

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**VALIDACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFORT TÉRMICO UNIVERSAL
EN MEXICALI, B.C., MÉXICO**

Tesis que para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS

Presenta

ALMENDRA SOLÓRZANO DÁVILA

Director de tesis

DR. O. RAFAEL GARCÍA CUETO

Codirector de tesis

DR. GÓNZALO BOJÓRQUEZ MORALES

Enero de 2015

INDICE

CAPÍTULO I.

Introducción.....	6
1.1 Planteamiento del problema.....	7
1.2 Hipótesis.....	8
1.3 Objetivo General.....	10
1.4 Objetivos Específicos.....	10

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Confort Térmico.....	11
2.2 Confort Térmico.....	11
2.3 Variables que intervienen en el Confort.....	13
2.3.1 Temperatura del aire.....	13
2.3.2 Humedad del aire.....	14
2.3.3 Velocidad del viento.....	15
2.3.4 Temperatura media radiante.....	15
2.4 Índices de Confort.....	20
2.4.1 Enfoques para el confort.....	17
2.4.2 Índice Temperatura efectiva estándar (SET).....	18
2.4.3 Índice PMV(Predicted Mean Vote).....	19

2.4.4 Temperatura fisiológica equivalente (PET).....	20
2.5 Índices de Confort Empíricos.....	21
2.5.1 Temperatura Efectiva.....	21
2.5.2 Wind Chill.....	21
2.5.3 El Humidex(HX).....	21
2.5.4 Wet-Bulb Globe Temperature(WBGT).....	22
2.6 Estudios Bioclimáticos Internacionales.....	22
2.7 Estudios Bioclimáticos en la República Mexicana.....	28
2.8 Estudios Bioclimáticos en Mexicali, B.C, México.....	31
2.9 El Confort Térmico y la Urbanización.....	34
2.10 Investigaciones actuales sobre el confort térmico y la utilización de un Índice Universal.....	35

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Determinación de los período de estudio.....	38
3.2 Selección de áreas exteriores para el estudio y elección de sujetos a participar.....	39
3.3 Selección de un Índice para el estudio.....	39
3.4 Definición de UTCI.....	40
3.5 Escala de UTCI.....	41
3.6 Equipo de medición empleado en el estudio.....	42

3.7 Diseño del cuestionario para encuestas.....	50
3.7.1 Secciones de las que consta el cuestionario.....	54
3.7.2 Aplicaciones de encuestas.....	55
3.7.3 Visualización de datos meteorológicos.....	56
3.7.4 Captura de encuestas.....	57
3.7.5 Método para calcular el Índice UTCI.....	58

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1 Análisis exploratorio de datos.....	58
4.1.1 Análisis estadístico de Temporada de Invierno.....	59
4.1.1.2 Análisis de regresión de Temporada de Invierno zona Este.....	60
4.1.1.3 Análisis de regresión de Temporada de Invierno zona Oeste...58	
4.1.1.4 Análisis de regresión de UTCI de Invierno ambas zonas.....	58
4.1.1.5 UTCI vs Sensaciones Térmicas, temporada de Invierno.....	61
4.1.2 Análisis estadístico de la Temporada de Verano.....	65
4.1.2.1 Análisis de Regresión de la temporada de Verano Zona Oeste..	66
4.1.2.2 Análisis de Regresión de UTCI de Verano, ambas zonas.....	67
4.1.2.3 UTCI vs Sensaciones Térmicas, temporada de Verano.....	71

CAPITULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....77

CAPITULO VI. CONCLUSIONES.....82

CAPITULO VII. REFERENCIAS.....85

ANEXOS.

ANEXO 1. ENCUESTA ELABORADA EJEMPLO

ANEXO 2. FIGURA ESQUEMATICA FIALA MODEL

ANEXO 3. MANUAL DE ENCUESTA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCION

El vínculo entre el ambiente natural y el ser humano no es meramente una idea teórica sino una necesidad física, social y psicológica. Una de las necesidades básicas del ser humano es lograr un equilibrio térmico con el entorno sintiéndose en una atmósfera libre de cualquier incomodidad, es este proceso de equilibrio que lleva al cuerpo a hacer una serie de ajustes y que las personas perciben como sensaciones térmicas.

El estudio de las sensaciones térmicas y el grado de comodidad percibido han sido parte fundamental en los diseños arquitectónicos para interiores y exteriores hasta los temas de salud pública, turismo y en cualquier actividad desarrollada al aire libre. Este tipo de estudios en exteriores en el ámbito urbano no han sido encaminados a fijar estándares internacionales ya que dependen de numerosas variables, en este sentido si se han podido establecer parámetros que de no cumplirse afectan al bienestar y desarrollo humano. La relación existente entre los organismos vivos y el clima es lo que se conoce como Bioclimatología (Kuchartz,2011). Como parte del estudio de esta ciencia el clima es la parte crucial y esencial que afecta a los seres humanos y que desde el punto de vista bioclimático varios expertos han desarrollado índices de confort con el propósito de evaluar y establecer los límites en los cuales las personas se sienten confortables.

En este contexto surge una pregunta, ¿cuáles son las condiciones en las que una persona se sentiría en confort térmico? Una respuesta a este cuestionamiento, dependiendo del ambiente en el que se desenvuelve, ha permitido identificar dos métodos para estudiar el confort:

Acercándose a las personas en su día a día en cualquier actividad que desarrolle cotidianamente, y mediante una serie de cuestionamientos evaluar su grado de sensación térmica y al mismo tiempo realizando mediciones del medio ambiente en el que se encuentra, para de esta manera evaluar utilizando herramientas estadísticas, por ejemplo, y deducir cuales constituyen las condiciones más confortables para las personas. Este método también es conocido como *trabajo de campo*.

Estudiar las variables fisiológicas de una persona y el ambiente para predecir su respuesta; estudios de laboratorio en ambientes controlados, por ejemplo en cámaras bioclimáticas, que han servido como base para constituir los Estándares de la Sociedad Americana de Ingenieros en

Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en inglés) y la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés).

En este sentido, la norma ISO 7730:2005 de la ASHRAE¹, define el confort como “aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico”. En ella se contempla la parte fisiológica representada por el equilibrio térmico que debe existir entre el hombre y su ambiente exterior que le conduce a la sensación de bienestar, esta sensación por tanto depende de un gran número de variables, algunas de ellas no necesariamente relacionadas con el clima. En la conferencia Windsor (2001): *“Moving thermal comfort standards into the 21st century”*, se mencionaron los dos enfoques para el confort que han causado controversia hasta ahora, que son el enfoque predictivo y enfoque adaptativo.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El confort bioclimático es todavía un concepto que en muchos países, sobre todo en desarrollo, no está en los criterios de la planificación urbana. En el diseño urbano contemporáneo este conocimiento no fue integrado o re-inventado y el efecto que ha provocado en nuestro ambiente urbano actual es que estemos incómodos debido al proceso intensivo de urbanización, provocando entre otras cosas, la isla de calor dentro de las ciudades, y el calentamiento global progresivo que se ha experimentado en las últimas décadas.

En este punto es necesario recordar la diferencia básica entre los espacios interiores y los exteriores. Mientras que un ambiente en interiores tiende a ser relativamente estable y controlado térmicamente, el ambiente en exteriores está determinado por las variaciones diarias y estacionales del clima, es muy poco controlable en cuanto a parámetros de microclimas (humedad, temperatura de aire, temperatura de la superficie, viento y radiación) lo que afecta el balance de energía del cuerpo y por lo tanto su confort térmico. En cualquier ciudad se puede observar que existen estos tipos de espacios tanto cerrados o interiores, como abiertos o exteriores, siendo en este último donde la presencia de vegetación nativa, árboles, rocas, senderos, banquetas, edificios

con diferentes materiales constituyentes, etc., se da la convivencia de materiales naturales y artificiales que soportan los efectos de la intemperie.

En una ciudad como Mexicali, B.C., en el que las condiciones extremas del clima son parte de la experiencia que todas las personas viven estacionalmente, es notoria la ausencia de espacios destinados para la recreación y sana convivencia de sus habitantes. Es por esa razón que en este estudio se explora la relación del bioclima humano con sus espacios exteriores en función de un índice que se ostenta como de carácter universal, pero que aún no ha sido probado en ciudades de zonas áridas. Para este estudio el área de interés son los espacios abiertos donde las personas realizan actividades cotidianas, ya sea camino al trabajo, la escuela o simplemente trasladándose de un sitio a otro; particularmente el estudio se realiza en el campus Mexicali de la Universidad Autónoma de Baja California, siendo la población objeto de estudio los estudiantes universitarios de ambos sexos, entre un rango de edad de los 18 a los 25 años, los cuales se asume que su condición de salud, tanto física como mentalmente, es normal o sanos. Por lo anterior este estudio podría generalizarse con las condiciones anteriormente enunciadas, y dicho brevemente, para sujetos sanos, jóvenes y que están realizando una actividad ligera. Se hacen mediciones de las variables climáticas, y al mismo tiempo se miden variables físicas y fisiológicas de los individuos encuestados.

El primer acercamiento con los individuos del estudio se realiza a través de encuestas realizadas en la temporada de invierno y posteriormente en la temporada de verano. Las condiciones del estudio cambian libremente, es decir los individuos del estudio se visten y comportan como lo hacen normalmente, lo que permite comprobar como las variables del ambiente, en particular las climáticas, se relacionan con las sensaciones de las personas. Se realiza un análisis de contraste estadístico de la información obtenida para ver que combinación de variables climáticas describe mejor las respuestas subjetivas de las personas.

En el desarrollo del estudio se aplica el enfoque predictivo-adaptativo para de esa manera conocer la percepción del ser humano en un ambiente térmico, y poder establecer cuáles son los efectos de las condiciones del bioclima en las personas.

Los resultados del estudio podrían servir para la propuesta de espacios externos o para la evaluación de espacios exteriores ya existentes en los que las personas desarrollan sus actividades, siendo la situación actual en México y otros países el hecho de que las viviendas son cada vez más reducidas debido a la sobrepoblación, lo que obliga a las personas a salir al exterior de sus casas o lugares de trabajo a buscar momentos de recreación. Todas las personas se encuentran siempre interactuando al aire libre y desarrollando actividades fuera de las casas, por lo que se hace necesario el conocimiento del grado de confort al exterior que experimentan las personas de la ciudad de Mexicali. Existe una interrelación entre la conducta del ser humano y la arquitectura, cada entorno arquitectónico se asocia a patrones de conducta característicos por lo que se confirma que existe una fuerte relación simbiótica (Ittelson, 1976).

INDICES DE CONFORT

Surgieron de la necesidad de estimar los efectos combinados de las variables que intervienen en los intercambios físicos entre el cuerpo humano y el ambiente sobre las respuestas fisiológicas y sensoriales de las personas a fin de expresar cualquier combinación a través de un valor único. En principio, mientras más variables se incluyan más precisa será la evaluación. Sin embargo, la práctica muestra que a veces los más fáciles de aplicar dan resultados comparables a los más complejos (Epstein y Moran, 2006).

Dos lugares pudieran tener condiciones muy diferentes de temperatura, humedad, rapidez del aire y radiación pero un mismo valor de cierto índice de confort, revelando que producen una misma sensación térmica. Debido a que las personas no son siempre sujetos de experimentación semejantes, constantes o lógicos, la definición de los rangos en que estos índices se corresponden con las condiciones de confort térmico se hace sobre la base estadística de encuestas (el enfoque puede ser empírico cuando las encuestas se hacen en campo o analítico cuando se hacen en cámaras climáticas). Dependiendo del tipo de edificación se pueden considerar algunas variables, fijar otras (por ejemplo, vestimenta o actividad) y considerar la variación de los más significativos que son las variables físicas del ambiente.

HIPÓTESIS

El Índice Térmico Universal del Clima (UTCI) se puede aplicar a las condiciones climáticas de la ciudad de Mexicali y con la valoración de ese índice es posible realizar una comparación favorable con las respuestas de confort térmico obtenidas durante las encuestas aplicadas.

OBJETIVO GENERAL

Validar la aplicación del Índice Térmico Universal del Clima (UTCI) en relación a la predicción de los votos de confort en áreas exteriores de la ciudad de Mexicali, B.C.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el confort térmico aplicando el índice UTCI.
- Analizar la relación del UTCI con la Temperatura del Aire en las estaciones de invierno y verano.
- Identificar el rango de confort térmico expresado por los participantes del estudio.
- Comparar la escala de estrés térmico indicada por el UTCI y los votos de confort de las personas encuestadas.
- Determinar si el UTCI es apropiado para las condiciones climáticas locales de verano e invierno.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Confort Térmico

La manera en cómo se percibe el clima depende de una variedad de factores, al aire libre una persona puede sentir calor o frío dependiendo de la actividad que esté realizando por ejemplo si se encuentra sentado mirando un partido de fútbol o simplemente caminando por una banqueta; así mismo se ve influenciado por las condiciones de calor, humedad, viento, radiación solar, etc. Otro factor que también influye es el tipo de vestimenta, una persona puede sentirse cómoda en un día de verano vistiendo un traje de baño o sentirse tranquila en un día muy frío si viste un suéter de lana, guantes y gorro. Estos aspectos de clima, actividad y tipo de vestimenta combinados proporcionan una idea clara de la importancia que tienen cuando se encuentran en el exterior.

Dentro del conjunto de espacios exteriores se consideran los sitios o sectores de una ciudad que no esté cubierto. Existen diferencias en lo que se conoce como clima rural y clima urbano el cual afecta al confort humano. Estas diferencias son causadas por los espacios urbanos, la convección de calor entre la superficie terrestre y los edificios, los flujos de aire y por el calor generado dentro de la ciudad (Givoni, 1998).

2.2 CONFORT TERMICO

El confort térmico es definido en ASHRAE como “la condición mental en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico”. Los intercambios de energía entre una persona y el medio que lo rodea, están expresados por la ecuación de balance de energía calórica del cuerpo humano:

$$M + W + Q^* + Q_H + Q_L + Q_{SW} + Q_{RE} = S$$

En la expresión anterior M es la proporción metabólica (por ejemplo la producción de energía interna por la oxidación de la comida), W el trabajo físico exterior, Q^* el balance de radiación neta del cuerpo, Q_H el flujo de calor convectivo (sensible), Q_L el flujo de calor latente por la difusión del vapor de agua, Q_{SW} el flujo de calor latente debido a la evaporación del sudor, Q_{RE} el flujo de calor

por la respiración (la suma del flujo de calor para calentar y humedecer el aire inspirado) y S es el almacenamiento del flujo de calor para calentar (valor positivo) o enfriar el cuerpo (valor negativo). Básicamente, el estado del cuerpo influye en muchos de estos flujos de calor por la temperatura del cuerpo o la humedad de la piel (Ver figura 1).

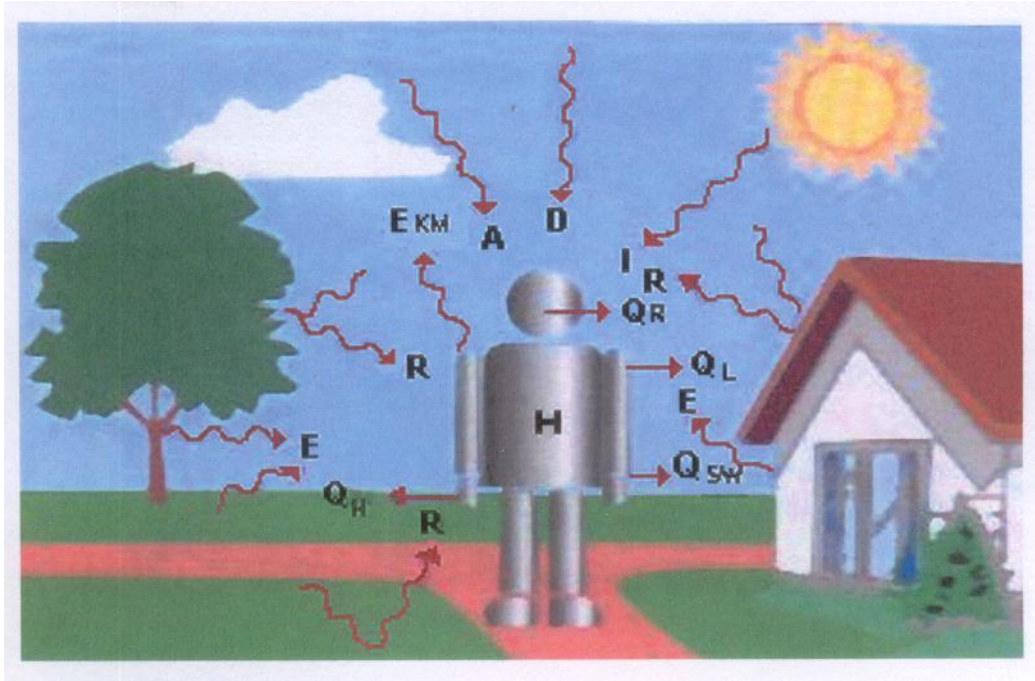


Figura 1: Flujos de calor entre una persona y sus alrededores en un ambiente urbano, donde H es la producción de calor interna (metabolismo), Q_H es el flujo de calor sensible, Q_{SW} es el flujo de calor latente, Q_L es el flujo de calor húmedo, Q_R es el flujo de calor por respiración, I es la radiación solar directa, D es la radiación solar difusa, R es la radiación reflejada, A es la radiación atmosférica, E es la radiación terrestre y E_{KM} es la radiación emitida desde la superficie del hombre (tomada de Cervantes, 2001)

El entorno térmico y su impacto en el cuerpo humano no pueden describirse como una función de un único factor, puesto que el cuerpo no posee sensores individuales para cada factor y por lo tanto, se siente el entorno térmico en conjunto. Un índice de “confort térmico” está basado en la misma idea: combina varios factores en una variable sencilla, la cual concentra sus efectos simultáneos en las respuestas sensoriales y fisiológicas del cuerpo. El “confort mecánico”, por su

parte, concierne a la influencia directa del viento sobre las personas, ambos efectos son muy difíciles de separar.

2.3 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL CONFORT

La sensación térmica varía con arreglo a una serie de variables de diversos tipos los cuales pueden clasificarse como sigue (Brager y de Dear, 1998):

Variables físicas como la temperatura del aire, la humedad, la rapidez del aire y la temperatura radiante.

Variables circunstanciales como la actividad, la vestimenta y el tiempo de permanencia en el ambiente.

Variables fisiológicas como la edad, el sexo y otras características de las personas.

Variables psicológicas y sociológicas como las expectativas, la condición social y la nacionalidad.

La variación de cada variable afecta la manera como se percibe el ambiente, por lo que la posibilidad de lograr confort depende de ellos. En lo que sigue se explica la influencia de cada una de ellas.

2.3.1 Temperatura del aire

La temperatura del aire a menudo es utilizada como índice del estado térmico de un ambiente. Sin embargo, a pesar de ser fundamental, en la práctica es insuficiente para explicar la sensación térmica que se espera en un lugar determinado. Una evaluación más adecuada requiere combinarla con al menos las demás variables físicas, específicamente la humedad, la rapidez del aire y el entorno radiante. (Höppe, 1999).

A la temperatura del aire se le llama en términos técnicos temperatura del bulbo seco puesto que suele medirse con un termómetro de mercurio seco (si el mismo estuviera mojado la evaporación del agua lo enfriaría afectando la lectura), protegido de la radiación del entorno por medio de un contenedor de acabado exterior reflectante, el cual a su vez permite una renovación adecuada del aire.



Figura 2 : Termómetro convencional de mercurio

2.3.2 Humedad del aire

El aire se conforma de diversos gases como nitrógeno (78%), oxígeno (21%), argón (0.9%) y dióxido de carbono (0.03%). Bajo condiciones atmosféricas normales contiene también cierta cantidad de vapor de agua, proveniente principalmente de la evaporación de mares, lagos y ríos y de la evapotranspiración del suelo y la vegetación. En ambientes cerrados habitados adquiere así mismo importancia la humedad producida por la evaporación del sudor de las personas y su respiración (Alpuche et al., 2005).

La cantidad de vapor de agua que alcanza aportar el aire varía fuertemente según su temperatura. Si el aire es caliente puede contener gran cantidad de vapor, llegando a constituir hasta 5% del volumen. Si en cambio es frío su capacidad de contener vapor es pequeña. Si se aumentara gradualmente el contenido de humedad de un volumen de aire manteniendo constante su temperatura a un punto en que el vapor comenzara a condensarse, conocido como punto de saturación, la presión ejercida por el vapor de agua sobre el aire es denominada presión de vapor (Bindon, 1965).

2.3.3 Velocidad del viento

El viento (aire en movimiento) que roza a las personas influye en la sensación térmica de dos maneras: modificando la cantidad de calor intercambiado por convección y aumentando la eficacia de la evaporación del sudor (Santamouris, 2006).

Si la temperatura del aire es menor que la de la piel la ventilación puede incrementar significativamente las pérdidas convectivas de calor. Ello ocurre porque el viento entra en contacto directo con la piel caliente al fluir alrededor de ella y porque la convección no solo depende de la diferencia de temperatura entre el aire y la superficie a la cual roza sino de la rapidez con que lo hace (ISO 7730, 2005).

Por otro lado, por efecto de la viscosidad del aire se crea una capa próxima a la piel que se mantiene adherida a ella llamada de manera genérica capa límite. Si la rapidez del aire es nula o muy pequeña esta capa se calienta hasta temperaturas cercanas a la de la piel requiriéndose cierto grado de ventilación para renovarla. En adición, en climas regularmente húmedos (HR entre 50 y 80%) dicha capa se puede saturar como consecuencia de la evaporación del sudor, requiriéndose igualmente su sustitución por aire no saturado a fin de mantener la eficacia de la evaporación. En ambientes muy secos (HR<40%) la evaporación es sumamente eficiente, por lo que la rapidez del viento tiene poca incidencia en el proceso de enfriamiento evaporativo de la piel. En ambientes muy húmedos (HR>80%) la capacidad evaporativa del aire se hace tan baja que la rapidez del viento presenta igualmente poca incidencia en el proceso evaporativo (Campbell y Norman, 1998).

2.3.4 Temperatura media radiante

Los objetos fríos o calientes que rodean a un individuo, aun sin estar en contacto directo con él, afectan de manera importante la sensación térmica. Ello se debe a que absorben o emiten radiación electromagnética, la cual al llegar a la piel se convierte en calor activando los mismos órganos sensitivos que actúan en los casos de la convección y conducción.

