

## TEMPERATURA DE CONFORT TÉRMICO PARA EXTERIORES, PERIODO CÁLIDO EN CLIMA CÁLIDO SECO

**Gonzalo Bojórquez (1,4), Gabriel Gómez-Azpeitia (1),  
Rafael García-Cueto (2), Pavel Ruiz (3), Aníbal Luna (4)**

(1) Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Universidad de Colima, Universidad de Guanajuato, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Colima, Campus Coquimatlán, Coquimatlán, Colima CP. 28400, México. Teléfono / fax: 01 (312) 316116, gonzalobojoquez@uabc.mx, ggomez@uacol.mx

(2) Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California

(3) Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez Chiapas

(4) Posgrado e Investigación, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California

### RESUMEN

El estimar las temperaturas de confort térmico en espacios exteriores permite obtener información que sirve de base para generar propuestas de diseño, cuyas condiciones ambientales propicien el confort térmico de los usuarios. Se presenta la estimación de temperaturas de confort térmico para espacios exteriores de un parque recreativo, en el período cálido en un clima desértico. Se diseñó un cuestionario basado en la escala de sensaciones térmicas de ISO 10551, se midieron temperatura de bulbo seco, temperatura de globo negro, temperatura de globo gris, humedad relativa y velocidad de viento. Se aplicaron 822 encuestas en julio y agosto del 2008. Se estimaron temperatura neutra y rangos de confort con el método de correlación de medias con dispersión asociada. 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 neutra obtenidos son aproximadamente simétricos con respecto a sus rangos de confort térmico. Las temperaturas 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 de confort térmico similar a aquellos con actividad pasiva.

Palabras clave: Modelo adaptativo, confort térmico, espacios exteriores, período cálido, clima cálido seco.

### ABSTRACT

By estimating thermal comfort temperatures in outdoors spaces, valuable base information can be obtained that will serve to generate design proposals whose environmental conditions assures thermal comfort for the users. This work shows the estimated thermal comfort temperatures 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, black globe temperature, gray globe temperature, relative humidity and wind speed. A total of 822 questionnaires were applied during the months of July and August 2008. By estimated neutral temperature 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. The temperature values obtained are approximately symmetrical neutral with respect to their thermal comfort ranges. The neutral temperatures 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: Adaptive method, thermal comfort, outdoor spaces, warm period, warm dry climate.

## 1. INTRODUCCIÓN

El conocer las temperaturas 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 confort térmico para el desarrollo de sus actividades de manera adecuada. La necesidad de investigación sobre la sensación térmica percibida en exteriores, se ha visto en eventos como juegos olímpicos y ferias mundiales (Pickup y de Dear, 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. Ashihara, (1982) define los espacios exteriores como aquellos que se crean al delimitar la naturaleza y generan un entorno exterior con un fin específico. Este tipo de espacios no son cubiertos y están definidos por dos planos: pisos y muros.

El cuerpo humano es sometido, en general, a diferentes condiciones climáticas, y en particular a cambios de temperatura, que crean la sensación de comodidad o incomodidad en el individuo. Del estudio de la relación clima-humano surge 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.

Un estudio realizado por de Dear *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. 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 discrepancia 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 estudio se desarrolló con el enfoque de adaptación de confort térmico, mediante la aplicación de encuestas con la escala de sensaciones percibidas de ISO 10551:1995, con el uso simultáneo de un equipo que registra datos de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de globo negro,

humedad relativa y velocidad de viento, además de utilizar un sensor de temperatura de globo gris. Posteriormente, se hizo un análisis estadístico por estrato de sensación térmica percibida y se realizó una regresión lineal de la información colectada, para obtener las temperaturas y límites de confort térmico por nivel de actividad pasiva, moderada e intensa, así como un valor general por los tres niveles de actividad.

El período analizado presentó un comportamiento de clima asimétrico. 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. Los valores obtenidos de temperatura neutra media, 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 de confort térmico similar a aquellos con actividad pasiva.

## **2. OBJETIVO**

El objetivo de este artículo es presentar la estimación de temperaturas de confort térmico para los espacios exteriores de un centro recreativo, en el período cálido, en un clima desértico.

