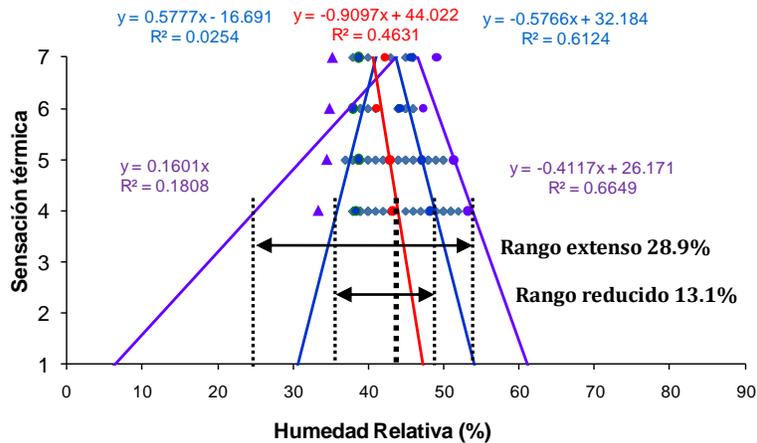
(a). TOTAL DE OBSERVACIONES



HR	HRn-2DS	HRn-1DS	HRnMedia	HRn+1DS	HRn+2DS
NEUTRAL	11.5	25.4	37.4	49.9	62.5

DS	Sensación térmica	Escala	-2DS	-1DS	Media	+1DS	+2DS
3.9	Mucho Calor	7	19.3	23.2	27.1	31.0	34.9
8.4	Calor	6	14.2	22.6	31.0	39.5	47.9
10.0	Algo de calor	5	14.0	24.0	34.0	44.1	54.1
11.8	Ni calor, ni frío	4	13.5	25.4	37.2	49.0	60.9

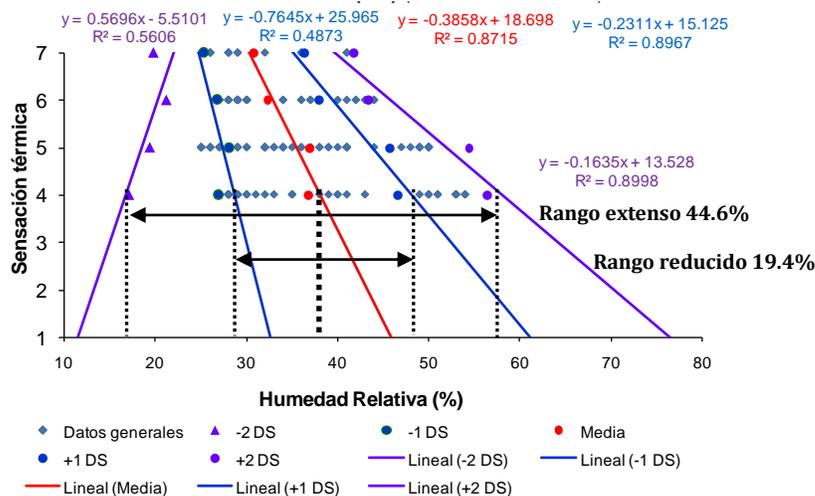
(b). ACTIVIDAD PASIVA



HR	HRn-2DS	HRn-1DS	HRnMedia	HRn+1DS	HRn+2DS
NEUTRAL	25.0	35.8	44.0	48.9	53.9

DS	Sensación térmica	Escala	-2DS	-1DS	Media	+1DS	+2DS
3.5	Mucho Calor	7	35.2	38.7	42.2	45.6	49.1
3.1	Calor	6	34.8	38.0	41.1	44.2	47.3
4.2	Algo de calor	5	34.5	38.7	42.9	47.1	51.3
4.9	Ni calor, ni frío	4	33.4	38.3	43.3	48.2	53.1