El intercambio neto entre dos cuerpos depende de su relación geométrica y es proporcional a su diferencia de temperatura y a su habilidad para emitir radiación. Dicha habilidad se expresa a través de una propiedad llamada emisividad, definida como la fracción de radiación emitida por un

cuerpo con referencia a la radiación que emitiría el cuerpo negro teórico de Planck a la misma temperatura, cuya emisividad es igual a 1, es decir el cuerpo negro es aquel que emite la mayor cantidad de radiación para una temperatura dada (Campbell y Norman, 1998).

El entorno radiante se puede evaluar en la práctica de manera simplificada a través de la temperatura media radiante la cual se define como la temperatura superficial uniforme de un recinto hipotético de paredes “negras” en el que se intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación que en el ambiente real considerado. Bien que se trate de un concepto derivado racionalmente, a la temperatura media radiante se le puede entender como el promedio de las temperaturas de las superficies del entorno real en la medida en que dichas temperaturas sean uniformes y tengan emisividades cercanas a la unidad. Así, en términos aproximados un determinado entorno tenderá a producir una sensación de calor si la temperatura de las superficies de los objetos que lo conforman fuese mayor que la temperatura de la piel y de enfriamiento si fuese mayor (Fanger, 1970).



Figura 3: Equipo para medir temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo y temperatura radiante

2.4 INDICES DE CONFORT

De todos los índices de confort térmico los más conocidos son la temperatura efectiva estándar (SET), el PMV (Predicted Mean Vote) cuya traducción es Voto Medio Previsto y los llamados Modelos de Adaptación. La temperatura efectiva estándar fue la base de la norma ANSI/ASHRAE 55-1981: Condiciones de temperatura para ambientes ocupados por humanos y el PMV fue reglamentado en la norma ISO 7730-1993: Ergonomía del ambiente térmico. Ambas normas han sido actualizadas varias veces, siendo en la norma ANSI/ASHRAE 55-1981 en la que se introduce una nueva manera de calcular el PMV, se le combina con la temperatura efectiva estándar y se propone un índice de adaptación para ser usando en edificaciones acondicionadas por medios pasivos.

2.4.1 Enfoques para el Confort

El estándar ISO 7730 está basado en experimentos realizados en cámaras climáticas muchos de los cuales fueron llevados a cabo en 1960. El **enfoque predictivo** combina la teoría de transferencia de calor con la fisiología de termorregulación para determinar el rango de temperaturas de confort en el cual los ocupantes de un edificio se encontrarían cómodos. Este rango es determinado por el PMV (Voto medio previsto); de acuerdo a las recomendaciones se aconseja a los constructores o diseñadores de edificios adecuar las condiciones para el confort térmico dentro de un rango muy limitado o estrecho de temperaturas derivado de los mencionados experimentos.

El **enfoque adaptativo** se basa en trabajo de campo y demuestra que las personas son más tolerantes a los cambios de temperatura que lo que demuestran los estudios de laboratorio y este enfoque destaca que las personas de manera consciente o inconsciente reaccionan para modificar y mantener un equilibrio y conservar la temperatura en el cuerpo (Darby y White, 2005).

La idea propuesta por Nichols y Humphreys (1972) es que las personas que se encuentran en un edificio y las condiciones de clima al interior dependen de su sistema regulador autónomo. Ellos fueron quienes postularon el principio adaptativo: si ocurriera un cambio que produce discomfort, la persona necesariamente modificará las condiciones a las que se encuentre para recobrar ese nivel de confort. Ese sistema regulador autónomo está formado por la parte de adaptación

fisiológica (aclimatación) y por nuestro comportamiento para adaptarnos (personal y medio ambiente). En otras palabras, el objetivo dentro de este sistema homeostático es el confort térmico (Dear, 2010).

En un estudio realizado por Katzscher (2004) en Kassel, Alemania, se realizaron diferentes mediciones de las condiciones meteorológicas a lo largo de un día y también se realizaron observaciones del comportamiento de las personas para evaluar las condiciones de confort. Cabe mencionar que el estudio se realizó en temporada de verano en condiciones de isla de calor con ventilación reducida. Según los resultados con PET y PMV junto con las observaciones del comportamiento de las personas concluyen que éste si depende de las condiciones térmicas exteriores, pero influido por la expectativa de las personas hacia el clima y de las actividades que estén realizando. Además comenta que las personas reaccionan al clima de manera objetiva de acuerdo con los índices calculados pero las sensaciones térmicas son una combinación de las expectativas individuales.

2.4.2. Índice Temperatura efectiva estándar (SET)

El índice de temperatura efectiva estándar (en inglés SET : standard effective temperature), fue concebido en los años 70 por Gagge et al., 1986 (su definición parte del índice de temperatura efectiva planteado en 1923 por Houghton y Yaglou). Se define como la temperatura de bulbo seco de un recinto uniforme ($T_a = T_r$) sin corrientes de aire y humedad relativa igual a 50% en el cual las personas, portando ropa ligera (0.6 clo) y realizando una actividad sedentaria tendrían luego de una hora el mismo intercambio neto de calor por radiación, convección y evaporación que en el ambiente real considerado (y por ende la misma sensación térmica) (Santamouris, 2006).

2.4.3. Índice PMV (Predicted Mean Vote)

El PMV es un índice propuesto por el Fanger (1972), también se le conoce como índice de Fanger y es el que se recomienda utilizar en la norma internacional ISO 7730: Ergonomía del ambiente térmico. Consiste en una compleja ecuación en la que interviene la temperatura del aire, la temperatura media radiante, humedad, rapidez del viento y otras variables, tal como se expresa en la siguiente ecuación:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot$$

$$\left\{ \begin{aligned} & (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5\,733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ & - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5\,867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ & - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \right\}$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \right\}$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl} & \text{for } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} & \text{for } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases}$$

M es la razón metabólica (W/m^2), W es el trabajo realizado por el cuerpo (W/m^2), I_{cl} es la insolación por arropamiento ($\text{m}^2 \text{ k/W}$), F_{cl} es la razón entre el área del cuerpo con la ropa y del cuerpo sin ropa, T_a es la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), T_r es la temperatura media radiante ($^{\circ}\text{C}$), V_{ar} es la rapidez relativa del aire (m/s), P_a es la presión parcial del vapor en pascales (hPa), y H_c es el coeficiente de transferencia de calor convectiva ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K})$).

2.4.4. Temperatura Fisiológica Equivalente (PET)

Es definida como la temperatura del aire en la cual la cantidad de energía de una persona en condiciones interiores se encuentra en balance con la temperatura de la piel y la razón de sudoración bajo las complejas condiciones del exterior (Gulyas et. al, 2005). Otra definición del PET es la temperatura en un ambiente en el cual se mantiene el balance de calor del cuerpo (80 W, agregado al metabolismo base y una resistencia por arropamiento de 0.9 clo) manteniendo la temperatura interna y la piel iguales bajo aquellas condiciones valoradas (Hoppe, 1999).

El PET fue introducido en los años 1980's por Hoppe y Mayer (1987). Este índice está basado en el Modelo de balance de energía para Individuos en Munich (MEMI) el que se ejemplifica para un día soleado de verano en la siguiente figura.

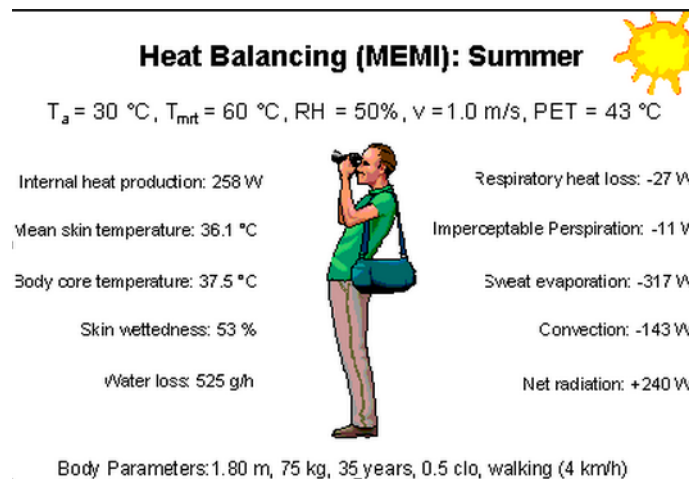


Figura 5: Balance de Calor en base al Modelo de balance de Energía de Munich

2.5. Índices de Confort Empíricos

2.5.1 Temperatura Efectiva

Uno de los más antiguos índices todavía utilizados es el Índice de Confort de Temperatura Efectiva (TE). Una sencilla formulación para estimar la TE es la siguiente:

$$TE = T - 0.4 (T-10) * (1 - HR/100)$$

En donde: TE es la temperatura efectiva en °C, T es la temperatura de bulbo seco en °C y HR, es la humedad relativa (en %). Fue propuesto por Missenard en 1937 y se trata de un índice que ha tenido una larga evolución de aportaciones, la propuesta por Gagge supone un profundo cambio, pasa a denominarse “Temperatura Efectiva Revisada” (TE*), y se trata ya de un índice de tipo racional. El índice TE se define como la sensación que se experimenta a una temperatura y

humedad dadas, con aire saturado y en calma. Es válido para un sujeto joven, sano, aclimatado al sitio, con vestimenta ligera y sometido a una actividad ligera.

2.5.2. Wind Chill

Es otro índice ampliamente utilizado es el *Wind Chill*, desarrollado por Siple y Passel (1960). Es un índice que ha recibido frecuentes críticas en sus 55 años de vida, pero que sigue siendo ampliamente revisado y utilizado, sobre todo en Estados Unidos y Canadá.

Su expresión para su cálculo es la que a continuación se detalla:

$$T_{wc} = 35.74 + 0.6215T_a - 35.75V^{+0.16} + 0.4275T_aV^{+0.16}$$

Donde T_{wc} es el índice Wind Chill, T_a es la temperatura del aire en °F, y V es la velocidad del viento en millas por hora.

2.5.3. El Humidex (Hx)

Es un índice bioclimático que pretende involucrar en una misma ecuación el efecto de la temperatura del aire y la humedad de la atmósfera. Fue propuesto en 1965 por científicos canadienses con el fin de describir cuantitativamente la percepción del clima cálido y húmedo por parte de un individuo promedio, así como para facilitar al usuario de información meteorológica la comprensión del efecto combinado de la temperatura del bulbo seco y la humedad relativa. La ecuación para obtener el Humidex (Hx) se basa en el trabajo de Masterson y Richardson de AES en 1979, (citado por Gómez et al, 2006):

$$Hx = T_a + 5/9 \cdot (P_a - 10)$$

Donde HX es el índice Humidex (°C), T_a es la temperatura del aire (°C) y P_a es la presión parcial de vapor (hPa). El Humidex ha sido utilizado principalmente para prevenir morbilidad o mortalidad de personas, sobre todo mayores de 60 años, durante los veranos extremadamente húmedos y cálidos.

2.5.4. Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT)

Este índice lleva en el nombre las variables que lo componen que son la temperatura de bulbo húmedo (T_w), temperatura de bulbo seco (T_a) y temperatura de globo (T_g); por sus siglas en inglés Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT). Ha sido ampliamente usado por ser un indicador del esfuerzo sufrido ante el calor en varias partes del mundo. Este índice fue desarrollado por la marina estadounidense como parte de estudios realizados durante los entrenamientos militares (Yaglou y Minard, 1957). La ecuación para su estimación es la siguiente:

$$WBGT = 0.7 \cdot T_w + 0.1 \cdot T_a + 0.2 \cdot T_g$$

Para condiciones de mediciones dentro de edificios, el índice se reduce a:

$$WBGT = 0.7 \cdot T_w + 0.3 \cdot T_g$$

Otros índices utilizados en mayor o menor medida son el *Modelo de Burt* (1979) y modificado por Tuller (1990), *Modelo de Menex* que es un reciente estudio en la evolución del modelo de Budyko, (1974), el *Modelo de Fanger* (1972) o los *Modelos de Auliciems y Kalma* (1979).

Una buena revisión y comparación de todos ellos, aplicada a sensaciones de frío por efecto del viento en verano, fue realizada por Tuller (1997) y en ella se muestra la existencia de notables diferencias en los resultados. Finalmente, otro de los índices empíricos sencillos con una larga evolución es el *Índice Termo-higrométrico*. Parte inicialmente del índice de discomfort, y ha recibido aportaciones posteriores (Tornero, 2006).

2.6 Revisión de estudios Bioclimáticos Internacionales

Terjung (1967), utilizó una clasificación de once pasos que fueron mostrados en 12 mapas mensuales y uno anual. Gregorczuk (1968) elaboró mapas a escala mundial para mostrar la distribución de la entalpía para los meses de enero y julio. Beal (1973) presentó el “índice windchill” (factor estremecimiento), que se refiere a la tasa de pérdida de calor del cuerpo humano por las bajas temperaturas y el viento. Este índice incluye factores de aislamiento de la ropa, generación de calor metabólico y radiación solar. Su principal ventaja es que se correlaciona

directamente al confort o discomfort humano. Chowdhury y Ganesan (1981) aplicaron el método de Terjung para representar la distribución anual de estrés, estrés acumulado proporcional y regímenes fisiológicos anuales en la India. Sanchez (1986), mencionó que el estudio de confort humano en ciudades situadas en los trópicos debe empezar con análisis de los factores que determinan el bienestar térmico y climático; la carencia de confort térmico supone muy diferentes proporciones dependiendo de si el asentamiento es rural o urbano, y en el último de los casos, del tipo específico de asentamiento. Bründl y Höppe (1984), a partir de información en dos lugares de medición realizaron una evaluación comparativa del bioclima del centro de Munich y la periferia. La evaluación, que está basada en valores horarios de la temperatura equivalente y el consumo por calefacción para el año de 1982, indica un efecto de clima favorable de la isla urbana de calor de Munich, excepto para Junio y Julio. Givoni (1986), mencionó que en el contexto de confort en climas cálidos hay al menos dos causas separadas e independientes de discomfort, por un lado, la sensación térmica de calor excesivo y, por otro lado, el discomfort resultante de piel húmeda; estos dos tipos de discomfort son causados por diferentes factores ambientales y los “remedios” pueden ser diferentes. Nieuwolt (1986), comentó algunos métodos de planificación, urbanistas y arquitectónicos, para contribuir a la reducción de discomfort climático en ciudades cálido-húmedas; dice que esto no sólo ayudará a reducir demandas de energía por ventiladores y sistemas de aire acondicionado, sino también mejorará el ambiente urbano por las diversas actividades humanas efectuadas en los exteriores de estos climas. Balling y Brazel (1986) analizaron los índices de estrés del verano para Phoenix, Arizona. Se encontró que los niveles de estrés atmosférico para el período nocturno se están incrementando rápidamente. Estos crecientes niveles de discomfort son el resultado de un abrupto incremento en las temperaturas nocturnas. Los cambios en los patrones locales del uso de la tierra son aparentemente responsables de las tendencias encontradas en la temperatura, la humedad atmosférica e índices de estrés atmosférico. Szokolay (1986), presentó un método en el análisis de pre-diseño, para evaluar el clima, estableciendo la tarea de control térmico, y seleccionó las técnicas apropiadas de control pasivo. La carta psicrométrica se usó como la base y el término *zona de control potencial* es introducido para describir el rango de condiciones atmosféricas exteriores dentro del que el confort en interiores

podría ser alcanzado por las varias técnicas de control pasivo. Mayer y Höppe (1987) realizaron medidas biometeorológicas simultáneamente en tres diferentes estructuras urbanas en la ciudad de Munich y en un espacio cercano a un bosque de abetos. Basados en estos resultados se calcularon los siguientes índices biometeorológicos: voto medio predicho (PMV), sudoración de la piel y temperatura fisiológicamente equivalente. Los resultados cuantitativamente muestran el gran estrés de calor en la estructura urbana “callejón, expuesto al sur”, mientras que en el “espacio del alto bosque de abetos”, hay casi un clima óptimo, aún en días calurosos de verano. Entre estos extremos, los resultados para “callejón, expuesto al norte”, mostraron una carga calórica ligeramente mayor, que para “patio con árboles”. Pepi (1987) propuso el “Summer Simmer Index”, el cual parece ser un mejor indicador de las condiciones de confort en climas cálido secos, partiendo de la temperatura efectiva, pero no en condiciones saturadas, sino con un dato de humedad relativa de 10%. De Dear y Leow (1990) evaluaron las condiciones climáticas en interiores en una muestra de 214 pisos en un desarrollo urbano residencial de Singapore, conocido como “nuevos pueblos”. También, una muestra de 583 habitantes fueron entrevistados acerca de sus experiencias de confort térmico. Balances de calor separados, cuerpo-medio ambiente fueron estimados para cada habitante y estos datos sirvieron de entrada al modelo matemático PMV de confort térmico. La temperatura operativa preferida por los habitantes fué alrededor de 1°C más frío que el valor medio de 29.6°C registrado en sus pisos. Sin embargo, su temperatura preferente, empíricamente derivada, fue alrededor de 2°C más caliente que el valor predicho por el modelo PMV y los estándar ISO. Los procesos de acimatación fisiológica y la habitual percepción se adelantan como posibles explicaciones para la discrepancia entre la teoría de confort de clima templado y la respuesta humana actual en los trópicos. Park y Kawamura (1991) presentaron una clasificación de bioclimas durante el monzón asiático, usando el índice de incomodidad de Kawamura. Encontraron que en los meses más cálidos las áreas tropicales, y las del centro y sur de China, son incómodas para los humanos durante el día y la noche, y las zonas templadas en bajas altitudes son incómodas durante el tiempo diurno. Jáuregui (1991), hizo una revisión de mapas fisioclimáticos del ambiente tropical a escalas global, regional y local. A la escala global la carga calórica más alta está localizada estacionalmente en las ciudades áridas subtropicales. Altas

condiciones bochornosas (calor y humedad) prevalecen durante todo el año en las ciudades ecuatoriales. En la mayoría de las áreas interiores de los trópicos, las áreas urbanas con estaciones y días húmedo/secos son estacionalmente cálidos o bochornosos, mientras que las noches pueden ser frías o tolerablemente templadas. En algunos climas tropicales de montaña (altitudes entre 1600 y 1900 msnm), el estrés debido al calor o al frío es mínimo. Desde el punto de vista de confort humano el bioclima en estas ciudades podría aproximarse al ideal (en la sombra). Se debe tener en mente, sin embargo, que aún en estos climas, para una persona que camina en una calle al mediodía, el confort se reduce drásticamente por los altos niveles de radiación solar. Grätz *et al.* (1992) utilizaron un modelo urbano unidimensional MUKLIMO1, que suministró resultados plausibles respecto a las condiciones de estrés por calor. Se observó que es posible comparar estructuras morfológicas dentro del complejo urbano, así como entre diferentes ciudades, por lo que aportan consejos para zonas problemáticas desde el punto de vista de la biometeorología. Miranda (1993), propuso determinar un índice de confort a partir del cálculo del intercambio neto de calor del cuerpo humano con sus alrededores, y menciona que la concordancia en las temperaturas de confort obtenidas por otros medios y las calculadas a partir del propuesto son similares, por lo que, el suponer a un hombre de pie como un cilindro vertical para la determinación del intercambio calorífico con sus alrededores constituye una buena aproximación. Auliciems (1993), analizó escenarios de calentamiento global con respecto a las respuestas humanas homeotérmicas. Se discutieron las adaptaciones térmicas al confort a cambios estacionales de temperatura, y se identificaron patrones globales de “ganadores” y “perdedores”. En general, los ganadores parecen estar en poblaciones, al norte y al sur, de la isoterma actual de 25°C, en verano e invierno, mientras que los perdedores se ubicaron en las áreas en desarrollo. Jendritzky y Grätz (1993) desarrollaron un modelo de bioclima urbano para cumplir las necesidades de varios usuarios. El principio de aproximación es el de que la temperatura del aire, humedad, velocidad del viento y los flujos de radiación de onda corta y larga, determinan el intercambio de calor del cuerpo humano dentro de un área urbana, y estas dependen de: (1) el uso de la tierra, (2) interacciones entre estructuras cercanas, y (3) la topografía (escala local). El primer problema se puede resolver por medio de ecuaciones de regresión con datos de planeación como variables

independientes, que son derivadas de simulaciones usando el modelo MUKLIMO1. Las interacciones y la influencia local de la topografía es tratada usando un número de aproximaciones, parcialmente físicas y parcialmente empíricas. El procedimiento total requiere un Sistema de Información Geográfico (SIG) de alta resolución (distancia de rejilla de 10 m) con datos de planeación, que son rápidamente disponibles a planificadores urbanos. Blazejczyk *et al.* (1993) compararon diferentes métodos para la estimación de carga de calor solar sobre el hombre. La comparación comprendió varios métodos basados en el cálculo de radiación solar absorbida y un método para el cálculo de temperatura media radiante. Se llevó a cabo un análisis de regresión para valores predichos y calculados para un cilindro vertical, suponiéndolo como un modelo análogo de un hombre de pie. La regresión de la temperatura media de la piel, medida en 10 sujetos expuestos a la radiación solar bajo una variedad de condiciones climáticas, sobre la carga de calor radiante predicho también fué analizado. La temperatura media de la piel se correlacionó mejor con la *temperatura media radiante*, explicando más del 50% de la varianza. Los resultados indicaron que los tres métodos proveen una estimación real de la carga de calor radiante, mientras que algunos métodos muestran desviaciones de varios ciento por ciento. Swaid *et al.* (1993), describieron el desarrollo de una metodología de diseño urbano bioclimático para Tel Aviv. El modelo de agrupación de constante de tiempo térmico para predecir las variaciones de temperatura del aire urbano a nivel de la calle, es acoplado con la ley de potencias del perfil de viento y el índice de estrés térmico para el confort humano. Los requerimientos de confort térmico para personas ligeramente vestidas, con actividad de oficina, o caminando moderadamente, en el espacio exterior, durante el verano, son obtenidos usando el índice de estrés térmico. La metodología propuesta permite una evaluación de primer orden de las implicaciones climáticas de diferentes rasgos de la estructura física de la ciudad, tal como orientación de la calle, relación de callejones altura/ancho, densidad de la construcción y sombreado de la calle. Jendritzky (1995) comentó que las medidas de campos meteorológicos en la capa límite exigen mucho tiempo y existe un problema de muestreo. Transferir estos resultados a otros lugares es difícil. Por tanto, se debe hacer un uso mayor de la modelación numérica, por ejemplo, la aplicación de MUKLIMO. El acoplamiento de modelos de capa límite con modelos de balance de energía del ser humano,