## **3. MÉTODO**

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

### **3.1. Características de la investigación**

Las características de la investigación, permiten comprender por qué se seleccionó un enfoque de estudio, así como el diseño de investigación y las variables consideradas, además de la instrumentación utilizada.

#### *3.1.1. Enfoque de estudio*

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 Höpfe (2002), Givoni y Noguchi (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.

#### *3.1.2. Diseño de la investigación*

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 extremo, 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 con la sensación térmica percibida. El período de aplicación fue en los meses cuando se presentan los valores máximos de temperatura, las encuestas se realizaron del 25 de julio al 10 de agosto del 2008 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/m<sup>2</sup>), moderado (76 a 183 W/m<sup>2</sup>) e intenso (183 a 600 W/m<sup>2</sup>), la relación metabólica de consumo energético se estableció con base en Fanger (1986) y Mondelo *et al* (2001).

#### *3.1.3. Variables climatológicas e instrumentación*

La selección de variables climatológicas 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. En el caso de los instrumentos se consideraron precisión y rangos de los mismos, la disponibilidad y accesibilidad, además de la complejidad de operación. En el caso de las variables

climatológicas se revisaron los proyectos RUROS, RP 884 de ASHRAE, así como las normas ISO 7730, ISO 7726, además de los trabajos de Nikolopoulou (2004), PickUp y de Dear (2000), Potter y de Dear (2000).

Las variables seleccionadas fueron: temperatura de bulbo seco, humedad relativa, velocidad de viento, temperatura de globo negro 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).

Además se utilizó un sensor de temperatura de globo gris, que fue fabricado a partir de un registrador de datos, con sensor de temperatura. Se usó una pelota de plástico con un diámetro de 0.045 m, a la que se le introdujo hasta su centro geométrico el sensor de temperatura y se selló el orificio con silicón, posteriormente se pintó de color gris con una emisividad de 0.5. Lo anterior basado en el reporte de Nikolopoulou y Steemers (2003). El proceso y el equipo cumplen con la mayoría de lo requerido en la norma ISO 7726, por lo que los datos generados son de Clase II.

Debido al efecto sobre la sensación térmica percibida de la complejidad física de cada persona, fueron necesarios la utilización de una báscula mecánica, para medir el peso y un flexómetro, para medir altura.

### 3.2. 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.

#### 3.2.1. Diseño de cuestionario

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 del equipo. Se hizo una prueba piloto y con base en los resultados obtenidos se procedió a las correcciones necesarias.

#### 3.2.2. Aplicación y captura

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. El proceso de selección de sujetos fue de tipo determinístico. Los sujetos eran hombres y mujeres entre 12 y 75 años de edad, no se incluyeron individuos con condiciones biológicas irregulares como enfermedades crónicas, embarazo, período de lactancia ó período menstrual. Algunas imágenes de aplicación de encuestas y equipo se presentan en la figura 1.



Figura 1- Aplicación de encuestas y monitor de estrés térmico

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.

#### 3.2.3. Procesamiento de datos

El análisis de datos se llevó a cabo con el método de medias con dispersión asociada (MDA), 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.

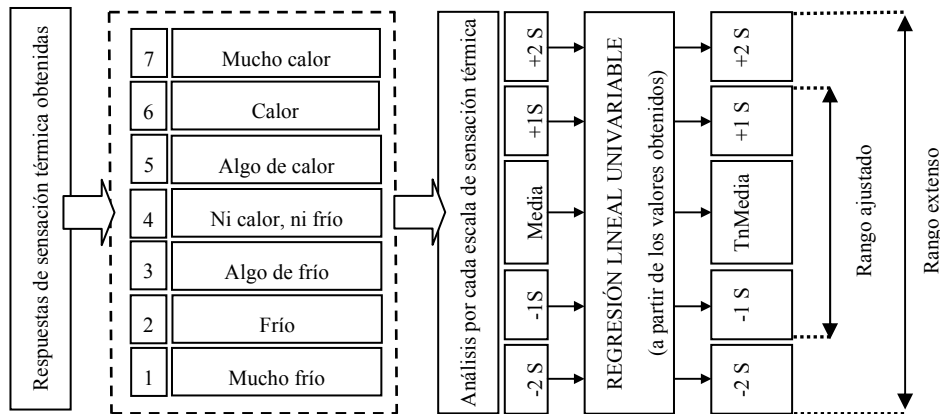


Figura 2- Estimación de temperatura de confort térmico con el método de medias con dispersión asociada (MDA)