(c). ACTIVIDAD MODERADA



HR	HRn-2DS	HRn-1DS	HRnMedia	HRn+1DS	HRn+2DS
NEUTRAL	13.7	28.7	38.1	48.1	58.3

DS	Sensación térmica	Escala	-2DS	-1DS	Media	+1DS	+2DS
5.5	Mucho Calor	7	19.7	25.3	30.8	36.3	41.8
5.6	Calor	6	21.2	26.7	32.3	37.9	43.5
8.8	Algo de calor	5	19.3	28.1	36.9	45.7	54.5
9.9	Ni calor, ni frío	4	17.1	26.9	36.8	46.6	56.5

(d). ACTIVIDAD INTENSA

4. Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos se establecen las conclusiones siguientes:

El período estudiado presenta un comportamiento de clima asimétrico, debido a que por condiciones extremas de calor, no se observan sensaciones frías, lo anterior demuestra la teoría de adaptación al período cálido.

Se observó una variación de la temperatura de confort térmico entre un nivel de actividad y otro. Esto se debe a la diferencia de los niveles de arropamiento, periodicidad de la actividad y adaptación térmica y psicológica de los sujetos. La variabilidad en la simetría y asimetría de las líneas de tendencia en los tres niveles de actividad, se debe a la diversidad de niveles de aclimatación y conductas reactiva e interactiva de los sujetos. La mayor variación en las sensaciones térmicas se presenta en la actividad moderada, debido a las distintas actividades y rangos de metabolismo global de los mismos.

El confort térmico por *temperatura de bulbo seco en periodo cálido*, presentó variaciones entre los niveles de actividad, pudiera suponerse que conforme aumentó el nivel de actividad se redujo la temperatura de confort térmico. Sin embargo, en el caso de la actividad intensa los sujetos estuvieron mejor adaptados, que los de actividad moderada, debido a la periodicidad de la práctica de actividades (esto coincide con Humphreys y Nicol (2002)), así como la adaptación psicológica (expectativa y experiencia, conducta reactiva) por lo que su temperatura de confort térmico fue similar a la de los sujetos con actividad pasiva. No se presentaron sensaciones térmicas de frío, lo que demostró la teoría de adaptación en el periodo estudiado.

El confort térmico por *humedad relativa*, presentó variaciones entre los niveles de actividad, pudiera suponerse que conforme aumentó el nivel de actividad debió aumentar la humedad relativa de confort térmico, sin embargo presentó un comportamiento similar a la temperatura de bulbo seco. La humedad



relativa, en Mexicali se mantiene todo el año entre 30 y 65%, rango que está dentro de las condiciones de confort por humedad establecidas por Olgay (1963). Lo anterior genera poca variación de porcentaje de humedad relativa entre cada escala de sensación térmica percibida, en todos los periodos y todos los niveles de actividad. Y a su vez esto ocasiona que los sujetos no desarrollen un proceso de adaptación a la humedad relativa ya que no hay cambios significativos de valores que estén fuera del rango entre confort y tolerables, por lo que en general el efecto de la humedad relativa es similar en la sensación térmica percibida por los sujetos.

En el caso de los rangos de confort térmico, el rango extenso más amplio se da en la actividad de nivel moderado, con similitud para actividades pasivas. Lo anterior se debe a que las actividades en este nivel, presentan condiciones de variabilidad amplias en lo que respecta a su demanda metabólica ya que están en rangos que en ocasiones son similares a actividades pasivas o intensas; lo que ocasiona diferencias significativas en el nivel de adaptación de los sujetos.

El rango reducido presenta su valor mayor en la actividad pasiva e intensa. Lo anterior se debe a que en período cálido se manifiesta una amplitud en los valores fuera de confort térmico en actividades pasivas e intensas.

Los cambios de adaptación mayores ocurren en la actividad intensa, mientras que los menos significativos se dan en la actividad pasiva, debido a la condición física y expectativa y experiencia de las personas.

El estudio sirve como apoyo en la toma de decisiones de diseño de espacios exteriores en clima desértico, ya que permite estimar las condiciones de confort térmico de los usuarios, en tres distintos niveles de actividad para condiciones extremas de calor.