fisiológicamente significantes, como se hace con UBKLIM, muestra el valor de tal aproximación. Las condiciones atmosféricas, actuales y futuras, se simularon como una función de las variables de planeación que describen la estructura del asentamiento. La información puede ser usada por planificadores urbanos, autoridades, profesionales de la salud, y otros tomadores de decisiones en el área de protección ambiental para reducir los efectos negativos del clima alterado por la presencia de las ciudades. McGregor (1995), evaluó los bioclimas actuales de las islas del Pacífico sur y ecuatorial oeste; usó los conceptos de temperatura efectiva y estrés relativo como base para evaluar probables cambios en los regímenes de confort humano como consecuencia del calentamiento global. Los bioclimas actuales se consideraron como marginalmente estresantes para poblaciones indígenas. Yan y Oliver (1996) revisaron varios índices para evaluar el confort humano bajo varias condiciones atmosféricas. En Estados Unidos, los índices más ampliamente usados por los medios de comunicación, son el factor estremecimiento (windchill) para condiciones frías y el índice de calor para condiciones cálidas; ambos proveen medidas de condiciones instantáneas y son útiles como guías de estrés atmosférico. Se incorporó el *clo* que es una medida de confort, provee una indicación del ropaje requerido bajo un conjunto de condiciones climáticas; el *clo* expresa la resistencia a la transferencia de calor por la ropa y se expresa en unidades de aislamiento térmico. Para demostrar su valor potencial, se suministraron guías de guardarropa para los Estados Unidos, Europa y Australia. En América Latina destacan los trabajos de Bravo y González Cruz de 1998 a 2001, las investigaciones recopilan cinco estudios de campo realizados en Maracaibo con clima húmedo, las variables a estudiar fueron temperatura del aire, temperatura de globo negro, humedad relativa y velocidad del aire, se aplicaron encuestas basadas en la norma ISO 10551 y se aplicó un modelo de regresión. Ye et al. (2003) propone una nueva aproximación para medir el Voto Medio Predicho (PMV) y la Temperatura Efectiva Estándar (SET) encontrándose que la simulación da buenos resultados para el PMV, sin embargo para el SET se necesita continuar trabajando para mejorar su precisión. Indraganti (2010) utilizó el enfoque adaptativo en edificios de apartamentos con ventilación natural en India encontrando que la banda de confort se sitúa entre 26 y 32.45 °C, y la temperatura preferida (neutral) de sus moradores es de 29.45 °C. Indraganti y Rao (2010) estudiaron las respuestas térmicas por grupo

económico, de edad y género, durante el monzón de la India a 100 sujetos, encontrándose que el nivel económico de los entrevistados tiene un efecto significativo en la sensación térmica, preferencia, aceptación y neutralidad. Nastos y Matzarakis (2011) investigaron la asociación entre la mortalidad diaria, en una región de Atenas, Grecia, y las condiciones térmicas; para evaluar el grado de estrés fisiológico se utilizó el PET y el UTCI, encontrándose que las excedencias de la mortalidad están en íntima relación con las condiciones muy calientes de las escalas de ambos índices utilizados. Lin et al. (2011) estudiaron en exteriores el efecto de la adaptación térmica en el confort térmico estacional en Taiwan mediante la temperatura efectiva estándar (TES); y encontraron que la temperatura de los sujetos entrevistados y la insolación estuvieron altamente correlacionados con la TES en las estaciones cálida y fría del año. Mohan et al. (2014) propuso una metodología para evaluar el confort y provee un método más racional, a decir del autor, para la ponderación relativa de cinco ciudades en la India que pudiera ser usada para turismo y demandas de energía. Tal método está basado en el Índice de confort propuesto por los estándares de la Asociación Americana de Ingenieros en Calefacción y Aire Acondicionado. Urban y Kyselý (2014) compararon el UTCI con otros índices térmicos: temperatura del aire (T), temperatura aparente (TA) y temperatura fisiológicamente equivalente (TFE) para evaluar los efectos del calor y el frío en la mortalidad cardiovascular en la República Checa; se encontró que la T y la TA parecen ser predictores más universales que el UTCI en la mortalidad relacionada con el calor y el frío, tanto en ambientes urbanos como rurales.

2.7 Estudios Bioclimáticos en la República Mexicana

Jáuregui (1964) evaluó el ambiente térmico en dos locales de México, D.F. utilizando el concepto de temperatura efectiva; concluyó que los locales que reciben un asoleamiento suficiente, por estar orientados hacia el sur, no requieren de calefacción o enfriamiento por medios mecánicos, mientras que los locales con ventana hacia el norte tienen comodidad óptima tanto en los meses calurosos (marzo-mayo) como durante la estación lluviosa, mientras que en el invierno la comodidad ya no es la mejor. Jáuregui (1965), en un estudio realizado para el Valle de México mencionó que aún en los meses calurosos, el Índice de Incomodidad (II) se mantiene por

abajo del valor crítico, debiéndose a que las temperaturas elevadas se registran precisamente cuando el aire es seco, en los meses anteriores al comienzo de lluvias; dice también que habrá casos en los que se sienta incomodidad en los meses de calor aún con un II inferior a 48°C si, p.e., la ventilación es deficiente, si el local está excedido de personas, si hay paredes soleadas irradiando calor hacia el interior o si los rayos del sol penetran directamente por los ventanales, puesto que las temperaturas con las que se calcula el II se toman en un abrigo bien ventilado libre de la radiación. Soto (1967) estudió la distribución espacial del confort en la República Mexicana, describiendo las condiciones bioclimáticas del país, utilizando la temperatura de bulbo húmedo y el índice de incomodidad (II) de Sohar el cual incluyen dentro del diagrama psicrométrico de Landsberg para indicar la zona de confort del II. Jáuregui (1990) presentó una valuación bioclimática para la República Mexicana, utilizando el concepto de Temperatura Efectiva propuesto por Missenard, y representa las condiciones ambientales, de los meses de enero y julio, para dos horas de interés: al final del período de enfriamiento nocturno (6 a.m.) y cuando ocurre la máxima temperatura (14 hrs.). Fernández y Morales (1996), presentaron una metodología a partir de la realización de un análisis bioclimático, que al ser integrado a los requerimientos arquitectónicos de un proyecto, permitió establecer la estrategia de diseño a seguir. Rodríguez et al. (1996) evaluaron y compararon las temperaturas de bulbo seco en dos períodos, para la ciudad de México, con lo que se tiene una mejor idea del número de horas en que se tienen condiciones de confort. Canto y Pérez (1996) presentaron la evaluación en términos de confort de los promedios horarios mensuales de los registros de temperatura y humedad de un período de cinco años, y con base en ello, propuestas de ajustes a las estrategias de diseño recomendables para el trópico subhúmedo, con el fin de adecuarlas para la ciudad de Mérida, Yucatán. Sandoval y Givoni (1996), presentaron las condiciones de confort en una casa habitación sujeta a un experimento de enfriamiento pasivo en la ciudad de Colima, condiciones que se determinan utilizando los resultados del registro de temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo, medidos en diferentes sitios de la misma casa, y graficándolos en una carta psicrométrica en la que se despliega la zona de confort según Givoni. Se concluye con una opinión sobre la factibilidad del sistema de techo-estanco para producir condiciones de confort en el interior de casas habitación bajo condiciones

climáticas que sean similares a las de la ciudad de Colima. Jáuregui et al. (1997), evaluó las condiciones bioclimáticas para una gran área urbana localizada en las altas tierras tropicales del centro de México usando los índices de temperatura resultante y temperatura efectiva. El bien desarrollado efecto de la isla de calor que la ciudad genera, reduce el número de noches frías a frescas. La mayoría de los días caen en el rango de frescas a frías, y durante la estación cálida (abril a junio), el bioclima de la ciudad de México está mayormente dentro del rango de confort. Una evaluación del ciclo diurno de condiciones bioclimáticas en el centro de la ciudad de México por medio de dos índices empíricos (temperatura efectiva y termopreferendum) a través de los años dió resultados similares a aquellos obtenidos de la aplicación del modelo del voto medio predicho (PMV) de Fanger. García Chávez et al. (1998), plantearon diversas alternativas constructivas de bajo costo, orientadas, por una parte, a coadyuvar a solucionar el grave problema habitacional que existe en México, y por otra, a contribuir al logro de condiciones óptimas de confort ambiental, con el menor consumo de energía posible, lo cual eventualmente contribuirá a mejorar las condiciones del medio ambiente. Verdugo y Morrillón (1998), presentaron un estudio del bioclima de Los Mochis, Sin., mediante el cual se brindan recomendaciones para el diseño arquitectónico y urbano, así como los ángulos óptimos para el diseño de las protecciones solares por orientación; además de analizar y discutir sobre la herramienta que representa el diseño bioclimático para el quehacer arquitectónico, considerando que aproximadamente el 60% del país presenta condiciones de clima cálido. Corral (1998) presentó un proceso de diseño arquitectónico basado en métodos de análisis de viento y asoleamiento aplicado a una vivienda turística en San Felipe, B.C., con lo que demuestra la importancia de aplicar métodos prácticos de análisis climático que brinden un conocimiento más preciso del clima local en regiones desérticas. Angulo-Córdova et al. (2004) utilizó la Temperatura Efectiva para comparar el bioclima humano en dieciséis localidades del estado de Tabasco. Aplicó el criterio de Wakely que se basa en la oscilación térmica media anual de la temperatura del aire para determinar el intervalo de confort y construir la escala de sensaciones térmicas. La Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) financió un proyecto de confort térmico en vivienda bajo la responsabilidad de Gómez-Azpeitia desarrollado en 2007. Se analizaron climas cálidos húmedos, cálidos sub-húmedo y cálidos secos. Las variables analizadas fueron:

temperatura del aire y humedad relativa, actividad metabólica y nivel de arropamiento. El análisis de datos se hizo por el método de intervalos de sensación térmica. Se desarrolló también por parte de Gómez Azpeitia y Ruiz-Torres un estudio de confort térmico por correlación en el año 2006. Se aplicaron encuestas y se consideraron variables como la temperatura media y la neutra, temperatura del aire, temperatura de globo negro, velocidad de viento y humedad relativa, actividad metabólica, sexo, edad y nivel de arropamiento. Ruiz et al. (2010) realizaron un estudio de evaluación del confort térmico en los meses de Marzo a Mayo, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, que posee un clima subhúmedo; se realizó al interior de una vivienda de interés social con 4 personas de una familia siendo ellos mismos quienes llenaron las encuestas; se aplicó el modelo adaptativo de Humphreys y Nicol (2000), la zona de confort propuesta por Olgyay (1963) y la percepción de los involucrados de acuerdo a la norma ISO 10551. El objetivo fue determinar la diferencia sobre los modelos utilizados y el estudio de campo. Los resultados reafirman los principios del enfoque adaptativo, que muestra que las personas tienen diferentes preferencias de confort de acuerdo a las condiciones ambientales que experimentan y permitirá a futuro obtener parámetros de confort local para el diseño arquitectónico, orientado al ahorro energético y otros recursos. Nuevas variables como el grado o nivel de acceso a los controles de temperatura de un lugar o la capacidad existente para que las personas que se encuentran en un lugar abran ventanas o utilicen ventiladores son una señal de que cierta reconciliación está tomando lugar en cuanto al estándar 55 de ASHRAE en el que se describen las condiciones de temperatura para ambientes ocupados por humanos para tolerar variaciones de temperatura más amplias en edificios ventilados de manera natural (Darby y White, 2005).

2.8 Estudios Bioclimáticos en Mexicali, B.C., México

Varios estudios realizados localmente en torno a este tema, independientemente si han sido orientados bajo la concepción de adaptativos o predictivos, serán comentados brevemente. García-Cueto *et al.* (1987), realizaron una valuación preliminar del bioclima de Mexicali, B.C., concluyendo que de acuerdo a los índices de temperatura resultante e índice de temperatura-humedad, las personas no aclimatadas, perciben el calor desde el mes de abril hasta el mes de

octubre, y las aclimatadas de mayo a septiembre, dependiendo de la hora del día. Valdés y García-Cueto (1988), investigaron el efecto de la temperatura sobre el consumo de energía eléctrica a nivel residencial en la ciudad de Mexicali, B.C., encontrándose una semejanza entre la variación mensual del consumo de energía eléctrica y la cantidad de grados día enfriamiento. García-Cueto y Valdés (1988), diagnosticaron la importancia relativa que tienen los elementos climáticos, mediante una evaluación bioclimática de acuerdo al procedimiento de Olgyay, ajustado a la situación geográfica de la localidad; posteriormente, este análisis bioclimático se traslada a una carta anual en la que se observó la distribución temporal y espacial de las necesidades climáticas para restaurar la zona de confort. Vázquez (1988), estudió el efecto de cubrepisos en las temperaturas del subsuelo, e indicó que estos efectos de enfriamiento pueden integrarse a estrategias de diseño arquitectónico en ciudades de clima cálido seco, como Mexicali, por medio de sistemas pasivos y activos. Cubillas (1988), al medir el comportamiento térmico de una vivienda, encontró que la cubierta representa un total del 74% de la ganancia de calor que se transmite como flujo al interior de la vivienda, sin embargo, menciona que es importante no descuidar el análisis de transferencia de calor en los otros elementos que componen la membrana arquitectónica. Morales (1988), con la finalidad de lograr ambientes confortables en las construcciones y ahorrar energía, indicó que se realizaron acciones en algunas viviendas incrementando los valores de resistencia térmica en ciertas partes del edificio, logrando reducciones promedio de 35% global y 60% mensual individual de consumo de energía eléctrica en época de verano. Acuña *et al*, 1988, mediante un proceso de diseño denominado “patrones bioclimáticos”, trató de obtener una optimización de recursos y confort en base a una serie de conductas constructivas, económicas y culturales de la ciudad de Mexicali, B.C. y su comunidad. Gallegos y Vilchis (1989), después de describir las medidas de adecuación en una vivienda de interés social en Mexicali, B.C., indicaron que las medidas adoptadas pueden representar hasta un 30% de reducción en la demanda de energía necesaria para el mantenimiento de las condiciones de confort. Comparán (1989), define en base al diseño de espacios abiertos, las diferentes zonas de confort según la actividad que desarrolla el individuo y así permitir que los diseños sean más acordes con el confort humano; asimismo propuso estrategias de diseño en cuanto a la utilización

de vegetación para generación de microclimas en espacios abiertos. Peña (1989), evaluó el aislamiento térmico en casas ya construidas y concluyó que las espumas de poliestireno, poliuretano y la fibra de vidrio deben utilizarse como aislamientos exteriores con el fin de conservar fresca la envolvente de las viviendas, pero indicó también que el aislamiento de la construcción es sólo una parte del proceso de ahorro energético en el cual también participan los materiales y técnicas constructivas propias para la región, por lo que el problema debe abordarse bajo la luz de los patrones de diseño bioclimático, así como el de información y orientación a los usuarios. Venegas (1989), realizó un planteamiento sobre el discomfort que representa tener vegetación de tipo tropical en climas cálidos secos, como la ciudad de Mexicali, B.C., ya que por sus altos consumos de agua, supone que hay mayor contenido de humedad relativa en la atmósfera, y esto, aunado a las altas temperaturas, ocasiona mayor incomodidad. García-Cueto (1989), realizó un análisis de los factores climáticos locales de radiación solar, viento y su relación con la temperatura para definir la “mejor” orientación de las construcciones, con el propósito de ahorrar energía y satisfacer necesidades de confort ambiental, concluyendo que una exposición 13° al este del sur asegura una orientación balanceada, pero todas las orientaciones desde el sur, hasta 30° este del sur son buenas. Romero (1994), mencionó que en ocasiones con la adecuación ambiental, específicamente, con el tratamiento de la envolvente arquitectónica, se podrán solamente mejorar las condiciones ambientales del espacio y quizá tender al confort, sobre todo en aquellos casos en que la vivienda utiliza sistemas humidificadores de enfriamiento (cooler) como sistema de acondicionamiento ambiental, sin embargo, no se ahorra energía por este concepto, además de que el nivel de confort no es el adecuado en condiciones extremas de verano. Jaureguí (1988), evaluó el estrés por calor durante eventos de polvo utilizando el concepto de temperatura efectiva (TE); la TE para Mexicali, B.C., cuando soplan los vientos polvosos es de 27°C a 35°C, y las condiciones bioclimáticas descritas rebasan con frecuencia los límites de tolerancia según el criterio de la TE. Rodríguez (1998) continuó la idea del comportamiento bioclimático del patio como elemento tipológico arquitectónico, aplicado a la ciudad de Mexicali, B.C.; se simulaban ciertas características arquitectónicas del patio, y se presentó un análisis bajo esas condiciones climáticas, con lo que se establecieron recomendaciones generales de diseño y uso bioclimático

del patio. García-Cueto et al. (1998) evaluaron el confort bioclimático de Mexicali, B.C., y se comparó con otras ciudades cálidas de la República Mexicana, bajo varios escenarios bioclimáticos: temperatura efectiva, en dos versiones, entalpía y el índice de esfuerzo frente al calor; se propuso que este último índice sea el que se utilice para lugares con características climáticas similares a Mexicali. Uno de los estudios más completos, realizados hasta el momento es el realizado por Bojórquez (2010) donde se menciona el efecto de la temperatura del aire, radiación solar, velocidad de viento y humedad relativa en el confort térmico del usuario de espacios exteriores, con diferentes niveles de actividad en clima cálido extremoso de la ciudad de Mexicali.

2.9 EL CONFORT TÉRMICO Y LA URBANIZACIÓN

Los estudios de confort térmico en exteriores han sido necesarios en la actualidad ya que el proceso de urbanización ha destruido y acabado con las áreas verdes modificando el microclima urbano. La modificación más importante por efecto de la urbanización son las temperaturas más elevadas en la parte central de las ciudades dando lugar a un sitio más cálido o isla de calor que decrece en la periferia. Esta isla de calor podría definirse como el calor generado en un ambiente urbano por efecto de la acción del hombre (Capelli, 2005)

Las ciudades son fuente permanente de generación de calor debido a las actividades industriales y comerciales de sus habitantes, a los sistemas de calefacción y refrigeración y al uso de los vehículos de transporte. Los materiales de construcción utilizados en los edificios, calles y avenidas tales como cemento, ladrillos, hierro, conducen más rápidamente el calor que la tierra húmeda o arenosa o la cubierta herbácea de la superficie. Durante el día los materiales rígidos absorben y almacenan el flujo de calor en tanto que durante las horas de la tarde y por la noche liberan el calor dando lugar así a una fuente adicional de energía que se incorpora a la atmósfera urbana.

El tema de la isla de calor es el más utilizado por la climatología urbana desde su descubrimiento por Luke Howard (1772-1864) quien editó el primer tratado monográfico sobre el clima de las ciudades. Lo más destacable de su obra publicada en 1820 es el haber descubierto que la ciudad se presenta más caliente que el campo y para ello registró las diferencias de las

temperaturas medias mensuales entre el centro de la ciudad y el área rural. De este modo comprobó la existencia de la isla de calor que él atribuyó al uso intensivo de los combustibles de esa época: carbón y leña (Capelli de Steffenes, 2005).

Respecto a este tema Mayer y Hoppe (1986) realizaron un estudio aplicando el enfoque predictivo (PMV, humedad de la piel, PET) donde demostraron que las personas se sentían estresadas por el calor si se encontraban cercanas a una estructura o edificación, mientras que en los espacios verdes no se experimentaba esta sensación ya que el clima se percibía como óptimo aun estando en verano.

En específico en las ciudades, los estudios de confort y climatología urbana tienen una especial relevancia al momento de planear, es importante mencionar que debe diferenciarse entre la complejidad que hay en la calidad de aire de una ciudad y el componente térmico urbano. El aire de una ciudad depende de las emisiones así como de la composición química. El componente térmico incluye a todas las energías que fluyen en la ciudad (Mayer y Hope, 1986).

3.0 Investigaciones actuales sobre el confort térmico y la utilización de un Índice Universal

En la conferencia Windsor (2010) se mencionó que es necesaria una modificación y revisión detallada de los estándares actuales. En dicha conferencia destacaron las participaciones de los expertos en el tema de *confort térmico* que mencionaron cómo los habitantes en zonas de temperaturas extremas han sabido modificar y adaptarse a las condiciones del clima enfatizando que en cada persona reside la actitud o disposición a sentirse cómodos respecto al clima.

Destaca un estudio realizado por Shahin Heidari de la Universidad de Tehran en Irán, en el que ha demostrado con trabajos llevados a cabo durante 10 años en diversas ciudades de Irán que las personas alcanzan niveles de confort en altas temperaturas cuando se encuentran en el interior de un lugar aunque los estándares actuales mencionen que no es posible, es decir esas condiciones de confort son alcanzadas aun cuando las personas no cuentan con refrigeración. Se ha encontrado también una pequeña diferencia entre el grado de confort de las personas que están acostumbradas a vivir en un estilo de vida tradicional a las que lo hacen con un estilo de vida más

moderno. Durante estos diez años, Heidari ha realizado numerosas encuestas para conocer la percepción de los habitantes de Irán en quince diferentes ciudades, 7 de ellas con clima extremadamente árido y caliente, 2 de ellas con clima frío y 6 con condiciones de humedad y calor extremos; según su experiencia, todas las personas pueden alcanzar un grado de confort térmico si así lo desean, y así mismo apoya la idea de que cualquier persona puede sentirse cómoda si se encuentra en condiciones de 30 °C de temperatura, y si esta persona saliera de su ciudad natal y viajara a otra estando a los mismos 30 °C no sentiría el mismo grado confort ya que hace falta que esta persona se adapte a las costumbres y a la manera de vestir de esa ciudad para lograr el grado de confort.

Los índices ya conocidos han demostrado varias limitaciones en cuanto al estado fisiológico de las personas, y también hay limitaciones en cuanto a la aplicación de ciertos índices según el uso que pretenda darse a la información, ya sea para fines informativos de tipo turístico o alertas de clima, o para guiar el diseño de espacios. Muchos de estos índices fueron desarrollados bajo ciertas condiciones guiadas con cámaras climáticas o estudios donde las personas fueron seleccionadas previamente por lo que la aplicación de esos índices se adapta difícilmente a otras condiciones.

Es por ello que surge la necesidad de desarrollar un índice más versátil y que pueda aplicarse a diferentes condiciones y que sea universal. Así es que Höppe expresidente de la ISB (Sociedad Internacional de Biometeorología, por sus siglas en inglés) decide reunirse con investigadores de 23 países de la COST Action 730 (Cooperación en Ciencia y Desarrollo Técnico, por sus siglas en inglés) que integraron sus conocimientos para establecer un índice internacionalmente aceptado basado en el progreso científico de las últimas cuatro décadas relacionado a las respuesta del ser humano aplicando un modelo termo-fisiológico.