La diferencia fundamental del MDA con el método convencional 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 ( $\delta$ ) de la muestra. El objetivo de este procedimiento es determinar el valor medio de temperatura de todas las repuestas de cada nivel de sensación térmica percibida. De esa forma se calcula el valor de la temperatura 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 registradas para cada respuesta colectada. Cuando el número de respuestas de determinado grupo no era suficiente para obtener resultados confiables, se omitió el procedimiento eliminando 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 correspondiente ( $T_{Media}$ ) y la adición de  $\pm 1 \delta$ . Este primer rango incluye teóricamente 68% de las personas que expresaron tener una misma sensación térmica. Se repite el procedimiento y se adiciona  $\pm 2 \delta$  a la  $T_{Media}$ , 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 extremos de los rangos definidos por  $T_{nMedia} \pm 2 \delta$ , y a los límites cercanos definidos por  $T_{nMedia} \pm 1 \delta$ . También se hace lo propio con los valores de  $T_{nMedia}$ . De esa forma se obtiene gráficas para cada período 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 neutra según el método MDA, así como los valores límites de los rangos de confort térmico.

## 4. RESULTADOS

El estudio se realizó para tres niveles de actividad: pasiva, moderada e intensa. Las actividades de tipo pasivo fueron: caminar, observar actividades de otras personas, 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.

### 4.1. Total de observaciones

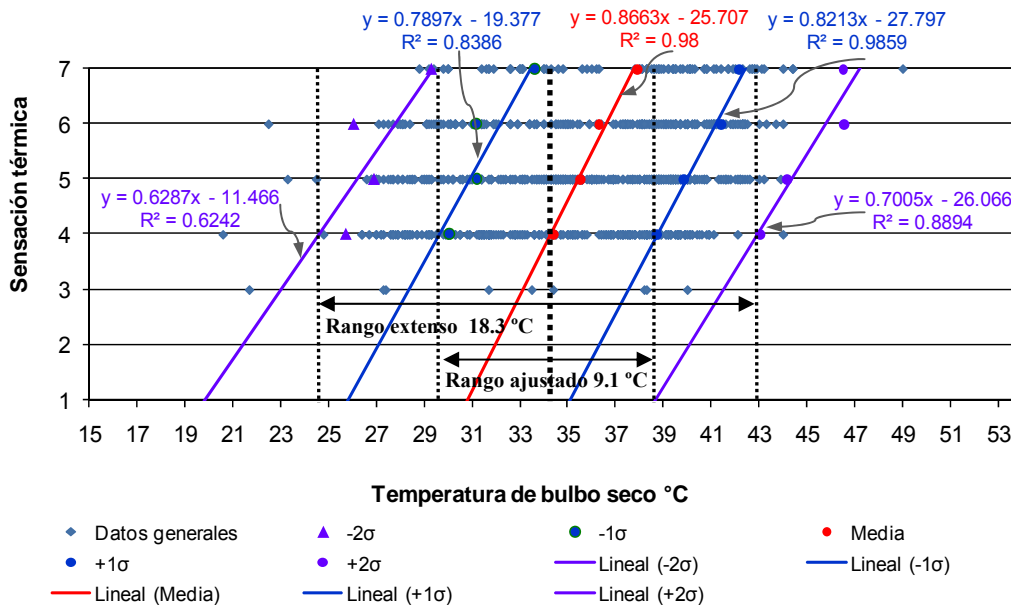
En el periodo estudiado se hicieron un total de 822 observaciones, las cuales incluyen, 389 con actividad de nivel pasivo, 256 con actividad de nivel moderada y 177 con actividad intensa. No se presentaron sensaciones frías. Se observó un valor de temperatura de confort (ni calor, ni frío) promedio alto en comparación de otros estudios desarrollados por distintos autores (Gómez-Azpeitia *Et al* 2009). Para los valores medios ( $T_{Media}$ ) de nivel de sensación térmica percibida, con respecto al valor confort térmico (ni calor, ni frío), se presentó una variación de 1.1 a 3.5 °C. En lo que respecta a los valores mínimos ( $\pm 1 \delta$ ) y

máximos ( $\pm 2 \delta$ ) de cada nivel de sensación térmica se obtuvo una variación de 17.19 a 20.49 °C (Ver tabla 1).