Agradecimientos

AL PERSONAL DE APOYO en el trabajo de campo, captura y procesamiento de información. A autoridades y personal del CENTRO RECREATIVO JUVENTUD 2000, por todas las facilidades otorgadas. Al proyecto "Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones de clima cálido seco y húmedo", CONAFOVI 2004-01-20 y al CONACYT- México por el apoyo económico. A UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA y UNIVERSIDAD DE COLIMA a través de sus Facultades de Arquitectura y Diseño, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

Bibliografía

Auliciems, A. *Global differences in indoor thermal requirements.* Australian & New Zealand. Association for the Advancement of Cience (ANZAAS) Conference, Brisbane, 1998.

Bojórquez, G. *Confort térmico en exteriores: actividades en espacios recreativos en clima cálido seco extremo.* Tesis de doctorado. Universidad de Colima. 2010.

deDear, R; Brager, G. and Cooper, D. *Developing an adaptive model of thermal comfort and preferentes.* (Final Report on RP-884). ASHRAE and Macquarie Research Ltd, 1998.

Fanger, P.O. *Thermal environment- human requirements .* In The environmentalist. Volume 6, Number 4, 275-278. Springer Netherlands. 1986.

Givoni, B; Noguchi, M; Saaroni, H; Pochter, O; Yaacov, Y; Feller, N. and Becker, S. *Outdoor comfort research issues.* In Energy and Buildings, 35, 77-86, 2003.

Gómez-Azpeitia G. Ruiz P. Bojórquez G. y Romero R. *Monitoreo de condiciones de confort térmico.* Reporte técnico CONAFOVI. 2004-01-20. Colima, 2007.

Höppe, P. *Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort.* In Energy and Buildings, 34, 661-665, 2002.

Humphreys, M. and Nicol, F. *Understanding the adaptive approach to thermal comfort.* In ASHRAE Technical Bulletin, 14, 1998.

Humphreys, M. and Nicol, F. *The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments.* In Energy and Buildings, 34, 667-684, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730:2005 (E)** Ergonomics of the thermal environment – analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Autor: Ginebra, 2005.

_____. **ISO 7726:1998 (E)** Ergonomics of the thermal environment – instruments for measuring physical quantities. Autor: Ginebra, 1998.

_____. **ISO 10551:1995 (E)** Ergonomics of thermal environment – assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. Autor: Ginebra, 1995.

Luna, A., Velázquez, N., Gallegos, R. y Bojórquez G. *Aire acondicionado solar para conjunto de viviendas en Mexicali, B.C. México.* En: Información tecnológica, vol.19, no.1, p.45-56. ISSN 0718-0764, 2008.

Mondelo, P; Gregori, E; Comas, S; Castejón E; y Bartolomé E. *Ergonomía 2: Confort y estrés térmico.*(3ra. Edición). Barcelona: Universitat Politècnica Catalunya, 2001.

Nikolopoulou, M. *Designing open space in the urban environment: a bioclimatic approach.* Attiki: Center for renewable energy sources, 2004.

Nikolopoulou, M., and Steemers, K. *Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces.* In Energy and Buildings, 35, 95-101, 2003.

Olgay, V. *Desing with the climate: bioclimatic approach to architectural regionalism.* New Jersey: Princenton, University Prees, 1963.

Pickup, J. and de Dear, R. *An Outdoor Thermal Comfort Index (OUT_SET*) - Part I - The Model and its Assumptions.* In Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium. WCASP 50: WMO/TD No.1026. Edited by R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R.Oke and A. Auliciems. (WMO: Geneva). pp.279-283, 2000.

Potter, J. and de Dear, R. *Field Study to Calibrate an Outdoor Thermal Comfort Index.* In Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium. WCASP 50: WMO/TD No.1026. Edited by R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R.Oke and A.Auliciems. (WMO: Geneva). pp.315-320, 2000.