El objetivo es que el Índice de Confort Térmico Universal (UTCI, por sus siglas en inglés) sea utilizado en diferentes climas y que la información tenga diversos usos tales como: planificación urbana y diseño de espacios recreativos y como información para alertar a la población y servicios públicos sobre las condiciones de clima extremo que representen un riesgo para la salud. Las principales características que cumple el índice es que tiene aplicación termo-fisiológica en diferentes rangos de intercambio de calor de los diferentes ambientes térmicos existentes, es

válida en todos los climas, temporadas y escalas y es de utilidad en aplicaciones clave de biometeorología humana.

En cuanto al modelo termo-fisiológico el UTCI se basa en un modelo de intercambio de calor cuerpo-ambiente Fiala, este modelo simula la transferencia de calor tanto dentro del cuerpo como de su superficie tomando en cuenta las propiedades anatómicas, térmicas y fisiológicas del cuerpo humano (Fiala et al., 2001). La pérdida de calor de las partes del cuerpo con el ambiente está considerada en este modelo tomando en cuenta la distribución de temperaturas no homogénea y la respuesta termo-regulatoria del cuerpo. Además de las variables termo-fisiológicas, los modelos multi-segmentales son capaces de predecir características locales tales como la temperatura de la piel de partes individuales del cuerpo (las cuales son variables críticas en el riesgo de congelamiento y daño de la piel). La validación ha demostrado que los modelos multinodo reproducen la dinámica del comportamiento térmico sobre un amplio rango de circunstancias. En la figura 6 presenta un esquema del modelo descrito.

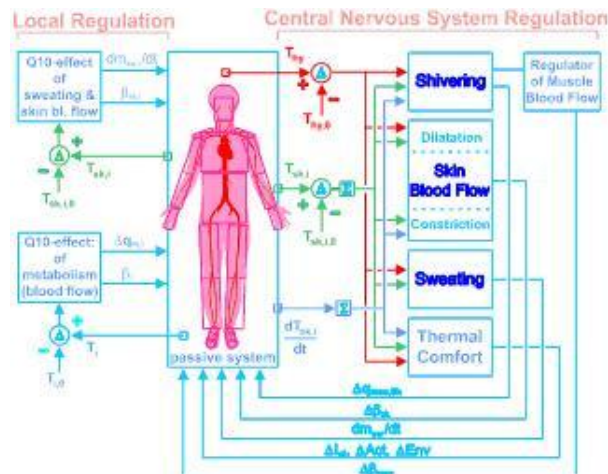


Figura 6. Representación esquemática del modelo de termorregulación humana Fiala Fuente Instituto de Ingeniería y Desarrollo Sustentable, Universidad Montfort

CAPÍTULO III. METODOLOGIA

Para estudiar el confort térmico en este trabajo de investigación, fue necesario hacer una revisión de los modelos existentes, tanto predictivos como adaptativos, ya mencionados en el capítulo de marco teórico. En el presente capítulo se explican cuáles fueron los periodos de estudio elegidos para el trabajo de campo, las unidades a estudiar y el lugar seleccionado dentro de la ciudad para realizar el estudio, también se detalla en que consiste el cálculo del UTCI elegido para este trabajo, posteriormente se describe el equipo seleccionado y el cuestionario aplicado haciendo una revisión detallada de cada parte de la encuesta, así como la base de datos creada para la captura y todo el proceso que se realizó, desde la aplicación de la encuesta, la recopilación y captura de los datos obtenidos. Finalmente se muestran los cálculos obtenidos con el UTCI y el procedimiento para analizar los resultados.

3.1 Determinación de los periodos de estudio

Debido a que el presente estudio es en relación al confort térmico humano es recomendable recabar datos de campo de temporadas representativas de la localidad. Para ello se determinó realizar la aplicación de encuestas y monitoreo de variables climáticas en dos temporadas: invierno y verano. La aplicación de encuestas del período de temporada de invierno fue llevado a cabo en Febrero del 2011 utilizando el enfoque de adaptación de confort térmico de acuerdo a la escala de sensaciones percibidas de ISO 10551:1995 además de monitorear las variables climáticas a lo largo del día. La aplicación de encuestas del período de temporada de verano fue llevado a cabo a inicios de Septiembre del 2013 utilizando también el enfoque de adaptación de confort térmico de acuerdo a la escala de sensaciones percibidas.

La selección de los períodos de estudio se realizó tomando en cuenta la variable fundamental que es percibida por toda la población para decidir si tiene calor o frío, y en casos excepcionales, sentirse cómodo con las condiciones ambientales exteriores de Mexicali. Esta variable criterio fue la temperatura del aire. En la figura 7 se observa que los meses de junio, julio, agosto y septiembre son los meses más críticos de la temporada cálida y los meses de diciembre, enero y febrero los más críticos de la temporada invernal. La temperatura media de la estación de

verano es de 34 °C, la temperatura máxima alcanza los 41°C con días más extremos, mientras que en la estación de invierno la temperatura media es de 13°C, y la temperatura mínima es en promedio de 7°C.

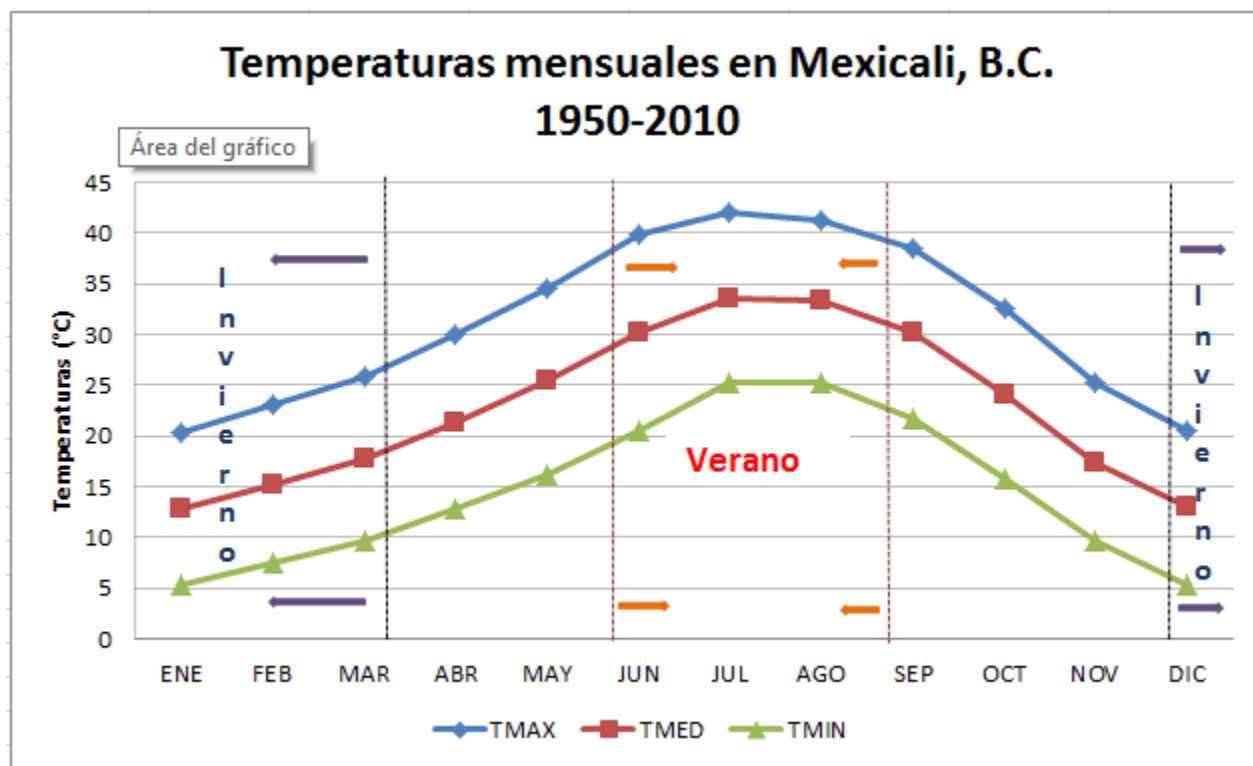


Fig. 7 Gráfica de temperaturas mensual de la ciudad de Mexicali, B.C., diferenciando estaciones de verano e invierno
Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión Nacional del Agua

3.2 Selección de áreas exteriores para estudio y elección de sujetos a participar

La selección de los sujetos para análisis se realizó utilizando el muestreo aleatorio en el que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser elegidos tomando como población de estudio los estudiantes universitarios de ambos sexos, particularmente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). La población de la Facultad de Ingeniería es de alrededor de 4500 alumnos, y oscilan entre un rango de edad de los 18 a los 26 años, los cuales se asume que su condición de salud es normal o sanos. Utilizar un muestreo

aleatorio y la consideración de la representatividad de la muestra extraída asegura que de los resultados obtenidos se podrá realizar el proceso de inferencia de una manera confiable, estadísticamente hablando.

Para la determinación del tamaño de muestra se utilizó la expresión de Rendón (1995):

$$n = Nk^2 / NB^2 + K^2$$

En la que n se refiere al tamaño de muestra estimado, N es el número de unidades en la población, k confiabilidad de la precisión deseada para el estimador, B es la fracción de la desviación estándar que se desea como precisión del estimador. Así, con $N = 4500$, $k = 1.96$, es decir con una confiabilidad de 95%, y $B = 0.12$, se obtuvo el siguiente tamaño de muestra.

$$n = 4500 * (1.96)^2 / [(4500 * (0.12)^2 + (1.96)^2)] = 251 \text{ muestras}$$

El área de interés en este estudio son los espacios al exterior, y en el caso particular se eligió el campus Benito Juárez de la Universidad Autónoma de Baja California en la ciudad de Mexicali, B.C. se eligió este lugar (Fig. 8) que se buscaba un espacio al exterior con participantes entre los 18 y 27 años, es decir sujetos jóvenes, además que durante estudio pudieran ser encuestados bajo condiciones normales propias de una actividad ligera tal como caminar y trasladarse de un sitio a otro.

Durante el estudio, tanto en la temporada de invierno como de verano, se midieron las siguientes variables meteorológicas: velocidad de viento (m/s), temperatura del aire (°C), temperatura media radiante (°C), humedad relativa (%), al mismo tiempo que se midieron las siguientes variables físicas de los individuos encuestados: peso (kg), altura (m), temperatura de la piel (°C), presión arterial (mm Hg). El primer acercamiento con los individuos fue a través de encuestas realizadas en ambas estaciones del año. Las condiciones del estudio cambiaron libremente, es decir los individuos del estudio vistieron y se comportaron como lo hacen normalmente lo que permitió comprobar como las variables del ambiente se relacionan con las sensaciones de las personas.

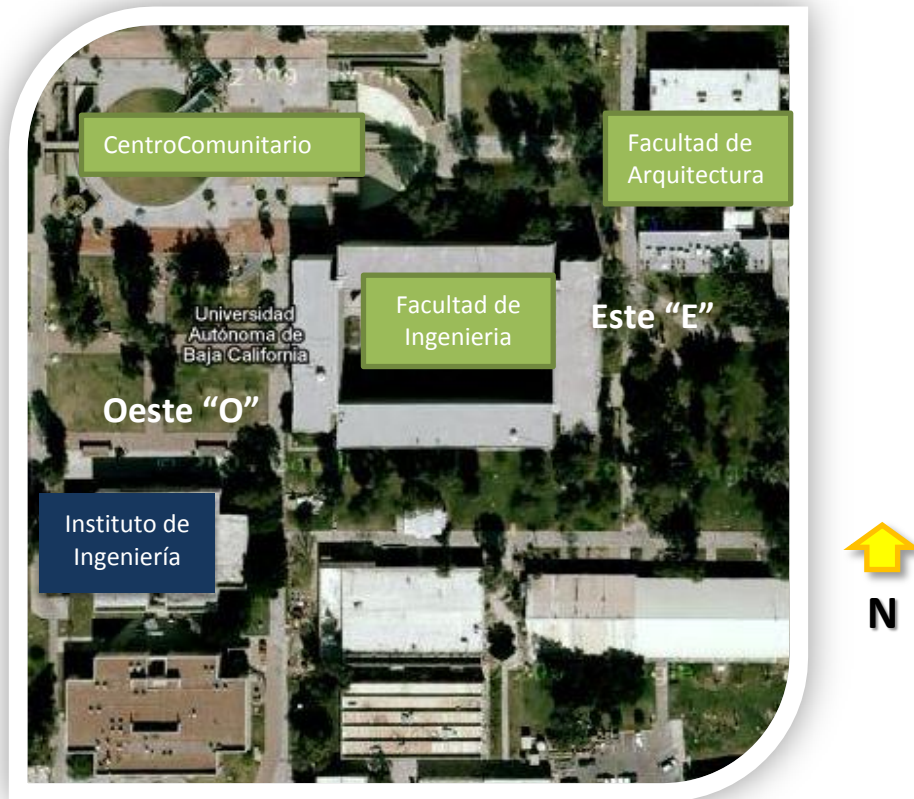


Figura 8. Áreas oeste ("O") y este ("E") del estudio dentro del campus UABC Benito Juárez

3.3 Selección del Índice para el estudio

Actualmente se encuentran disponibles diversos modelos que generalmente son utilizados bajo ciertas condiciones ambientales.

Para el ser humano es crucial mantener la temperatura corporal en un rango de alrededor de 37 °C para asegurar el funcionamiento de los órganos internos y del cerebro, asegurar también el confort del cuerpo, rendimiento y la salud. En contraste con la temperatura externa por ejemplo en la piel y extremidades, la cual varía ampliamente dependiendo de las condiciones ambientales, en el cual uno de los mecanismos es mantener la producción y pérdida de calor en equilibrio durante un largo período de tiempo. Los modelos matemáticos de termorregulación humana surgieron hace casi 70 años. La mayoría de estos trabajos se han llevado a cabo en el área de la medicina ocupacional, diseño de interiores y espacios construidos por el hombre. Por ejemplo, SET el modelo de Temperatura Estándar Efectiva en exteriores (Gagge et al. 1986; Pickup y de Dear,

2000); Modelo del Balance de Energía de Munich ó MEMI (Hoppe, 1984), el Modelo de intercambio de Calor Hombre-Ambiente ó MENEX (Blazejczyk, 1994, 2004), así como la norma ISO 7933.

Cuatro décadas atrás los modelos multinodo de termorregulación humana fueron desarrollados por Stolwijk (1971), Wissler (1985), Fiala et al. (1999, 2001, 2003), Huizenga et al. (2001) y Tanabe et al. (2002). Estos modelos simulan la transferencia de calor dentro del cuerpo humano y la superficie tomando en cuenta las propiedades anatómicas, térmicas y fisiológicas del cuerpo humano. Además de todas las variables termo-fisiológicas estos modelos son capaces de predecir características locales tales como temperatura de la piel y de partes individuales del cuerpo. Los estudios para validar estos modelos han demostrado que los modelos multinodo pueden reproducir el comportamiento térmico considerando una variedad de circunstancias (Fiala et al. 2001, 2003, Havenith, 2001; Huizenga et al. 2001).

A partir de los esfuerzos realizados en COST 730 (Cooperación en Ciencia y Desarrollo Técnico, por sus siglas en inglés) y basados en los resultados de ejercicios de validación, los expertos concluyeron que el modelo UTCI-Fiala es idóneo para predecir el comportamiento promedio de termo-fisiología humano en una amplia variedad de condiciones climáticas.

3.4 Definición de UTCI

El UTCI de un ambiente térmico es la temperatura del aire de la condición de referencia que causa una respuesta fisiológica en el cuerpo humano. El esquema multivariable del UTCI (figura 9) tiene las siguientes condiciones de referencia, meteorológicas y no meteorológicas:

Velocidad de viento (v_a) aproximadamente 0.3 m/s a 1.1 m/s; Temperatura media radiante (T_{mrt}) igual a la temperatura del aire; Presión de vapor (p_v) representada por la humedad relativa al 50%, en temperaturas mayores a 29° C la humedad relativa se toma como constante; la actividad representada por una persona que va caminando a una velocidad de 4 km/h (1.1 m/s) que resulta en un índice metabólico de 2.3 MET (135 Wm^{-2}).

El ajuste por el aislamiento de ropa es una importante variable de respuesta de comportamiento frente a las condiciones climáticas. El UTCI considera los hábitos de vestimenta

de las estaciones del año de los habitantes de Europa, basados en los datos obtenidos en encuestas de campo, con el propósito de obtener una percepción más real del comportamiento que notablemente afecta a la percepción del clima. Los análisis de regresión publicados (Jendritzky et al., 2009) además de los resultados de las encuestas realizadas en Polonia y Suecia ponen de manifiesto que el aislamiento por ropa, identificado por I_{cl} es una función de la temperatura del aire:

$$I_{cl} = 1.374 - 0.013847 \cdot T_a - 0.00043804 \cdot T_a^2 - 0.00000238383 \cdot T_a^3$$

El modelo se basa en datos observados en temperaturas ambiente menores a -20 °C. Sin embargo, en condiciones de frío extremo se asume que las personas usarían cada vez más la ropa de protección especial para el frío.

El siguiente factor que debe ser considerado es la velocidad de viento relativo debido al movimiento del cuerpo ya que reduce el aislamiento e influye en las respuestas fisiológicas del modelo.

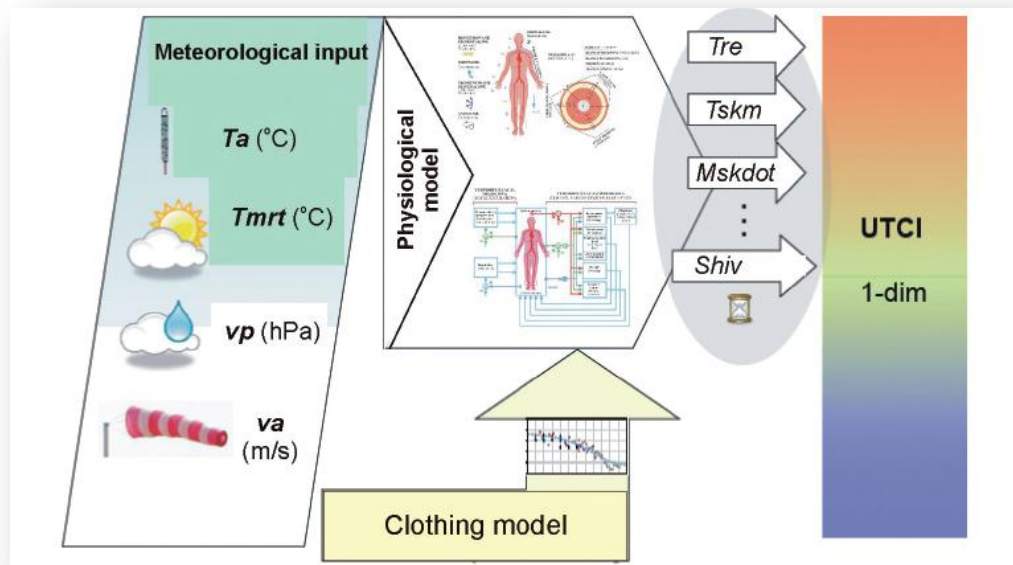


Fig. 9 Esquema multivariable de adaptación del modelo fisiológico y el modelo de arropamiento para obtener el Índice UTCI. Fuente: www.utci.org

El enfoque se basa en la respuesta fisiológica del individuo en un medio ambiente de referencia e incorporando un modelo del nivel de arropamiento. La respuesta dinámica se obtiene de la combinación lineal de las reacciones de los parámetros de estrés térmico que son temperatura de la piel, temperatura rectal, sudoración, humedad de la piel, flujo sanguíneo y temblores involuntarios para hacerle frente al frío, obtenidos durante 30 y 120 minutos.

3.5 Escala del Índice UTCI

La escala de valores para el UTCI (Fig. 10) encuentra categorizada de acuerdo al estrés térmico; según las condiciones de referencia el estrés causado por calor o por frío provoca una respuesta fisiológica en el ser humano.

UTCI(°C) range	Stress Category
above +46	extreme heat stress
+38 to +46	very strong heat stress
+32 to +38	strong heat stress
+26 to +32	moderate heat stress
+9 to +26	no thermal stress
+9 to 0	slight cold stress
0 to -13	moderate cold stress
-13 to -27	strong cold stress
-27 to -40	very strong cold stress
below -40	extreme cold stress

Fig. 10 Escala UTCI de estrés térmico según Temperatura UTCI

Fuente: www.utci.org

3.6 Equipo de medición empleado en el estudio

3.6.1. Monitor de estrés térmico Quest temp 36 con medidor de flujo de aire (anemómetro)

Figura 11.



Figura 11. Monitor de estrés térmico Quest Temp 36

Fuente: Fotografía tomada al equipo utilizado en este estudio

El QUEST temp 36 simplifica una evaluación del ambiente térmico utilizando las normas internacionales. El equipo registra cuatro parámetros: temperatura de bulbo seco (TBS) en °C, la temperatura de bulbo húmedo (TBH) en °C, la temperatura de globo (TG) en °C, y el porcentaje (%) de humedad relativa (HR). Este equipo integra automáticamente al momento de registrar los datos físicos del ambiente, el cálculo de algunos índices térmicos. Se calcula el WBGT que es la temperatura global de bulbo húmedo, tiempos de permanencia, es decir el tiempo que permanece una persona o trabajador en el ambiente que se está midiendo. El uso del equipo puede ser para ambientes en condiciones de trabajo o descanso, y uso general de la evaluación del ambiente térmico.

3.6.2. Cinta métrica.

Utilizada para medir la estatura de las personas encuestadas. Las unidades utilizadas fueron centímetros (cm).



Figura 12. Cinta métrica, *Fuente: Internet*

3.6.3. Báscula.

Para medir el peso corporal de las personas encuestadas. Las unidades utilizadas fueron kilogramos (kg).



Figura 13. Báscula, *Fuente: internet*

3.6.4. Monitor de presión.

Para medir la presión y el pulso de las personas encuestadas. La presión sanguínea a estudiar fue la presión sistólica y diastólica (mmHg) además del pulso cardíaco, el equipo utilizado es automático y garantiza que los resultados sean precisos.



Figura 14. Monitor de presión arterial, *Fuente: manual del equipo*

3.6.5. Termómetro de oído.

Para medir con precisión la temperatura corporal de las personas encuestadas. Dicho termómetro se introduce al canal auditivo y evita el contacto con el tímpano y se utilizó con protectores auditivos para higiene. Una vez que el instrumento fue colocado en el oído se monitoreo con energía infrarroja y después de un sonido el instrumento muestra el resultado en la pantalla.