Tabla 1- Media aritmética y desviación estándar para temperaturas de bulbo seco, por categoría de sensación térmica percibida (822 observaciones)

Sensación térmica	Escala	-2 $\delta$	-1 $\delta$	TMedia	+1 $\delta$	+2 $\delta$
Mucho calor	7	29.30	33.60	37.9	42.19	46.49
Calor	6	26.04	31.16	36.3	41.41	46.53
Algo de calor	5	26.89	31.21	35.5	39.85	44.16
Ni calor, ni frío	4	25.71	30.04	34.4	38.71	43.05

Conforme a los datos de la tabla 1, y según el método MDA, se obtuvieron las correlaciones correspondientes, para estimar la temperatura de confort ( $T_{nMedia}$ ) y el rango extenso y el ajustado. Se estima el valor de  $T_{nMedia}$  conforme a la ecuación de regresión lineal de los valores medios, se sustituye el valor de X, por el valor 4, que representa la sensación térmica de confort, se aplica un procedimiento similar para estimar los valores de  $\pm 1 \delta$  y  $\pm 2 \delta$ . También se establecen dos rangos, 1) el rango ajustado que representa los valores con una S, y representaría el núcleo característico de las respuestas de confort colectadas, y 2) rango extenso, el cual es definido por la intersección de las líneas correspondientes a los límites de  $\pm 2 \delta$  con la ordenada 4, y representa prácticamente la totalidad de las respuestas de confort colectadas e incluyen los valores extremos del grupo (ver figura 3).



Temperatura neutral	Tn-2 $\delta$	Tn-1 $\delta$	TnMedia	Tn+1 $\delta$	Tn+2 $\delta$
	24.6	29.6	34.3	38.7	42.9

Figura 3- Temperatura neutral y rangos de confort térmico para la población total encuestada

En todas las observaciones (tres niveles de actividad), se observó que existen pocos casos que están fuera de los límites de confort térmico estimados. Las líneas de regresión tienden a ser paralelas entre sí. La amplitud del rango extenso fue de 18.3 °C y la del rango ajustado de 9.1 °C. Además el valor de  $R^2$  para el modelo lineal que describe el fenómeno estudiado tiene un valor significativo de 0.98.

#### 4.2. Actividad pasiva

En lo que respecta a la actividad pasiva se hicieron un total de 389 observaciones. Se observó un valor de temperatura de confort (ni calor, ni frío) promedio alto en comparación de otros estudios desarrollados por distintos autores para este nivel de actividad (Gómez-Azpeitia *Et al* 2009). Para los valores medios ( $T_{Media}$ ) de nivel de sensación térmica percibida, con respecto al valor confort térmico (ni

calor, ni frío), se presentó una variación de 1.7 a 3.7 °C. En lo que respecta a los valores mínimos ( $\pm 1 \delta$ ) y máximos ( $\pm 2 \delta$ ) de cada nivel de sensación térmica se obtuvo una variación de 14.73 a 21.17 °C (Ver tabla 2).

Tabla 2. Media aritmética y desviación estándar para temperaturas de bulbo seco, por categoría de sensación térmica percibida, para actividad pasiva (389 observaciones)

Sensación térmica	Escala	-2 $\delta$	-1 $\delta$	TMedia	+1 $\delta$	+2 $\delta$
Mucho calor	7	31.32	35.00	38.70	42.37	46.05
Calor	6	26.51	31.80	37.10	42.39	47.68
Algo de calor	5	29.22	32.95	36.70	40.42	44.16
Ni calor, ni frío	4	26.72	30.85	35.00	39.09	43.22

En la actividad pasiva, se observó que las líneas de regresión de  $\pm 1 \delta$  tienden a ser paralelas entre sí y con respecto a la línea de TnMedia, sin embargo, las correlaciones de  $\pm 2 \delta$  son oblicuas entre sí y con relación a TnMedia. La amplitud del rango extenso fue de 18.1 °C y la del rango ajustado de 8.9 °C. Los valores de R<sup>2</sup> para las cuatro regresiones presentaron una variación máxima de 0.5604.

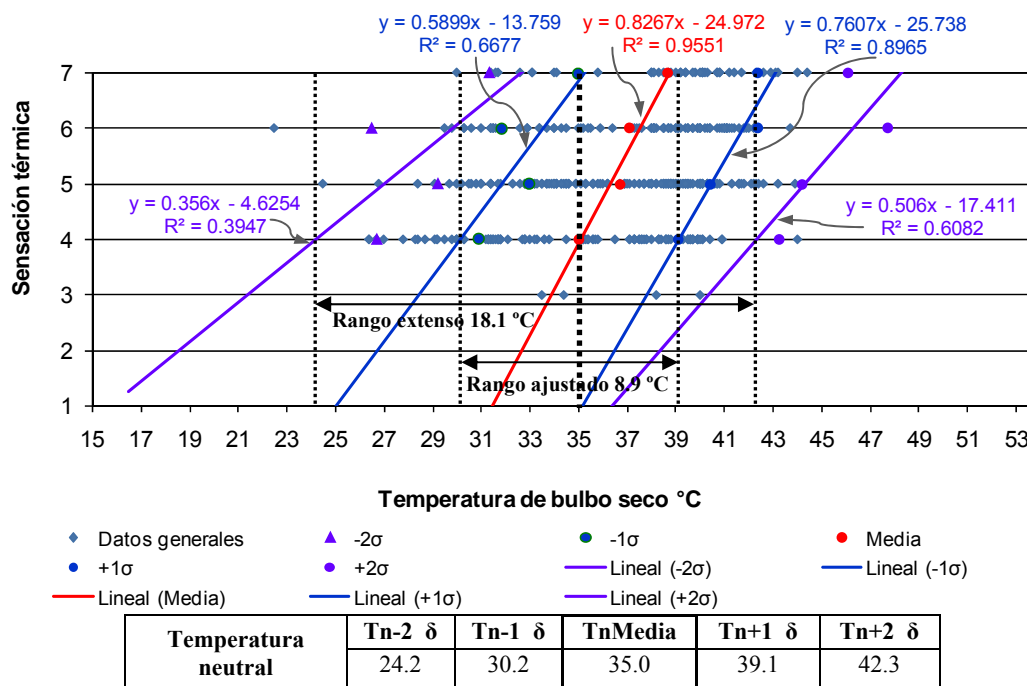


Figura 4. Temperatura neutral y rangos de confort térmico para actividad pasiva (389 observaciones)

### 4.3. Actividad moderada

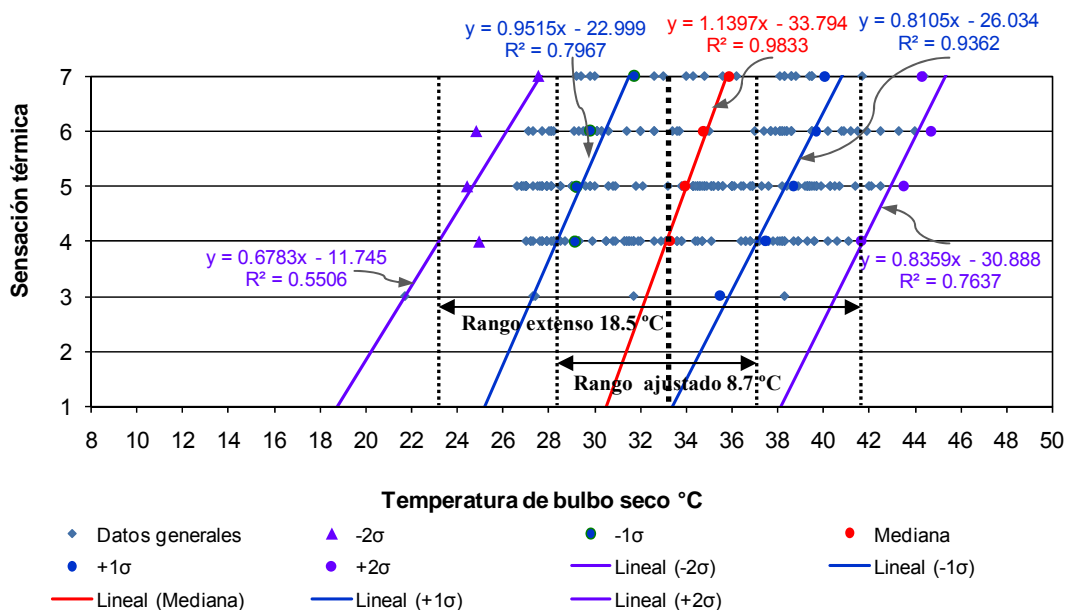
En la actividad moderada se aplicaron 256 observaciones. Para los valores medios (TMedia) de nivel de sensación térmica percibida, con respecto al valor confort térmico (ni calor, ni frío), se presentó una variación de 0.7 a 2.6 °C. En lo que respecta a los valores mínimos ( $\pm 1 \delta$ ) y máximos ( $\pm 2 \delta$ ) de cada nivel de sensación térmica se obtuvo una variación de 16.71 a 19.87 °C (Ver tabla 3).