Figura 15. Termómetro de oído, *Fuente: manual del equipo*

3.6.6. Termómetro infrarrojo

Para medir la temperatura de la piel por medio de dos rayos proyectados a cierta distancia de la piel (mano) en cada toma el instrumento solo requiere de fracciones de segundos para mostrar la temperatura en la pequeña pantalla.



Figura 16. Termómetro infrarrojo, *Fuente: manual del equipo*

3.7 Diseño de cuestionario para encuestas

Para el diseño del cuestionario se hizo una revisión de las normas ISO 7726:1998 Ergonomía del ambiente térmico – instrumentos para medir cantidades físicas, ISO 7730: 2005 Ergonomía del ambiente térmico- determinación analítica e interpretación de comodidad térmica PMV y PPD, ISO 10551: 1995 Ergonomía del ambiente térmico- evaluación de la influencia del ambiente térmico empleando escalas de juicio subjetivo. Además se analizó el cuestionario del proyecto RUROS (Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces) cuya finalidad fue evaluar el confort térmico al exterior; dicho cuestionario consta de dos partes, en la primera son datos generales que el encuestador debe llenar por observación y en la segunda parte son preguntas de sensaciones térmicas percibidas por el encuestado.

También fue analizado el cuestionario para el proyecto el cuestionario consta de varias secciones: datos generales e información del encuestado, percepción del ambiente, información de monitoreo tales como temperatura del bulbo seco, de globo, velocidad de viento, entre otras.

Una última sección con información sobre el estado de salud del encuestado e información complementaria.

Finalmente se analizó el cuestionario de la encuesta del proyecto “Confort térmico en Exteriores: Parques urbanos en clima cálido seco extremoso de la Universidad Autónoma de Baja California” (Bojórquez, 2010) cuyo caso de estudio tiene similitudes con el presente estudio principalmente porque las encuestas fueron aplicadas en la misma localidad, es decir en la ciudad de Mexicali y porque el estudio de confort térmico es en exteriores. En ese caso se analizaron a las personas de rangos de edades tanto jóvenes como adultos mayores desarrollando una actividad deportiva.

El cuestionario aplicado consta de dos páginas, la primera con secciones de la I a la VII cuyos grupos de preguntas son datos de control, datos personales y temporales, actividad y percepción del ambiente térmico, variables climáticas, características físicas y de vestimenta, datos complementarios del usuario, características del área y condiciones de aplicación, y en la segunda página contiene las secciones VIII y IX de ubicación y de signos vitales. Además de incluir un mapa impreso donde se señala la zona de aplicación de encuesta ya que la aplicación fue dentro de un parque deportivo con diversas zonas donde pudieron encuestar.

Se procedió a elaborar preguntas a las cuales se les fueron haciendo diversos ajustes y cambios. La idea era diseñar una encuesta con las preguntas necesarias para recabar la información más importante y que fuera clara y de fácil aplicación para los encuestadores, se consideró que no fuera demasiado extensa y que estuviera conformada por secciones o grupos de preguntas. Finalmente, el diseño de la encuesta quedó tal y como se muestra en la figura 17.



Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Ingeniería
La Evaluación del Confort Bioclimático en Mexicali, B.C.
Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería
Ing. Almendra Solórzano Dávila,
Dr. Rafael García Cueto (Director de Tesis), Dr. Gonzalo Bojórquez (Co-Director de Tesis)



FOLIO

A. Captura

FECHA CAPTURADO(MM/AA)	
CAPTURADOR:	

CAPTURADA	
REVISADA	

B. Control Encuesta

1 ENCUESTADORES:		
2 ZONA DE UBICACIÓN:	2 Zona Oeste ()	3 Zona Este ()

C. Datos Generales

3 Fecha(dd/mm/aa):	4 Hr. Inicio(hr:min)	5 Hr. Final(hr:min)
1 Nombre	2 Sexo F () M ()	3 Edad años

D. Percepción del ambiente térmico

	I	II	III	IV	V	VI	VII
Sensación térmica							
5 ¿Cómo se siente usted en este momento?	Mucho frío ()	Frío ()	Algo de frío ()	Ni calor ni frío ()	Algo de calor ()	Calor ()	Mucho calor ()
Sensación de humedad							
6 ¿Cómo siente la humedad en su piel en este momento?	Muy húmedo ()	Húmedo ()	Algo húmedo ()	Normal ()	Algo seco ()	Seco ()	Muy seco ()
Sensación de viento							
7 ¿Cómo siente el viento usted en este momento?	Nada de viento ()	Poco viento ()	Viento agradable ()	Viento algo fuerte ()	Viento muy fuerte ()		
Sensación de radiación							
8 ¿Cómo siente la radiación del sol en su piel en este momento?	Sin radiación ()	Poca radiación ()	Radiación agradable ()	Radiación algo fuerte ()	Radiación muy fuerte ()		
Preferencia térmica							
9 ¿Cómo preferiría usted estar/sentirse en este momento?	Mucho más fresco ()	Más fresco ()	Un poco más fresco ()	Sin cambio ()	Con un poco más de calor ()	Con más calor ()	Mucho más caluroso ()
Preferencia de humedad							
10 ¿Qué preferiría en este momento con respecto a la humedad?	Mucho más húmedo ()	Más húmedo ()	Un poco más húmedo ()	Sin cambio ()	Un poco más fresco ()	Más seco ()	Mucho más seco ()
Preferencia de viento							
11 ¿Qué preferiría en este momento con respecto al viento?	Preferiría más viento ()	Sin cambio ()	Preferiría menos viento ()				
Preferencia de radiación							
12 ¿Qué preferiría en este momento con respecto a la radiación solar?	Preferiría más radiación ()	Sin cambio ()	Preferiría menos radiación ()				
Aceptación personal del ambiente							
13 ¿Como considera el clima?	Generalmente aceptable ()	Generalmente inaceptable ()					
Tolerancia personal							
14 ¿Qué tan tolerable le parece el clima en este momento?	Perfectamente tolerable ()	Tolerable ()	Ugeramente intolerable ()	Intolerable ()	Extremadamente intolerable ()		

E. Variables Climáticas				
15	1) Temp. de bulbo seco (°C) () BS	2) Temp. bulbo húmedo (°C) () BH	3) Temp. de globo gris (°C) () Globo gris	4) Humedad relativa (%) () HR
	5) Velocidad viento (m/s) () FLUJO			

F. Características físicas				
16	1 Estatura cm	2 Peso lbs	3 Presión SYS/DIA mmHg	4 Pulso /min
	5 Temperatura oído °C	6 Tempertura de la piel	T1() °C	T2 () °C

G. Tipo de vestimenta(solo observación)				
17	1() Muy ligera	2() Ligera	3() Normal	4() Abrigada
	5() Muy abrigada	6 Sombrero /gorra	7 Lentes sol	8 Sombrilla
		1() SI	2() NO	

H. Datos complementarios				
18	1) Carrera / semestre			
	2) Ocupación(solo si la persona NO es estudiante)			
	3) ¿Siempre ha vivido en Mexicali?		1 () SI 2() NO	
	4) Ciudad donde vivia antes de vivir aqui			
	5) Tiempo de vivir en la ciudad	1() 6 meses	2() 6 meses a 1 año	3() 1 a 2 años
		4() 3 a 5 años	5() 6 o más años	
	6) Hace cuanto tiempo fue tu último alimento	1 () Menos de 15 min	2 () Entre 15min-2hrs	3 () Mas de 2 hrs
	7) Durante la encuesta el entrevistado consumió	1() Nada	2() Agua	3() Bebida hidratante
		4() Soda	5() Bebida caliente	6() Alimentos

a presente encuesta se realiza para evaluar el confort térmico, definido como la sensación neutra de una persona respecto al ambiente

Figura 17. Ejemplo de encuesta aplicada en la investigación

3.7.1 Secciones de las que consta el cuestionario

- 1) La primera sección de la encuesta denominada A es para *datos de control de captura y folio* de cada encuesta.
- 2) La sección B de control de la encuesta contiene información sobre el *nombre de los encuestadores, la zona de ubicación: oeste y este*.
- 3) La sección C de datos generales contiene información sobre la *fecha en que se realiza la encuesta, horas de inicio y término de aplicación de la encuesta, nombre, sexo y edad*.
- 4) La sección D referente a la *percepción del ambiente térmico* en la que en una escala del I al VII se muestran las opciones de sensaciones y preferencias térmicas que los encuestados deben responder.
- 5) La sección E de *variables climáticas* para anotar al momento de la encuesta las variables climáticas mostradas por el Quest Temp que son temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de globo gris, humedad relativa y velocidad de viento.
- 6) La sección F de *características físicas* se refiere a las características físicas del encuestado las cuales son medidas utilizando los instrumentos de medición para cada caso, estatura, peso, presión, pulso, temperatura (oído), temperatura de la piel 1 y 2.
- 7) La sección G de *tipo de vestimenta* que en este caso los encuestadores debían anotar lo que observaban sobre el tipo de vestimenta que las personas entrevistadas vestían desde muy ligera a muy abrigada, si vestía sombrero o gorra, lentes de sol y si traía sombrilla.
- 8) La sección H de *datos complementarios* que en este caso son una serie de preguntas abiertas sobre carrera/semestre, ocupación en caso de que la persona no fuera estudiante, se pregunta si la persona ha vivido siempre en Mexicali, cuánto tiempo o donde vivía antes, se anota si la persona había comido recientemente o si la persona consumía algún alimento mientras lo encuestaban ya que estos últimos datos pudieran llegar a alterar la respuesta de esa persona.

3.7.2 Aplicación de encuestas

Se estableció el mes de Febrero como el mes que representaría la aplicación de encuestas de la temporada de invierno, mientras que el mes de Septiembre como el representativo de las condiciones de la temporada de verano; antes de iniciar con la aplicación se estableció la cantidad de muestra necesaria con una confiabilidad del 95%, ya definida en una sección anterior.

Una vez definida el área de aplicación que es la Facultad de Ingeniería en la zona oeste y este, lo que conocemos como la parte frontal y trasera del edificio orientado hacia el acceso a las escaleras de este edificio en la parte externa. Se estableció un horario desde las 6:30am a las 8:30pm cubriendo así todo el día y poder así monitorear las variaciones meteorológicas. Para cada una de las dos zonas se definieron equipos de trabajos independientes de 3 encuestadores y en las horas con un mayor flujo de alumnos los equipos se formaban por 4 encuestadores. Previo al inicio de este trabajo de campo se dio una plática a los encuestadores sobre la importancia del trabajo de campo en el que ellos iban a participar, así como la explicación del uso de cada uno de los instrumentos de medición.

Al momento de aplicar las encuestas se encontraban ambas zonas (oeste y este) aplicando encuestas de manera simultánea y continua durante el horario establecido. Las personas iban siendo entrevistadas de manera aleatoria a hombres y mujeres, la persona que aceptaba ser entrevistada debía contestar a las preguntas y permitir tomar sus signos vitales y datos respecto a su salud, en aquellos casos en los que padecieran de alguna enfermedad crónica o embarazo la encuesta iba siendo descartada. Las áreas donde se encontraban aplicando encuestas eran de fácil acceso, se tenía un área para que el entrevistado se acercara y pudiera sentarse para la toma del pulso (Fig. 18) así como espacio necesario para que los equipos de monitoreo de variables pudieran funcionar sin que intervinieran ramas o árboles.



Figura 18. Fotografía de campaña de aplicación de encuestas

Cada equipo de encuestadores tenía a su cargo tanto encuestas como instrumentos de medición y monitoreo de variables, y debían estar al pendiente de los instrumentos y de reportar cualquier fallo durante la aplicación de esta actividad. En ninguna de las dos campañas no se reportó ningún incidente ni fallo en los equipos por lo que se puede asegurar que la información tomada es confiable para el estudio.

3.7.3. Visualización de datos meteorológicos

Además de las encuestas cada equipo de trabajo debía llenar los datos sobre las variables climáticas desde la pantalla del Quest temp, el formato de llenado fue el que se presenta en la figura 19.

[illegible]

Figura 19. Formato de llenado de variables meteorológicas, *Fuente: elaboración propia*

Los encuestadores debían llenar el formato cada 5 minutos anotando la fecha, zona, hora, nombre y el dato de cada variable: bulbo húmedo, bulbo seco, globo gris, humedad relativa, y velocidad de viento.

3.7.4. Captura de encuestas

Una vez terminado el trabajo de campo: encuestas y acopio de datos personales, se organizó y se clasificó toda la información por zonas de captura (oeste o este), así mismo se organizó el formato de captura de variables meteorológicas de cada cinco minutos. Ambas bases de datos fueron capturados en Excel por otras personas que no fueron quienes aplicaron encuestas para evitar confusiones, y que cada persona estuviera concentrada en su actividad, ya sea encuestando o capturando datos.

 Universidad Autónoma de Baja California Instituto de Ingeniería La Evaluación del Confort Bioclimático en Mexicali, B.C. Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería Ing. Almedra Solórzano Dávila 													
A. CAPTURA		B. CONTROL DE ENCUESTA			C. OS GENE		E. VARIABLES CLIMATICAS					F. CARACTERISTICAS FISICAS	
FOLIO	CAPTURA(NOMBRE COMPLETO)	FECHA CAPTURA	B.1 ENCUESTADORES	B.2.1.2 ZONA DE UBICACION OESTE	Duracion	C3.2-Hora Inicio(hr:min)	C3.3-Hora Final(hr:min)	ES.1 Temperatura de bulbo seco (°C)	ES.2 Temperatura de bulbo húmedo	ES.3 Temperatura de globo gris(°C)	ES.4 -Humedad Relativa(%)	ES.5 Velocidad de Viento(m/s)	FB.1 Estatura (cm) FB.2 Peso (lbs) FB.3 Presión (SYS/DIA mmHg) FB.4 Pulso /min FB.5 Temperatura de piel(°C) FB.6 Temperatura de la piel(°C) T1
1	Brandon Esquivias	12-Sep-13	marco/gustavo	x	0:10	7:45	7:55	30.8	26.4	31.6	77	0.2	152 170
2	Brandon Esquivias	12-Sep-13	marco/gustavo	x	0:05	7:55	8:00	31.3	26.7	32.1	71	0.2	174 165
3	Brandon Esquivias	12-Sep-13	Gustavo/manuel	x	0:09	8:00	8:09	31.4	26.7	32.4	70	0.2	193 216
4	Brandon Esquivias	12-Sep-13	nylssa-gustavo	x	0:05	8:20	8:25	31.5	26.7	31.9	68	0.2	175 205
5	Brandon Esquivias	12-Sep-13	nylssa-gustavo	x	0:06	8:30	8:36	32	26.7	35.2	63	0.2	168 213
6	Brandon Esquivias	12-Sep-13	nylssa-gustavo	x	0:05	8:45	8:50						168 213
7	Brandon Esquivias	12-Sep-13	marco-gustavo	x	0:05	7:50	7:55						167 110
8	Brandon Esquivias	12-Sep-13	nylssa-gustavo	x	0:03	8:55	8:58						168 149
9	Brandon Esquivias	12-Sep-13	nylssa-gustavo	x	0:05	9:00	9:05						155 170
10	Brandon Esquivias	12-Sep-13	aldo guzman	x	0:05	9:53	9:58						179 170
11	Brandon Esquivias	12-Sep-13	aldo guzman	x	0:00								150 89-65
12	Brandon Esquivias	12-Sep-13	aldo guzman	x			9:44						190 230
13	Brandon Esquivias	12-Sep-13	aldo guzman	x	0:05	9:45	9:50						163 135
14	Brandon Esquivias	12-Sep-13	aldo guzman	x	0:00								161 130
	Brandon Esquivias	12-Sep-13	aldo guzman	x	0:00								152 110

Figura 20. Formato de captura de encuestas, climáticas y físicas, *Fuente: elaboración propia*

La base de datos se encuentra organizada con las mismas secciones de la encuesta, diferenciada por colores para facilitar la captura (Figura 20). La misma base de datos fue complementada con los datos de las campañas de mediciones tanto de invierno como verano.

3.7.5. Método para calcular el Índice UTCI

Con el propósito de comparar las respuestas de los encuestados con el índice UTCI fue necesario realizar el cálculo del índice para cada una de las encuestas aplicadas en ambas temporadas. Haciendo uso del software disponible en el sitio <http://www.utci.org> se procedió a ejecutar el programa como el mostrado en la Figura 20. En la que se abre una ventana en la computadora y se van insertando las variables meteorológicas que el programa requiere las cuales son: temperatura del aire (°C), humedad relativa (%), velocidad del aire (m/s) y la temperatura media radiante (°C). Una vez que se introducen los datos el programa calcula el valor del UTCI.

```
Program for calculating UTCI
based on calculations as presented at the MC/WG meeting
of COST Action 730 in Eilat, 2008-09-10
and decisions after the WG1 meeting in Stuttgart 2009-02-24

alpha version released for public use after termination of COST Action 730

Version a 0.002, October 2009
Copyright (C) 2009 Peter Broede

This program is distributed in the hope that it will be useful,
but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

UTCI

Version a 0.002: P.Broede, October 22, 2009

Please enter the meteorological data:
Air temperature in degree Celsius (degC)
                                (between -50 and +50 degC)      :
```

Figura 21. Ventana ejemplo de programa ejecutable en computadora para el cálculo de Índice UTCI

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados en base a las encuestas y mediciones realizadas en el mes de febrero de 2011, representativo de las condiciones de invierno, y septiembre de 2013 representativo de verano. El lugar del estudio, como ha sido mencionado anteriormente fue en el campus de la UABC, y la muestra encuestada fue a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería. El análisis estadístico se realizó con el programa Minitab.

4.1 ANALISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Durante las dos campañas realizadas en la temporada de invierno y verano se realizaron un total de 738 encuestas de las cuales 400 fueron aplicadas en invierno del 2011 y 338 en verano del 2013 (Tabla 1). En promedio la edad de los encuestados fue alrededor de los 21 años, obteniéndose un promedio de edad de 21.7 años para las mujeres y 21.9 en hombres. En cuanto a la estatura se obtuvo un promedio de 168 cm. para las mujeres y 174 cm. para los hombres, en cuanto al peso fue de 71 kg para las mujeres y 76 kg para los hombres (Tabla 2).

Numero de encuestas por campaña	
Verano (2013)	Invierno (2011)
338	400
Total de encuestas 738	

Tabla 1: Número de encuestas por campaña

	Hombres	Mujeres
Edad (años)	21.9	21.7
Peso (kg)	76	71
Estatura (cms)	174	168

Tabla 2: Datos promedio de edad, peso y estatura por sexo

Las encuestas de la temporada de invierno fueron aplicadas durante tres días consecutivos en horarios de 7 am a 7 pm, y en la temporada de verano se aplicaron durante dos días en un horario de 7 am a 7 pm.

Los datos fueron capturados de la base de datos general en formato Excel, la cual fue llenada con las respuestas obtenidas de las encuestas. También, los datos obtenidos para las variables meteorológicas se capturaron en una base de datos, las cuales se estuvieron monitoreando cada 5 minutos durante los días en que se realizó el trabajo de campo.

Una vez que se tuvo la información en la base de datos de Excel se procedió a revisar las respuestas de las encuestas y analizar la base de datos. El primer paso fue separar y trabajar de manera independiente los datos de las dos temporadas tanto de invierno como de verano, por lo que se trabajaron dos bases de datos idénticas, solo de temporadas distintas; posteriormente lo que se hizo fue diferenciar las dos zonas de aplicación de encuestas y de obtención de datos meteorológicos, Oeste y Este, ya mencionadas en el capítulo de Metodología. La zona Oeste es la parte del edificio de la Facultad de Ingeniería de la UABC, casi frente a la Facultad de Derecho y la zona Este, del mismo edificio de la Facultad de Ingeniería que va hacia el estacionamiento, justo a un lado de la Facultad de Arquitectura, ya documentada en la figura 8.

4.1.1 Análisis estadístico de la Temporada de Invierno

Para el análisis exploratorio de datos, se inició con las variables meteorológicas las cuales fueron capturadas cada 5 minutos. Las variables meteorológicas medidas durante la aplicación de encuestas fueron temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa y temperatura media radiante.

Variable	Media	Mediana	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Máximo	Sesgo	Kurtosis
T (°C)	18.3	18.5	3.9	15.7	9.3	26.3	-0.24	-0.65
TRad (°C)	20.4	21.0	5.6	32.3	9.0	31.8	-0.12	-1.13
HR (%)	35.8	32.0	13.2	1.7	18.0	68.0	0.77	-0.49
VV (m/s)	2.2	2.2	0.2	0.04	1.8	2.9	0.97	0.4

Tabla 4: Estadísticas descriptivas por variable meteorológica. Zona Oeste-Temporada de Invierno

Variable	Media	Mediana	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Máximo	Sesgo	Kurtosis
T (°C)	17.7	18.0	2.3	5.3	10.5	22.8	-0.83	0.8
TRad (°C)	19.3	18.8	3.7	13.9	11.2	27.7	0.37	-0.7
HR (%)	40.6	0.4	7.1	0.51	27.0	60.0	0.37	-0.81
VV (m/s)	2.2	2.2	0.2	0.04	1.9	2.9	1.1	0.67

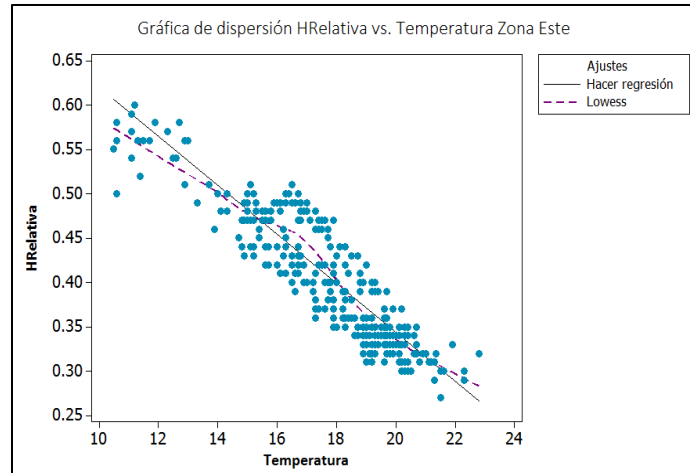
Tabla 5: Estadísticas descriptivas por variable meteorológica. Zona Este-Temporada de Invierno

Se estimaron estadísticas básicas con el propósito de resumir los datos monitoreados de las variables meteorológicas ya mencionadas anteriormente. Se calculó la media, desviación estándar, varianza, valor mínimo, valor máximo, mediana, sesgo y kurtosis para ambas zonas (Tablas 4 y 5). Se encontró, respecto a los valores medios que la temperatura y la temperatura radiante es mayor en la zona Oeste que en la zona Este, y la humedad relativa es menor en el lado Oeste que en el Este; respecto a la velocidad del viento en ambas zonas se estimó el mismo valor medio.