Tabla 3. Media aritmética y desviación estándar para temperaturas de bulbo seco, por categoría de sensación térmica percibida, para actividad moderada (256 Observaciones)

Sensación térmica	Escala	-2 $\delta$	-1 $\delta$	TMedia	+1 $\delta$	+2 $\delta$
Mucho calor	7	27.52	31.71	35.90	40.10	44.29
Calor	6	24.82	29.79	34.80	39.72	44.69
Algo de calor	5	24.42	29.18	34.00	38.72	43.49
Ni calor, ni frío	4	24.94	29.12	33.30	37.47	41.65

En la actividad moderada, se observó que las líneas de regresión de  $\pm 2 \delta$  tienden a ser paralelas entre

sí, sin embargo, las correlaciones de  $\pm 1 \delta$  son oblicuas entre sí. En este caso todas las líneas de tendencia son oblicuas con relación a  $T_{nMedia}$ . La amplitud del rango extenso fue de 18.5 °C y la del rango ajustado de 8.7 °C. Los valores de  $R^2$  para las cuatro regresiones presentaron una variación máxima de 0.4327 (Ver figura 5).



Temperatura neutral	$T_{n-2 \delta}$	$T_{n-1 \delta}$	$T_{nMedia}$	$T_{n+1 \delta}$	$T_{n+2 \delta}$
	23.2	28.4	33.2	37.1	41.7

Figura 5- Temperatura neutral y rangos de confort térmico para actividad moderada

#### 4.4. Actividad intensa

En lo que respecta a la actividad intensa se hicieron un total de 177 observaciones. Para los valores medios ( $T_{Media}$ ) de nivel de sensación térmica percibida, con respecto al valor confort térmico (ni calor, ni frío), se presentó una variación de 0.6 a 3.9 °C. En lo que respecta a los valores mínimos ( $\pm 1 \delta$ ) y máximos ( $\pm 2 \delta$ ) de cada nivel de sensación térmica se obtuvo una variación de 16.28 a 20.91 °C (Ver tabla 4).

Tabla 4- Media aritmética y desviación estándar para temperaturas de bulbo seco, por categoría de sensación térmica percibida, para actividad intensa (177 observaciones)

Sensación térmica	Escala	-2 $\delta$	-1 $\delta$	$T_{Media}$	+1 $\delta$	+2 $\delta$
Mucho calor	7	28.10	33.33	38.60	43.78	49.01
Calor	6	27.32	31.94	36.60	41.20	45.83
Algo de calor	5	27.11	31.21	35.30	39.40	43.39
Ni calor, ni frío	4	25.20	29.97	34.70	39.50	44.26

En la actividad intensa, se observó que las líneas de regresión de -1  $\delta$  y -2  $\delta$  tienden a ser paralelas entre sí, sin embargo, las demás líneas son oblicuas entre sí. En este caso todas las líneas de tendencia son oblicuas con relación a  $T_{nMedia}$ . La amplitud del rango extenso fue de 17 °C y la del rango ajustado de 8.4 °C. Los valores de  $R^2$  para las cuatro regresiones presentaron una variación máxima de 0.1744 (Ver figura 6).

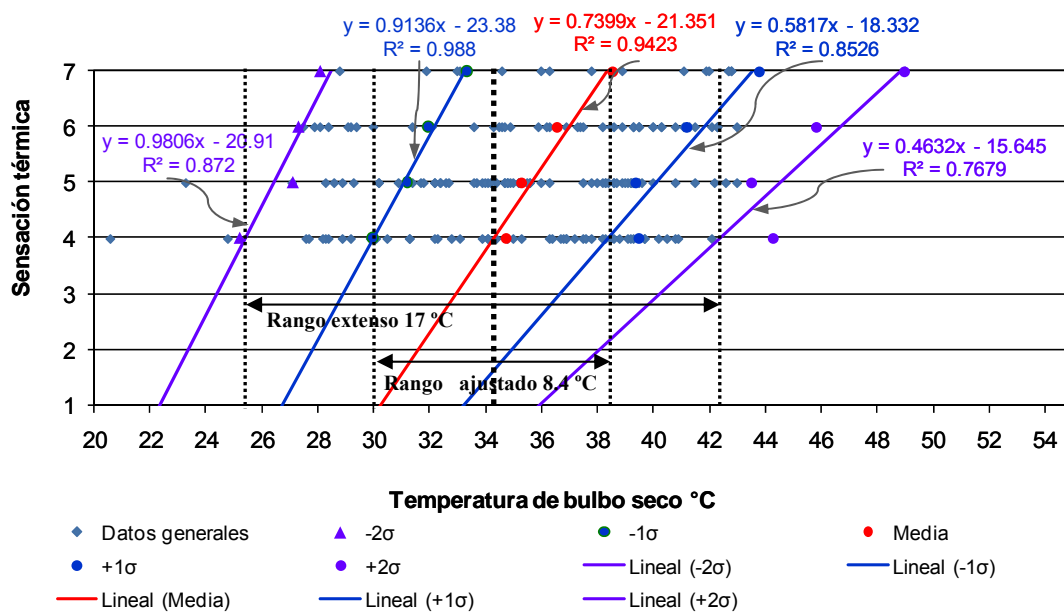
## 5. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se pueden establecer las conclusiones siguientes:

El período analizado presenta un comportamiento de clima asimétrico, debido a que no hay valores debajo del rango de confort térmico.

Los valores de temperatura neutra media, 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 de confort térmico similar a aquellos con actividad pasiva.





Temperatura neutral	Tn-2 δ	Tn-1 δ	TnMedia	Tn+1 δ	Tn+2 δ
	25.4	30.0	34.3	38.4	42.4

Figura 6. Temperatura neutral y rangos de confort térmico para actividad intensa (177 Observaciones)

Pudiera suponerse que conforme aumenta la actividad metabólica se reduce la temperatura de confort térmico, sin embargo, en el caso de las actividades intensas los sujetos están mejor adaptados que los de actividad moderada, además del tipo de vestimenta que utilizan tiene menor aislamiento, por lo que su temperatura de confort térmico es similar a la de los sujetos con actividad pasiva. Esto comprueba las afirmaciones de Humphreys y Nicol (2002).

En el caso de las desviaciones estándar para los tres niveles de actividad están en un rango promedio de 4 a 5 °C, variación aceptable, si se considera que el estudio se realizó en horarios de 6:00 a 22:00 horas con mínimas de 18 °C y máximas de 48 °C. La mayor desviación estándar se presenta en sujetos con actividad intensa, lo anterior se debe a los mismos argumentos mencionados con respecto a la temperatura de confort térmico para este nivel de actividad.

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 mismos.

En el caso de la temperatura neutral, los valores de Tn Media para el total de las observaciones y la actividad intensa son similares, mientras que para la actividad pasiva son 0.7 °C mayores que para el promedio total y la actividad intensa. Nuevamente se observa un mayor grado de adaptación de los datos en los individuos que practican la actividad intensa.

En lo que respecta al coeficiente de determinación para la temperatura neutral media (TnMedia), se observa que presenta valores significativos que van de 0.94 al 0.98, lo que demuestra la validez estadística de los datos.