Se encontró de manera general que la zona Oeste presenta mayor variación que en el Este, lo cual se verifica con las medidas de variabilidad y la amplitud mostrada al comparar los valores máximos y mínimos de ambas zonas. Los valores pequeños de sesgo y kurtosis indican que la distribución de variables meteorológicas se aproxima a una distribución normal.

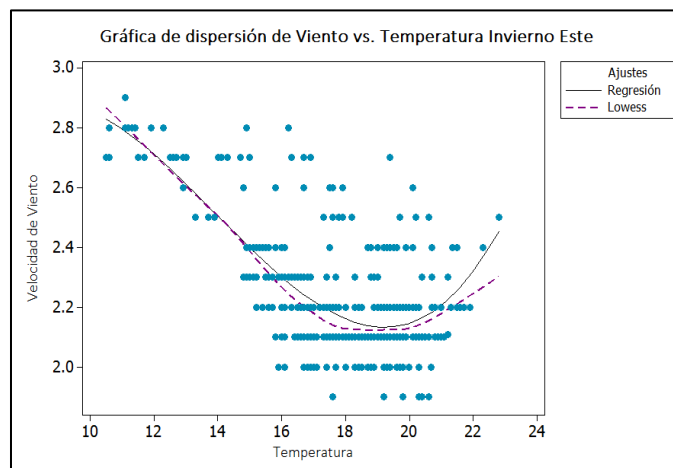
4.1.1.2 Análisis de Regresión de la temporada de Invierno Zona Este

Para mostrar la relación que existe entre las variables meteorológicas monitoreadas se construyeron gráficas de dispersión y se estimó, tanto el coeficiente de correlación (R), como el coeficiente de determinación (R^2); en esta sección se muestran los análisis para la temporada de invierno en la zona Este. La gráfica 1 presenta la relación entre la temperatura del aire y la humedad relativa, se estimó un $R = -0.89$, y un $R^2 = 0.79$. Se muestra también la representación gráfica de una curva suave a través del conjunto de puntos de temperatura y humedad relativa que muestra la tendencia sin necesidad de que ajuste a un modelo completamente lineal, como se observa en la línea color azul; el suavizador incluye más puntos que están ligeramente dispersos, dicho suavizador se observa en línea punteada. Se utiliza el suavizador LOWESS para ajustar la relación de dos variables a un modelo que no es completamente lineal.



Gráfica 1. Análisis de regresión de temperatura del aire vs humedad relativa.
Temporada de Invierno. Zona Este.

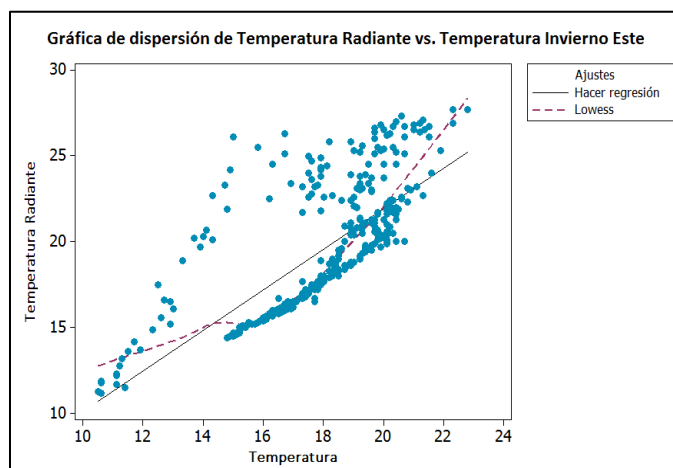
En la gráfica 2 se muestra la dispersión de valores entre la velocidad de viento y la temperatura. El coeficiente de correlación lineal estimado fue de 0.59, y el coeficiente de determinación R^2 de 0.350. Se muestra también la curva LOWESS, cuya curva nos indica que un modelo cuadrático podría ajustar mejor a este conjunto de datos.



Gráfica 2. Análisis de regresión de temperatura del aire vs velocidad del viento.
Temporada de invierno. Zona Este.

Para realizar la gráfica 3 se relacionó la temperatura del aire con la temperatura media radiante encontrándose que existe correlación positiva lo que indica que a medida que aumenta la

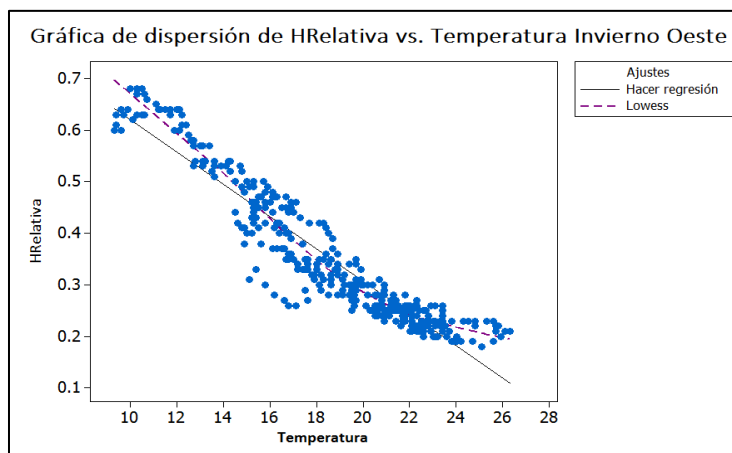
temperatura del aire también lo hace la temperatura media radiante; la estimación de R tuvo un valor de 0.72, y un $R^2 = 0.524$.



Gráfica 3. Análisis de regresión de temperatura del aire vs Temperatura radiante.
Temporada de invierno. Zona Este

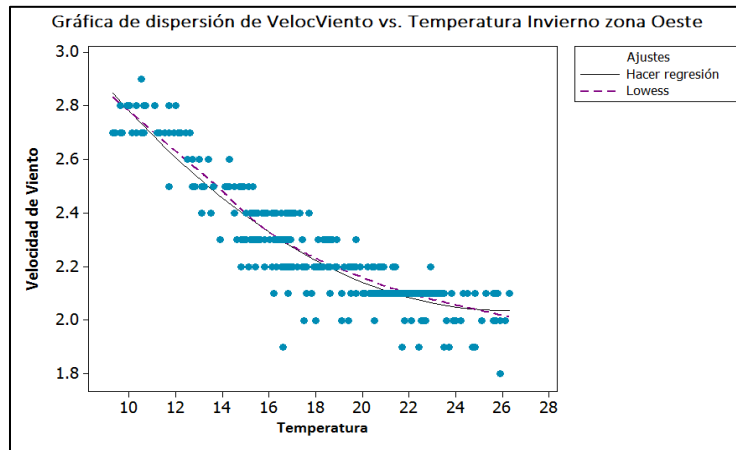
4.1.1.3 Análisis de Regresión de la temporada de Invierno Zona Oeste

En la gráfica 4 se presenta la relación existente entre la temperatura del aire y la humedad relativa en la zona Oeste, los datos se encuentran menos dispersos que en la zona Este, la desviación estándar tiene un valor de 0.045. El coeficiente de correlación $R = 0.94$, y el coeficiente de determinación $R^2 = 0.885$.



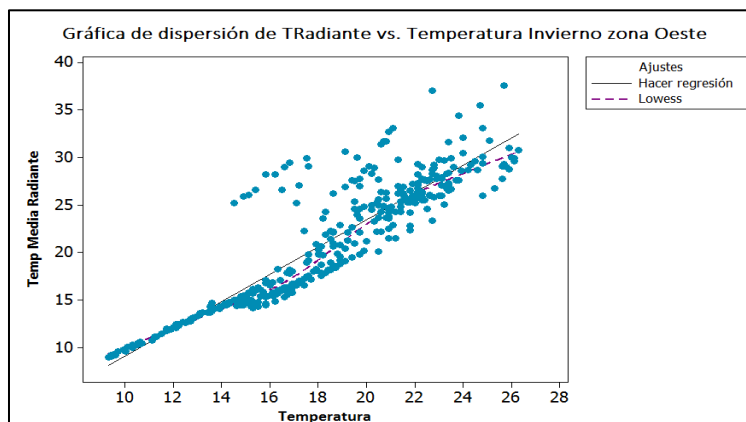
Gráfica 4. Análisis de regresión de temperatura del aire vs humedad relativa.
Temporada de invierno. Zona Oeste.

La asociación existente entre la temperatura del aire y la velocidad de viento se presenta en la gráfica 5; al compararla con la de la zona Este se observa una mejor relación lineal, lo cual se verifica al estimar el coeficiente de correlación, que tiene un valor de 0.88. El coeficiente de determinación es por tanto de 0.789.



Gráfica 5. Análisis de regresión de temperatura del aire vs velocidad del viento.
Temporada de invierno. Zona Oeste.

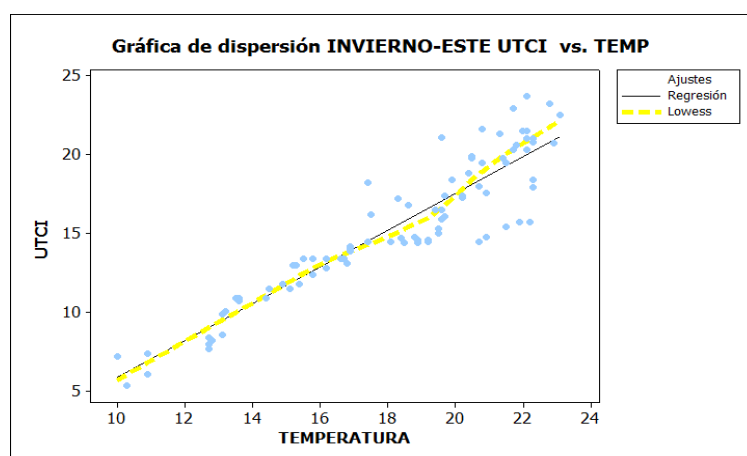
La gráfica 6 muestra la relación entre temperatura del aire y temperatura radiante. Se estimó una correlación $R = 0.87$ y un coeficiente de determinación $R^2 = 0.75$; la desviación estándar fue de 1.34.



Gráfica 6. Análisis de regresión de temperatura del aire vs Temperatura radiante.
Temporada de invierno. Zona Oeste.

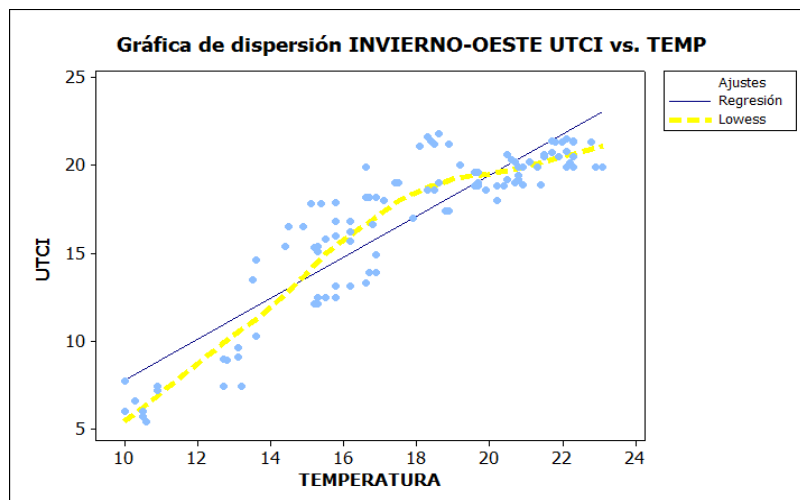
4.1.1.4 Análisis de Regresión de UTCI de Invierno, ambas zonas

La asociación durante el invierno entre temperatura del aire y el UTCI en la zona Este se presenta en la gráfica 7. La relación presentada indica que conforme la temperatura aumenta el UTCI también aumenta, por lo que la correlación lineal es positiva, con un valor $R = 0.92$. La desviación estándar del UTCI tiene un valor de 1.66, el cual es un valor pequeño, considerando que se está tomando en cuenta la variación diurna. El coeficiente de determinación, R^2 , con un valor de 0.85, indica que la presencia lineal de la temperatura del aire en el modelo de regresión explica el 85% de la variación total en el UTCI observado.



Gráfica 7. Análisis de regresión de Temperatura del aire vs UTCI
Temporada de invierno. Zona Este.

En cuanto a la zona Oeste, presentada en la gráfica 8, también hay una asociación positiva entre la temperatura del aire y el UTCI. En este caso la correlación lineal tuvo un valor de 0.90, por lo que el coeficiente de determinación, R^2 , tuvo un valor de 0.82, lo que indica que la temperatura del aire explica el 82% la variación total del UTCI en esta zona. La desviación estándar tuvo un valor ligeramente más grande que en la zona Este, de 2.0. Una comparación entre ambas zonas indica que los valores del índice UTCI son mayores en la zona Este que en la zona Oeste.



Gráfica 8. Análisis de regresión de Temperatura del aire y UTCI
Temporada de invierno. Zona Oeste.

Comparando los valores calculados de UTCI en la temporada de invierno se destaca que en la zona Este los datos presentan menor dispersión con una desviación estándar de 1.6, que el grupo de datos de la zona Oeste con desviación estándar de 2.0; ambos casos con correlaciones positivas: $R^2 = .85$ en el Este, y $R^2 = .82$ en el Oeste. A medida que aumenta la temperatura los valores de UTCI también van en aumento, sin embargo al comparar los valores alcanzados en cada zona, los valores del índice UTCI son mayores en la zona Este.

4.1.1.5 UTCI vs Sensaciones Térmicas, temporada de Invierno

En cuanto a la escala de estrés aplicada para el índice UTCI se establece que el rango oscila entre +9 y +26 ° UTCI, por lo que las personas se encuentran libres de estrés térmico o dentro de la zona de confort (Fig. 10). Un análisis por zonas revela lo siguiente. Para la temporada de invierno se puede destacar que cuando la temperatura del aire se encuentra entre los 18 y 23° C, en la zona Este los valores del índice indican que la sensación térmica está libre de estrés. En cambio para la zona Oeste dicha sensación libre de estrés térmico se alcanza a partir de los 14° C de temperatura del aire. En la figura 22 se muestra la sección de la encuesta referente a la percepción del

ambiente térmico en la que una vez que se le hacia la pregunta al encuestado, se marcaba la respuesta que corresponde a las sensaciones térmicas mostradas con los números I al VII (figura 22). Estas respuestas fueron capturadas en la base de datos, y de acuerdo a la temperatura del aire registrada al momento de la encuesta se propuso relacionar las sensaciones térmicas y temperatura del aire, la cual se muestra gráficamente en la figura 9.

D. Percepción del ambiente térmico							
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Sensación térmica							
¿Cómo se siente usted en este momento?	Mucho frío ()	Frío ()	Algo de frío ()	Ni calor ni frío ()	Algo de calor ()	Calor ()	Mucho calor ()

Figura 22. Pregunta sobre sensación térmica aplicada en la encuesta

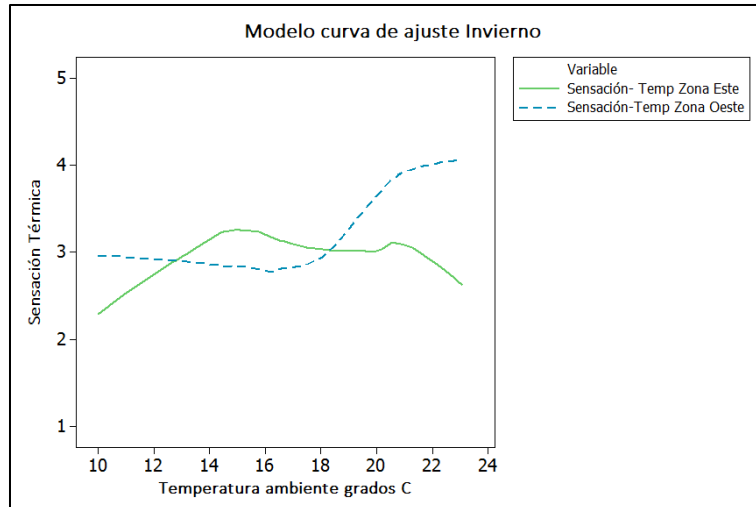
En la gráfica 9 se muestra la relación de temperatura del aire y las sensaciones térmicas; en el eje Y se muestra la escala del 1 al 5 que corresponde a las respuestas según la Fig. 22 que va desde *Mucho frío* hasta *Algo de Calor*, mientras que el eje X corresponde a la temperatura ambiente.

En la zona Este, cuando la temperatura se encontraba entre los 10 y los 13 ° C las respuestas fueron de *Frío* hasta *Algo de Frío*, mientras que en la zona Oeste no hubo respuestas de ni *Mucho Frío* ni *Frío*. Entre los 14 y 18° C las respuestas fueron similares en ambas zonas: *Algo de Frío*; entre los 22 y 23° C solamente en la zona Oeste hubo repuestas de *Ni Calor ni Frío*, mientras que en la zona Este hubo respuestas de *Algo de Frío*. Como información complementaria, el modelo de tipo lineal calculado en Minitab para Sensaciones térmicas en la zona Oeste es el siguiente:

$$\text{SENSACIÓN TÉRMICA} = 1.206 + 0.1194 * \text{Temperatura del aire}$$

Y para la zona Este el modelo es el siguiente:

$$\text{SENSACIÓN TÉRMICA} = 3.108 - 0.00408 * \text{Temperatura del aire}$$



Gráfica 9. Gráfica de temperatura del aire y sensación térmica, temporada de invierno, zonas este y oeste.

En la gráfica 10 se muestra la relación del UTCI y las sensaciones térmicas del I al V, igual que la gráfica 9. En este caso se utiliza el valor de UTCI correspondiente a cada encuesta en cada zona.

De acuerdo a la escala UTCI de estrés térmico (Figura 22) cuando se registra una temperatura entre 9° C y 26° C se experimenta un ambiente libre de estrés térmico, es decir se encuentra el individuo dentro de la zona de confort térmico.

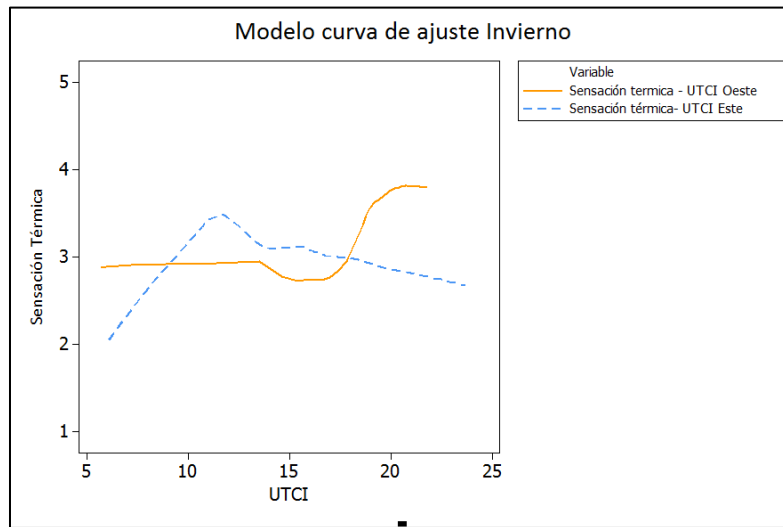
En cuanto a la relación entre el UTCI y las sensaciones térmicas percibidas por los encuestados, se encontró que para la Zona Este las respuestas de *Frio* y *algo de Frio* corresponden al valor entre 5 y 9 UTCI, dicho valor se relaciona con la de Ligero estrés por frio de UTCI con las respuestas de sensaciones térmicas. Asimismo se destaca que solo en la zona Oeste alrededor de los 24° C se encontraron respuestas de Confort, y en general en la zona Este la respuesta fue *Algo de Frio* cuando el índice indica que el ambiente está libre de estrés térmico.

El modelo de tipo lineal para Sensaciones térmicas en la zona Oeste es el siguiente:

$$\text{SENSACIÓN TÉRMICA} = 2.248 + 0.06491 \cdot \text{UTCI}$$

Y para la zona Este el modelo es el siguiente:

$$\text{SENSACIÓN TÉRMICA} = 3.139 - 0.00683 * \text{UTCI}$$



Gráfica 10. Gráfica de UTCI y sensación térmica, temporada de invierno, zonas este y oeste.

UTCI(°C) range	Stress Category
above +46	extreme heat stress
+38 to +46	very strong heat stress
+32 to +38	strong heat stress
+26 to +32	moderate heat stress
+9 to +26	no thermal stress
+9 to 0	slight cold stress
0 to -13	moderate cold stress
-13 to -27	strong cold stress
-27 to -40	very strong cold stress
below -40	extreme cold stress

Fig. 22 Escala UTCI de estrés térmico según Temperatura UTCI

Fuente: www.utci.org

4.1.2 Análisis estadístico de la Temporada de Verano

El análisis de datos de la temporada de verano se realizó de la misma manera que la temporada de invierno, las variables meteorológicas temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa y temperatura media radiante fueron capturadas cada 5 minutos, el análisis estadístico se realizó nuevamente con el programa Minitab.

De acuerdo a los resultados mostrados en las tablas 6 y 7, se encontró que los valores medios de la temperatura del aire y la temperatura media radiante son mayores para la zona Este que para la zona Oeste, mientras que la velocidad de viento promedio es igual en ambas zonas. Respecto a la variabilidad de ambas temperaturas, del aire y radiante, estimada por la desviación estándar, es mayor en la zona Este que en la Oeste. Destaca el valor máximo de la temperatura media radiante en la zona Este, con 54.7 °C, mientras que en la zona Oeste alcanza un valor de 43.1 °C. El valor medio de la humedad relativa es mayor en la zona Oeste que en la zona Este, y por lo que se observa hay una gran amplitud en los valores medidos, con valores máximos de 84% y 81% en las zonas Oeste y Este, respectivamente.

Variable	Media	Mediana	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Máximo	Sesgo	Kurtosis
Temp	35.5	36.3	4.8	22.8	27.0	41.8	-0.23	-1.3
Trad	36.6	37.4	5.0	24.8	27.7	43.1	-0.3	-1.22
Hrel	47.0	40.0	18.1	32.8	28.0	84.0	0.67	-0.96
Vviento	0.25	0.2	0.086	0.007	0.1	0.5	0.94	1.15

Tabla 6. Estadísticas descriptivas por variable meteorológica. Zona Oeste-Temporada de Verano

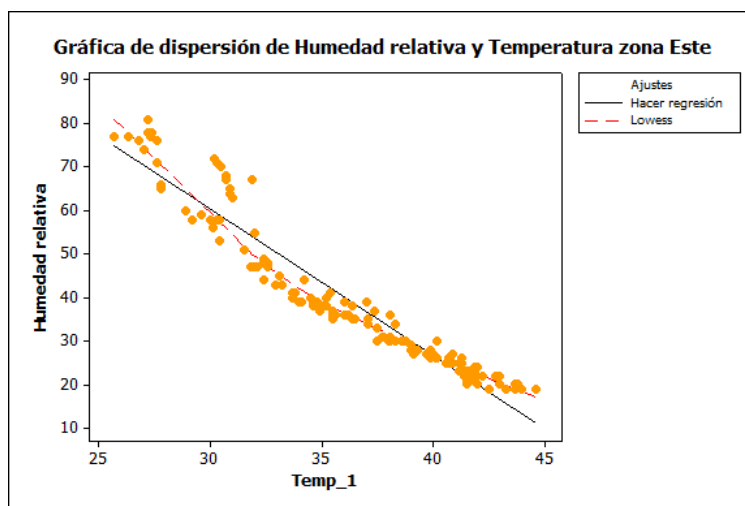
Variable	Media	Mediana	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Máximo	Sesgo	Kurtosis
Temp	36.1	36.4	5.0	24.9	25.7	44.6	-0.26	-1.1
Trad	37.2	37.2	6.3	39.6	26.0	54.7	0.5	-0.13
Hrel	39.9	36.0	17.6	31.0	19.0	81.0	0.81	-0.53
Vviento	0.26	0.2	0.15	0.024	0.1	1.7	6.11	53.17

Tabla 7. Estadísticas descriptivas por variable meteorológica. Zona Este-Temporada de Verano

4.1.7 Análisis de Regresión de la temporada de Verano Zona Este

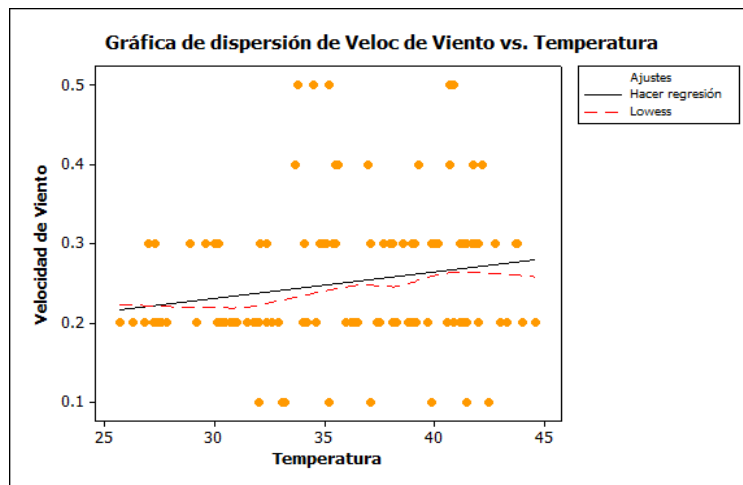
Con el propósito de mostrar la relación que existe entre las variables meteorológicas monitoreadas se construyeron gráficas de dispersión y se estimó, tanto el coeficiente de correlación (R), como el coeficiente de determinación (R^2); en esta sección se muestran los análisis para la temporada de verano en la zona Este. La gráfica 11 muestra la relación lineal de temperatura y humedad relativa, estimándose un coeficiente de correlación $R = 0.96$, y un coeficiente de determinación $R^2 = 0.92$.

Se muestra también la representación gráfica de una curva suave a través del conjunto de puntos de temperatura y humedad relativa que muestra la tendencia sin necesidad de que ajuste a un modelo completamente lineal, como se observa en la línea color roja; el suavizador incluye más puntos que están ligeramente dispersos, dicho suavizador se observa en línea punteada. Se utiliza el suavizador LOWESS para ajustar la relación de dos variables a un modelo que no es completamente lineal.



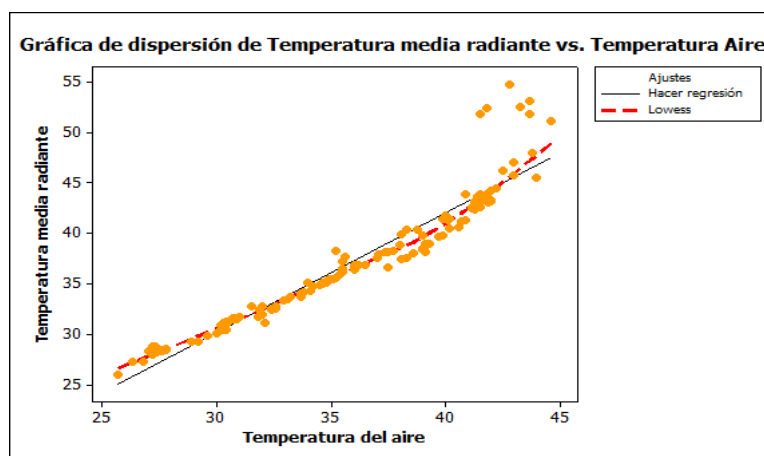
Gráfica 11. Análisis de regresión de humedad relativa y temperatura del aire. Temporada de Verano. Zona Este.

Se observa (gráfica 12) una relación lineal no muy bien definida entre la temperatura del aire y la velocidad de viento, obteniéndose un $R = 0.65$, y un $R^2 = 0.40$.



Gráfica 12. Análisis de regresión de velocidad de viento y temperatura del aire.
Temporada de Verano. Zona Este.

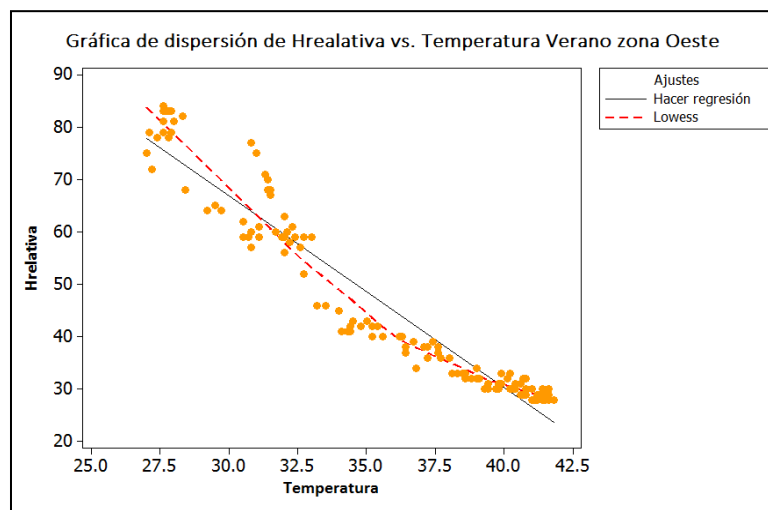
En la gráfica 13 se muestra la relación lineal entre la temperatura del aire y la temperatura media radiante con una tendencia lineal positiva, con un coeficiente de correlación $R = 0.95$, y un coeficiente de determinación $R^2 = .905$. Se observa, a partir de la gráfica de dispersión, que es en los altos valores de temperatura del aire y temperatura media radiante en donde se pierde esta magnífica correlación encontrada.



Gráfica 13. Análisis de regresión de temperatura media radiante y temperatura del aire.
Temporada de Verano. Zona Este.

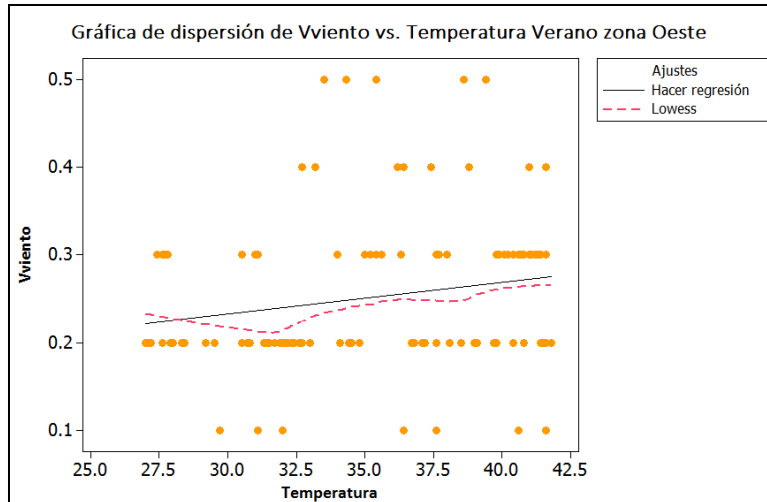
4.1.2.1 Análisis de Regresión de la temporada de Verano Zona Oeste

En la gráfica 14 se muestra el análisis de regresión entre los datos de temperatura del aire y humedad relativa. Se observa que a altos valores de temperatura del aire se presentan bajos valores de humedad relativa, y viceversa, por lo que el coeficiente de determinación tiene un valor $R = -.96$, y un coeficiente de determinación $R^2 = 0.93$, se observa que existe una tendencia lineal de los datos entre temperatura y temperatura media radiante con menos dispersión que en las gráficas de la temporada de invierno.



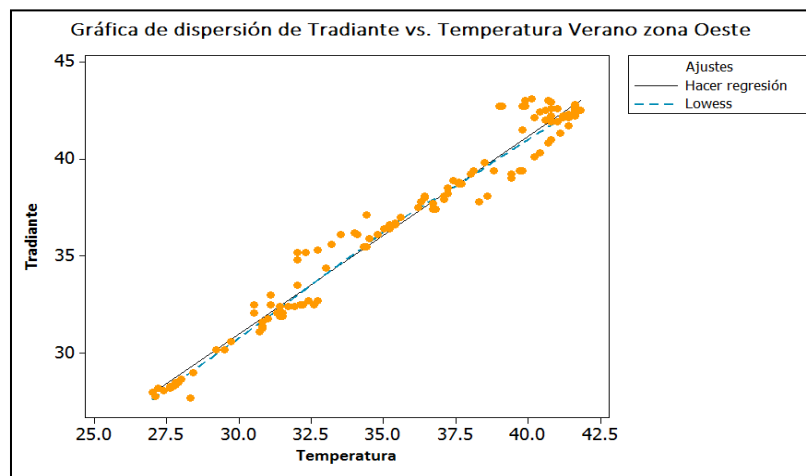
Gráfica 14. Análisis de regresión de humedad relativa y temperatura del aire.
Temporada de Verano. Zona Oeste.

Se observa (gráfica 15) que existe una baja relación lineal entre la temperatura del aire y la velocidad del viento con un $R = 0.65$, y un $R^2 = 0.43$. Este bajo coeficiente de determinación indica que hay un 67% de la variabilidad de la temperatura que no es explicada por la velocidad del viento.



Gráfica 15. Análisis de regresión de velocidad de viento y temperatura del aire.
Temporada de Verano. Zona Oeste.

La temperatura del aire y la temperatura media radiante muestran una tendencia lineal positiva (gráfica 16), con una $R = 0.96$, y un $R^2 = 0.93$. Este coeficiente de determinación indica que el 93% de la variabilidad de la temperatura media radiante puede ser explicada por la temperatura del aire.

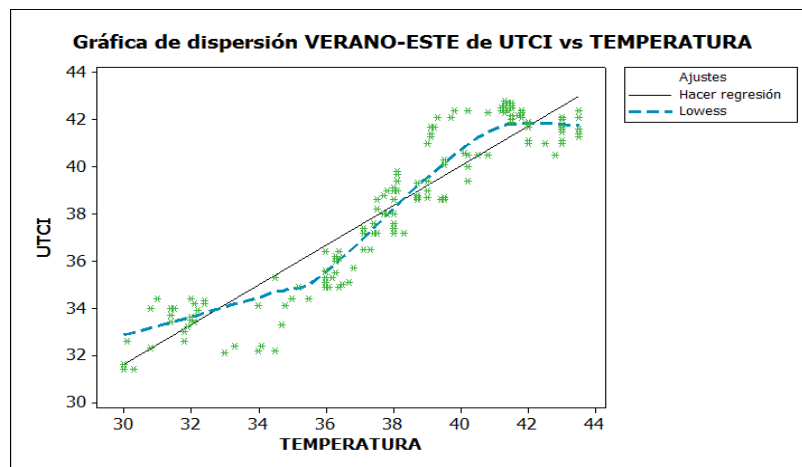


Gráfica 16. Análisis de regresión de temperatura media radiante y temperatura del aire.
Temporada de Verano. Zona Oeste.

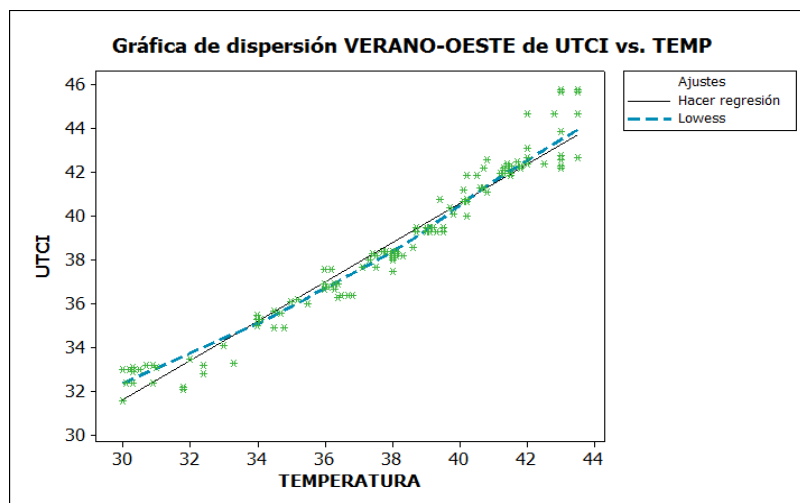
4.1.2.2 Análisis de Regresión de UTCI de Verano, ambas zonas

Para mostrar la relación que existe entre los valores medidos de temperatura del aire y los valores calculados de UTCI para la temporada de verano se construyeron gráficas de dispersión y

se realizó un análisis de regresión lineal. En la gráfica 17 se muestran ambos análisis, encontrándose un coeficiente de regresión en la zona Este de $R = 0.93$, y un coeficiente de determinación $R^2 = 0.87$, lo que implica que un 87% de la variabilidad del UTCI es explicada por la temperatura del aire. En la gráfica 18, correspondiente a la temporada de verano en la zona Oeste, se observa una mayor tendencia lineal de los datos que en la zona Este (gráfica 17), lo cual es puesto de manifiesto con el valor de R que es de 0.97, y el valor de $R^2 = 0.95$. Se observa además que los valores calculados de UTCI fueron mayores en la zona Oeste, comparada con los de la zona Este.



Gráfica 17. Análisis de regresión de Temperatura del aire y UTCI. Temporada de Verano. Zona Este.

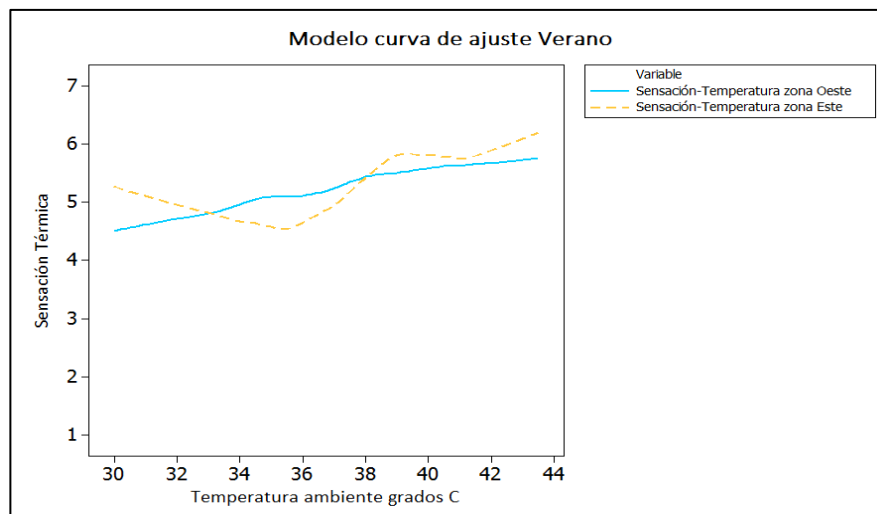


Gráfica 18. Análisis de regresión de Temperatura del aire y UTCI. Temporada de Verano. Zona Oeste.

4.1.2.3 UTCI vs Sensaciones Térmicas, temporada de Verano

Al igual que en la temporada de Invierno, se establece el rango entre +9 y +26 ° UTCI como libre de estrés térmico o dentro de la zona de confort tal como se señala en la escala establecida (ver figura 22, Escala UTCI). En cuanto a las sensaciones térmicas, en la temporada de verano se graficaron las respuestas de las personas encuestadas en lo que se refiere a sensaciones térmicas. En este caso se obtuvieron respuestas de *Ni calor Ni frio*, hasta *Mucho Calor*.

Se observan (gráfica 19) las respuestas de sensación térmica, de acuerdo a la figura 22, y su relación con la temperatura del aire. En la zona oeste (línea azul) las respuestas fueron de *Ni Calor Ni Frio* cuando la temperatura se encontraba en 30 °C, pasando por *Algo de Calor* y *Calor* a medida que la temperatura se fue incrementando. Se obtuvieron respuestas en la zona Este (línea punteada) de *Algo de Calor* a los 36 °C, y *Calor* a partir de los 37 °C. En ambas zonas, Este y Oeste, no se obtuvieron respuesta de *Mucho Calor*.



Gráfica 19. Análisis de regresión de temperatura y sensación térmica, temporada de invierno, zonas este y oeste.

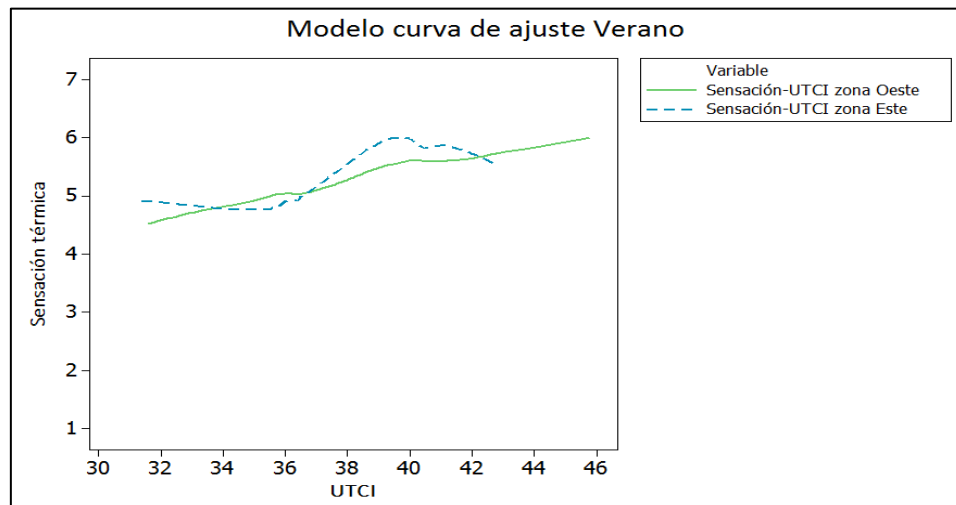
El modelo lineal propuesto para Sensaciones térmicas en la zona Oeste es el siguiente:

$$\text{Sensación Térmica} = 1.88 + 0.0911 * \text{Temperatura del aire}$$

Mientras que para la zona Este, el modelo es el siguiente:

$$\text{Sensación Térmica} = 1.34 + 0.106 * \text{Temperatura del aire}$$

En la gráfica 20 se muestra la relación entre el UTCI y los votos de sensaciones térmicas percibidas por los encuestados. En las escalas de sensaciones térmicas el valor 4 corresponde a *Ni calor Ni frío*. Para la Zona Oeste las respuestas de *Algo de Calor* y *Calor* corresponden en la escala al nivel de fuerte estrés por calor. Los valores calculados para el índice UTCI indican en la zona Oeste un *fuerte nivel de estrés* y la sensación percibida fue *Calor*. A medida que el UTCI va en aumento parece haber correspondencia con los votos de sensación térmica. En la zona Este las respuestas de sensación térmica fueron más variables que en la zona Oeste, con respuestas de *Algo de Calor* cuando el nivel de UTCI indica *fuerte grado de estrés por calor*. A partir de los 37 °C las respuestas corresponden a *Calor* mientras que el UTCI indica *muy fuerte grado de estrés por calor*. En ambas zonas no se registraron respuestas de *Mucho calor*.



Gráfica 20. Análisis de regresión de temperatura y UTCI, temporada de invierno, zonas este y oeste.

El modelo lineal propuesto para Sensaciones térmicas en la zona Oeste es el siguiente:

$$\text{Sensación Térmica} = 1.62 + 0.0962 \text{ UTCI}$$

Mientras que para la zona Este el modelo es el siguiente:

$$\text{Sensación Térmica} = 0.533 + 0.126 \text{ UTCI}$$

CAPITULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del presente estudio indican que el UTCI es una herramienta sumamente útil para evaluar la influencia combinada de la temperatura del aire, viento, humedad relativa y flujos de calor radiante (medidos por la temperatura media radiante) en espacios exteriores, aplicado al estudio de confort térmico de la ciudad de Mexicali, Baja California, México. Su validación, realizada en dos campañas de medición con condiciones climáticas diferentes, y en dos espacios exteriores con características físicas diversas, ha contribuido para extender su rango de aplicación a zonas áridas. Con el propósito de discutir los resultados ya mostrados en el capítulo IV, en las secciones siguientes se comentan las similitudes y diferencias por zonas de estudio, y se realiza un comparativo de este estudio con los realizados en otras partes del mundo.

Zonas de estudio

Para tener un comparativo en la validación del UTCI, se eligieron dos zonas de estudio en los exteriores de la Facultad de Ingeniería de la UABC, a las que se les llamó zona Oeste y zona Este. En estas zonas se aplicaron encuestas y se recabaron datos personales de las personas encuestadas; también se estuvieron monitoreando datos meteorológicos.