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, mientras que el menos amplio se presenta en las actividades intensas. Lo anterior debido al nivel de adaptación de estos sujetos, que practican este nivel de actividad en forma consistente.

El rango ajustado presenta su valor menor en las actividades intensas, sin embargo las diferencias con los otros dos niveles de actividad son menores a 1 °C. El valor máximo se da en las actividades pasivas.

Los valores de TnMedia obtenidos presentan similitud para el estudio realizado por Gómez-Azpeitia *et al* (2009), en interiores en la misma ciudad de estudio.

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.

## 6. REFERENCIAS

- ASHIHARA, Y. (1982). *El diseño de espacios exteriores*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Auliciems, A. (1998) **Global differences in indoor thermal requirements**. Australian & New Zealand Association for the Advancement of Science (ANZAAS) Conference, Brisbane, Australia.
- DEAR DE, R; BRAGER, G. AND COOPER, D. (1998). **Developing an adaptive model of thermal comfort and preferences**. (Final Report on RP-884). ASHRAE and Macquarie Research Ltd.
- FANGER P.O. (1986). Thermal environment- human requirements . The environmentalist. Volume 6, Number 4, 275-278. Springer Netherlands
- GIVONI, B; NOGUCHI, M; SAARONI, H; POCHTER, O; YAACOV, Y; FELLER, N. AND BECKER, S. (2003). **Outdoor comfort research issues**. Energy and buildings, 35, 77-86.
- GÓMEZ-AZPEITIA, G., BOJÓRQUEZ, G., RUIZ, P., ROMERO, R., OCHOA, J., PÉREZ, M., RESENDIZ, O., LLAMAS, A. (2009). **Comfort Temperatures inside Low-Cost Housings of Six Warm Climate Cities in Mexico**. PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, 22-24 June 2009
- GÓMEZ-AZPEITIA G. RUIZ P. BOJÓRQUEZ G. Y ROMERO R. (2007). **Monitoreo de condiciones de confort térmico**. Reporte técnico CONAFOVI. 2004-01-20. Colima.
- HÖPPE, P. (2002). **Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort**. Energy and Building, 34, 661-665.
- HUMPHREYS, M. AND NICOL, F. (1998). **Understanding the adaptive approach to thermal comfort**. ASHRAE Technical Bulletin, 14.
- HUMPHREYS, M. AND NICOL, F. (2002). **The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments**. Energy and Buildings, 34, 667-684.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (2005). **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**. Ginebra: Autor.
- \_\_\_\_\_. (1998). **ISO 7726:1998 (E) Ergonomics of the thermal environment – instruments for measuring physical quantities**. Ginebra: Autor.
- \_\_\_\_\_. (1995). **ISO 10551:1995 (E) Ergonomics of thermal environment – assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales**. Ginebra: Autor.
- LUNA, A., VELÁZQUEZ, N., GALLEGOS, R. Y BOJÓRQUEZ G. (2008). **Aire acondicionado solar para conjunto de viviendas en Mexicali, B.C. México**. Revista "Información tecnológica" 2008, vol.19, no.1, p.45-56. ISSN 0718-0764
- MONDELO, P; GREGORI, E; COMAS, S; CASTEJÓN E Y BARTOLOMÉ E. (2001). **Ergonomía 2: Confort y estrés térmico**.(3ra. Edición). Barcelona: Universitat Politècnica Catalunya
- NICOL, F. (1993) **Thermal comfort "A handbook for field studies toward an adaptive model"**. London, University of East London.
- NIKOLOPOULOU, M. (2004). **Designing open space in the urban environment: a bioclimatic approach**. Attiki: Center for renewable energy sources.
- NIKOLOPOULOU, M., AND STEEMERS, K. (2003). **Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces**. Energy and Buildings, 35, 95-101.
- PICKUP, J. AND DE DEAR, R. (2000). **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.
- POTTER, J.C. AND DE DEAR, R.J (2000). **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.

## 7. AGRADECIMIENTOS

AL PERSONAL DE APOYO en el trabajo de campo, captura y procesamiento de información. Al Dr. Augusto Arredondo por su apoyo durante el desarrollo de este documento. 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.