La zona Oeste del edificio de la Facultad de Ingeniería se caracteriza por ser un espacio abierto con un área de césped (*Stenotaphrum secundatum*) de aproximadamente 300 m², con algunos árboles del tipo yucateco (*Ficus microcarpa*). En esta zona, donde caminan los estudiantes la rodean algunas palmeras; en el punto de aplicación de las encuestas llegan y salen estudiantes del edificio de la Facultad de Ingeniería, o se dirigen a otro punto del campus de la UABC (ver anexo).

La zona Este del edificio de la Facultad de Ingeniería se caracteriza por ser un espacio abierto, con cercanía al edificio de la Facultad de Arquitectura y Diseño; en esta zona hay árboles de mayor tamaño que de la zona Oeste, del tipo eucaliptos (*Eucalyptus sp.*), y un área de césped (*Stenotaphrum secundatum*) de aproximadamente 200 m². Las encuestas se aplicaron en la puerta de acceso del lado derecho (la puerta más cercana de la Facultad de Arquitectura y diseño) (ver

anexo), es principalmente en este punto donde llegan y salen estudiantes desde o hacia la zona de estacionamiento u otra zona del campus de la UABC.

Los detalles enunciados pueden ser importantes para las respuestas de los encuestados, respecto a su sensación térmica, como se verá a continuación.

Relaciones entre el UTCI y otros elementos climáticos

En la temporada de invierno, la relación encontrada entre la temperatura del aire y el UTCI muestra que en la zona Este el coeficiente de determinación fue de 0.85, mientras que en la zona Oeste fue de 0.82, es decir, la variabilidad del UTCI es explicada un poco mejor con la temperatura del aire en la zona Este. Las bajas velocidades de viento en ambas zonas, y el hecho de que tengan valores medios iguales, no parece ser un factor que influya en este resultado, pero otras variables como la temperatura radiante, que tuvo valores mayores en la zona Oeste, que en la zona Este, y que la humedad relativa fuera mayor en la zona Este que en la zona Oeste, pueden tener su grado de influencia para este resultado lo que tiene una significancia importante, ya que, tomando en cuenta que la trayectoria solar sigue una dirección de Oriente a Poniente, y que la sombra producida por el edificio de la Facultad de Ingeniería va teniendo una importancia creciente conforme avanza el día en la zona Este, y por tanto disminuyendo el efecto de calentamiento del aire muy rápidamente después del mediodía, se observa la contribución que, a nivel micro climático, parecen ejercer los diferentes elementos urbanos de los alrededores del lugar en donde se aplicaron las encuestas y se hicieron las mediciones. La misma discusión pero en sentido inverso, respecto a la sombra proyectada por el edificio se tiene para la zona Oeste, ya que ésta va teniendo una importancia menor conforme avanza el día, aunque después de las 15:00 horas, los árboles mencionados en el párrafo anterior en la zona Oeste, y el edificio de la Facultad de Derecho, empiezan a participar con su sombra y el bloqueo de circulación de aire; toda esta situación provoca un microclima alrededor del lugar de mediciones y de encuestas, y por tanto de la percepción que se tiene del ambiente térmico, tanto a nivel fisiológico, como psicológico. Lo anterior da la pauta para la discusión entre la temperatura del aire, como variable principal en el balance térmico atmosférico y las respuestas de los encuestados expresadas por los votos de

sensación térmica. En la zona Este se identificó que en la temporada de invierno esos votos de sensación térmica fueron de *Frío* hasta *Ni calor Ni frío*, en cambio en la zona Oeste, los votos fueron desde *Algo de Frío* hasta *Ni calor Ni frío*, por lo que de acuerdo a los resultados obtenidos, las personas encuestadas percibieron menor temperatura en la zona Este. En cuanto a la valoración del UTCI y su relación con los votos de sensación térmica se tuvo que la respuesta expresada de sensación térmica es equivalente a la escala de UTCI, encontrándose que solo en la zona Este, los encuestados respondieron que tenían *Algo de Frío*, cuando de acuerdo al UTCI, deberían estar libres de estrés térmico. Esta respuesta de los sujetos al ambiente parece estar dado en función de la hora del día, ya que es cuando el edificio de la Facultad de Ingeniería estaba proyectando sombra en el lugar de aplicación de la encuesta, así que su respuesta parece ser un factor psicológico, más que fisiológico.

Durante la temporada de verano, la relación entre la temperatura del aire y el UTCI, estimada por el coeficiente de determinación fue de 0.87 para la zona Este, y de 0.95 para la zona Oeste, por lo que la variabilidad del UTCI, explicada por la temperatura, al contrario de la temporada de invierno, es ahora mejor explicada en la zona Oeste, ya que solamente un 5% es atribuida a otros factores, mientras que en la zona Este un 13%. La temperatura radiante parece jugar un papel importante en este resultado, por su mayor variabilidad, y valores más altos en la zona Este que en la zona Oeste. Por lo discutido en el párrafo anterior, las diferencias en los elementos urbanos y de vegetación parecen ser importantes en las diferencias encontradas. Respecto a la relación entre la temperatura del aire y los votos de sensación térmica de los encuestados se encontró que a una temperatura de 30 °C no hubo sensación térmica desagradable (*Ni calor Ni Frío*) en ambas zonas. A partir de esa temperatura, en la zona Este, hubo una tendencia lineal de incremento, de tal manera que a los 36 °C la respuesta fue *Algo de Calor*, mientras que a los 37 °C la respuesta fue *Calor*. Una situación interesante se presentó en la zona Oeste en el que no hubo incremento lineal ya que entre los 30 °C y 36 °C las respuestas de los encuestados siguió siendo de *Ni calor Ni Frío*, solamente a partir de los 37° C, la respuesta fue *Calor*. No hubo respuestas de *Mucho Calor* en ambas zonas, a pesar de que hubo temperaturas por arriba de los 40° C. En cuanto al UTCI y los votos de sensación térmica parece haber correspondencia en la

escala y la percepción de los encuestados, sobre todo en la zona Oeste. En la zona Este las respuestas de sensación térmica fueron más variables que en la zona Oeste, con respuestas de *Algo de Calor* cuando la escala de UTCI indica *fuerte grado de estrés por calor*, por lo que no hay una correspondencia precisa entre los votos de sensación térmica y el UTCI con la muestra obtenida. En ambas zonas no se registraron respuestas de *Mucho calor* a pesar de que en la zona Este se registró una temperatura máxima de 44.6 °C, y en la zona Oeste de 41.3 °C, lo cual es notable y digno de comentar, ya que la capacidad de adaptación a un ambiente tan caliente en individuos jóvenes y sanos, física y mentalmente, con una actividad ligera, en un microclima rodeado de vegetación y con sombra producida por edificios, hace que la percepción térmica esté por debajo de las expectativas que se espera encontrar; así, los 46 °C de UTCI de sensación de calor extremo no corresponde con los votos de sensación térmica expresados por los encuestados.

Por otra parte, a nivel internacional, estudios realizados para aplicar el procedimiento operacional del UTCI fue aplicado en áreas peatonales de Curitiba, Brasil (Brode et al., 2011). Los principales objetivos del estudio fueron probar las capacidades predictivas del UTCI, respecto a la evaluación del confort térmico en el campo de la planeación urbana en una región subtropical, y para verificar algunas de las suposiciones del UTCI, incluyendo las definiciones del ambiente de referencia y la adaptación conductual del aislamiento de la ropa a la temperatura ambiental. Se analizaron los votos de sensación térmica comparados a las predicciones del UTCI. Los resultados mostraron que las mujeres elijen menos ropa aislante en condiciones cálidas comparadas a los hombres, y que los valores observados de aislamiento de la ropa dependen de la temperatura, de la estación del año, y potencialmente de la radiación solar. El patrón de elección de la ropa fue bien reflejado por el UTCI, que también suministró buenas predicciones de votos de sensación térmica dependiendo de las condiciones meteorológicas. El análisis por subgrupos indicó que la bondad de ajuste del UTCI fue independiente del género y la edad, y solo una influencia limitada de la estación del año y el índice de masa corporal. Lo anterior sugiere que el UTCI puede servir como herramienta de planeación adecuada para el confort térmico urbano en regiones subtropicales. Otro estudio fue realizado para Glasgow, Reino Unido por Kruger et al., (año) que tiene un clima oceánico (inviernos fríos y veranos frescos) en el que se aplicaron encuestas a los peatones en varias zonas de la ciudad

para comparar los votos de sensación térmica y el UTCI. Otro estudio similar fue realizado en Madrid, España, en el que se estudia el microclima urbano en los espacios abiertos, en este caso no se aplican encuestas, pero si se aplica el índice universal UTCI.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

A partir del trabajo de campo elaborado en las estaciones de invierno y verano en la ciudad de Mexicali, en dos zonas de estudio en la Facultad de Ingeniería del campus UABC, con elementos urbanos y entorno inmediato diferente, se observa que, en principio fue factible aplicar el índice universal térmico de confort (UTCI) con la utilización del software disponible en www.utc.org. Con los recursos y equipo de medición disponible se recabaron los datos de temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y temperatura media radiante, necesarios para el cálculo del índice. El software para evaluar el confort puede ser utilizado en línea o descargado a cualquier computadora para cualquier aplicación.

De acuerdo a la hipótesis planteada al inicio de este trabajo se puede concluir que el UTCI si se puede aplicar a las condiciones extremas del clima de la ciudad de Mexicali, y también que la comparación de la escala de ese índice con las respuestas de confort térmico obtenidas durante las encuestas aplicadas es correspondiente con lo encontrado de manera general; más adelante se comenta de manera detallada este hallazgo y sus limitaciones.

Con respecto al objetivo general se logró su cumplimiento ya que se validó el UTCI y su relación con los votos de confort térmico en áreas exteriores de la ciudad de Mexicali, B.C.; se calcularon valores del UTCI para cada encuesta realizada, y se relacionaron con las variables que fueron recabadas al momento de la aplicación de la encuesta. En principio se tomó como estado de confort a la respuesta del encuestado de *Ni calor Ni Frío*, y el rango postulado por el UTCI para esa sensación entre 9 y 25 centígrados.

Respecto a los objetivos específicos planteados se concluye lo siguiente.

Se evaluó el confort térmico aplicando el UTCI, tanto en invierno como en verano. La escala propuesta por el índice está dentro de los límites de registro de las variables meteorológicas. La relación entre el UTCI y las sensaciones térmicas percibidas por los encuestados varía de acuerdo a la zona de estudio. Para las condiciones de invierno se encontró que para la Zona Este las respuestas de *Frío* y *algo de Frío* corresponden al valor de la escala de entre 5 y 9 UTCI, dicho valor

se relaciona con la de *Ligero estrés por frío* con las respuestas de sensaciones térmicas. Se destaca que solo en la zona Oeste alrededor de los 24° C se encontraron respuestas de *confort* y en general en la zona Este, la respuesta fue *Algo de Frío* cuando el índice indica que el ambiente está libre de estrés térmico. En el verano las respuestas de las personas encuestadas en lo que se refiere a sensaciones térmicas fue de *Ni calor Ni frío* hasta *Calor*; no hubo respuestas de *Mucho calor* a pesar de que la temperatura en ambas zonas excedió los 40 °C. Este resultado contradice las expectativas de lo que se esperaba encontrar, por lo que el entorno inmediato, la actividad ligera de los sujetos, su edad y su capacidad adaptativa son factores que podría explicar tal respuesta. Es decir el UTCI sobrevalora el nivel de estrés térmico en la temporada de verano comparada con la respuesta de los encuestados.

La relación entre la escala del UTCI y la temperatura del aire coinciden apreciablemente tanto en invierno como en verano, de acuerdo a los coeficientes de determinación encontrados en ambas zonas de estudio, por lo que es un parámetro útil y alternativo para evaluar el confort térmico en condiciones exteriores en las zonas de estudio con personas sanas, jóvenes y realizando actividad ligera.

La validación del UTCI, a pesar de mostrar sus bondades y tener correspondencia cercana con los votos de sensación térmica expresado por los encuestados, bajo ciertas circunstancias de tiempo y lugar, y que parece ser apropiado, de manera general, para las condiciones climáticas locales de invierno y verano, no es posible reconocerlo en su característica de universal por lo ya comentado; una recomendación sería que el rango en su escala de sensaciones térmicas se debería ampliar, sobre todo en la categoría de *fuerte estrés por calor*, que va de +32 a +38, ya que en los casos bajo estudio, con valores de UTCI superiores a +40, los sujetos entrevistados manifestaron una sensación térmica solamente de *calor*, lo cual es síntoma de adaptación y otros factores como la edad y el tipo de actividad que se encontraban realizando. También se observó una clara diferencia en la respuesta térmica de los sujetos, que depende de la zona de estudio, por lo que el entorno inmediato, generador de un microclima que tal vez mitiga el calor por sus áreas verdes y sombras de los edificios, es importante para la sensación expresada. Este trabajo contribuye como muchos

otros estudios realizados en diversos países a validar la universalidad del índice propuesto, para cuyos casos específicos deberá analizarse las condiciones bajo las que se lleven a cabo cada estudio, pudiendo diferir en algunos de ellos dependiendo del clima o actividad del estudio. De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el UTCI es aplicable, solamente de manera parcial, a los estudios de confort térmico al exterior con actividad física ligera en la Ciudad de Mexicali en las temporadas de verano e invierno.

Se recomienda validar la aplicación del índice bajo otras condiciones del clima de la ciudad como episodios de alta humedad o fuertes vientos (dentro de los límites señalados por UTCI), o en las temporadas de primavera u otoño de la ciudad de Mexicali.

También, aunque el modelo UTCI contempla intrínsecamente el factor de arropamiento, es recomendable explorar localmente este factor y relacionarlo con su estado de confort térmico.

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS

1. Acuña, E., F.B. Olea, A. Cázares, A. Loy, M. Macalpin, 1988: Diseño bioclimático, su aplicación en la vivienda en Mexicali a través de patrones. Memoria I Reunión Nacional de Energía y el Confort, Inst. Ing., UABC, 188-193.
2. Alpuche, M, G; Heard C., Best, R., (2005). Energy analysis of the air cooling systems in buildings in hot humid climates. *Applied Thermal Engineering* 25: 507-517.
3. Ángulo, C., Muñoz, O., Barradas, V., (2004). Estudio del bioclima humano en dieciséis localidades del estado de Tabasco mediante el índice de confort de temperatura efectiva. *Universidad y Ciencia* (40), pp. 69-80.
4. American Society of Heating (ASHRAE) (1985). Editorial Index. ANSI/ASHRAE 55-2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, pp.30
5. Auliciems, A., 1993: Thermoregulatory adaptation to global warming - winners and losers. *Proc. 13th Int. Congress Biometeorology*, 109-122.
6. Barradas, V.(1990). Air Temperature and humidity comfort index of some city parks of Mexico City. *Biometeorology International Journal*, (35), pp. 24-28.
7. Bindon, H. H. (1965) A critical review of tables and charts used in Psychrometry. In humidity and moisture: Measurement and control in science and industry. pp 3-15.
8. Blazejczyk, K; Broede P; Fiala, D. (2010). Principles of the New Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European Scale. *Miscellanea Geographica*. 14: pp. 91-102.
9. Blazejczyk, K; (2011). Mapping of UTCI in local scale the case of Warsaw. *Prace I Studia Geograficzne WGSR UW*. 47: pp. 275-283.
10. Boerstra, A. (2010). Personal Control in future thermal comfort standards. Windsor Conference 2010.
11. Bojórquez-Morales, G. (2010). Confort térmico en exteriores: actividades en espacios recreativos, en clima cálido seco extremo. Tesis de Dr. en Arquitectura, Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura y Diseño, Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura, 504 pp.

12. Brager, G., Cooper, D. (1998). Developing and adaptive model of thermal comfort and preferences (Final Report on RP-884). ASHRAE and Macquarie Research Ltd.
13. Bröde, P., Kruger, E., Rossi, A.F., Fiala, D. (2012). Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI—a case study in Southern Brazil. *International Journal of Biometeorology* 56, 3:471-480.
14. Bröde, P., Kruger, E., Fiala, D. (2013). UTCI: Validation and Practical Application to the assessment of Urban Outdoor Thermal Comfort. *Geographia Polonica*. 86: pp11-20.
15. Campbell, G y Norman, S. (1998). *Introduction to Environmental Biophysics*. Springer, Cap 3. pp. 10-13.
16. Cervantes, J. M. Vargas y V. Barradas. Clima, urbanización y uso de suelo en ciudades tropicales de México en *Ciudades*, N° 51, 2001, pp. 19-24.
17. Comparán de L, G.A., 1990: El diseño de espacios abiertos y su conformación microclimática en regiones árido secas. *Memoria II Reunión Nacional de Energía y el Confort*, Inst. Ing., UABC, 186-189.
18. Cubillas, T.L.G., 1988: Estudio del comportamiento térmico de viviendas de interés social en Mexicali, B.C. *Memoria I Reunión Nacional de Energía y el Confort*, Inst. Ing., UABC, 60-65.
19. Capelli de Steffens (2005). *El Clima Urbano de Bahia Blanca*. pp.22-25.
20. Darby, S. White, R. (2005). *Thermal Comfort*. Universidad de Oxford.
21. Epstein, Y., & Moran, D. S. (2006). Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. *Industrial Health*, 44. ,pp. 388–398.
22. Espinosa, C.M., 1994: *Bioclimatología Urbana de la ciudad de México*. Tesis Lic. Geogr., Fac. Fil. y Letras, Col. Geogr., UNAM, 140 pp.
23. Fanger, P.O., 1970: *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. Danish Technical Press, Copenhagge, 244 pp.
24. Freitas, C. (1985). Assesment of Human Bioclimate based on thermal response. *International Journal of Biometorology*, (29), pp. 97-119.
25. García-Cueto O.R, A. Valdés y E. Jáuregui, 1987: Una valuación preliminar del bioclima de Mexicali, B.C., *Memorias Unión Geofísica Mexicana*, pp. 289-298.

26. García-Cueto O.R. y A. Valdés, 1988: Consideraciones Bioclimáticas de la ciudad de Mexicali, B.C. Memoria I Reunión Nacional de Energía y el Confort, Inst. Ing., UABC, 44-47.
27. García-Cueto O.R., y A. Valdés, 1988: Un estudio preliminar de la climatología dinámica del Valle de Mexicali, B.C., Mex., Memorias Congreso Interamericano, México, D.F., pp. 303-309.
28. García-Cueto O.R., 1990: La orientación como un elemento pasivo en el ahorro de energía y el confort ambiental: aplicación de factores climáticos locales. Memoria II Reunión Nacional de Energía y el Confort, Inst. Ing., UABC, 299-304.
29. Givoni, B., and E. Berner-Nir, 1967: Effect of solar radiation on physiological heat strain in relation to work and clothing. Research Report, Building Research Station Technion Haifa.
30. Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. EE. UU.: International Thomson Publishing, Inc.
31. Givoni, B., 1986: Design for climate in hot, dry cities. Proc. of the Techn. Conference Urban Climatology and its applications with special regard to tropical areas, W.M.O., No. 652, 487-513.
32. Gómez-Azpeitia, G., Gonzalo Bojórquez, M., Ruiz Torres, R. P. (2007). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. Revista de investigación científica en Arquitectura, Universidad de Colima , Vol. 2, Núm. 1.
33. Gulyas, A; Unger J., Matzarakis. A. (2006). Assessment of the microclimate and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. Building and Environment (41), pp. 1713-1722.
34. Higuera, Ester (2012). El microclima en los espacios abiertos. Universidad de Madrid.
35. Hobaica, M., Sosa, E., Rosales, L., (2000). Influencia de los componentes constructivos en la temperatura al interior de las viviendas. Revista Interciencia. (25), pp. 133-142.
36. Höppe P. (1999) The physiological equivalent temperature universal index for the biometeorological assessment of thermal environment. Int J Biometeorol, 43, pp. 71-75.
37. Höppe P. (2002) Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. Energy and Buildings, 34: pp. 661-665.
38. Indraganti, M. (2010). Thermal comfort in naturally ventilated apartments in summer: Findings from a field study in Hyderabad, India. Applied Energy 87: 866-883.

39. Indraganti, M. and Rao M. (2010). Effect of age, gender, economic group and tenure on thermal comfort: A field study in residential buildings in hot and dry climate with seasonal variations. *Energy and Buildings* 42: 273–281
40. International Organization for Standardization (1995) ISO 10551: 1995, Ergonomics of the thermal environment – assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales, ISO.
41. International Organization for Standardization (1998) ISO 7726: 1998, Ergonomics of the thermal environment – instruments for measuring physical quantities, ISO.
42. International Organization for Standardization (2005) ISO 7730: 2005, 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, ISO.
43. Ittelson, W.H., Proshansky, H.M., Rivlin, L.G., y Winkel, G.H. (1976) *An introduction to environmental psychology*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
44. Jáuregui, E., 1971: Evaluación del Bioclima en dos clínicas de la ciudad de México. Bol. No. 4, Inst. Geogr, UNAM, 23-36.
45. Jáuregui, E., 1989: Meteorological and environmental aspects of dust storms in northern Mexico. Proc. 11th ISB-Congress, Academic Publishing, pp. 369-375
46. Jáuregui, E., 1990: Distribución de la temperatura efectiva en México. Memoria II Reunión Nacional de Energía y el Confort, Inst. Ing., UABC, 136-139.
47. Jáuregui E, Cervantes J and Tejeda A,(1997). Bioclimatic conditions in Mexico city-an assessment. *Int. J. Biometeorol.* (40),pp. 166-177.
48. Jendritzky, G., and W. Nubler, 1981: A model analyzing the urban thermal environment in physiologically significant terms. *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B.*, 29, 313-326.
49. Jendritzky G. and A. Gratz, 1993:Modelling the Urban Climate for Planning Purposes. Proc. 13th Int. Congr. Biometeorol., part 2, Vol. 3, 792-905.
50. Jendritzky, G (2010) 'UTCI, Universal Thermal Climate Index' <http://www.utci.org> (Accesed: Agosto 2013).
51. Jendritzky, G; De Dear R; Havenith, G; (2012) UTCI- Why another thermal index. *Int J Biometeorol.* 56: pp. 421-428.

52. Katsschener, L. (2004). A Simplified Method to derive thermal comfort conditions in open spaces.
53. Kuchartz, T (2011) 'Guía de conocimiento sobre medio ambiente' <http://www.gloobal.info> (Accesed: Octubre 2010).
54. Lee, D.H.K., 1980: Seventy-five years of searching for a heat index, *Environmental Research*, 22, 331-356.
55. Lin, T-P., de Dear, R., and Hwang, R-L., 2011. Effect of thermal adaptation on seasonal outdoor thermal confort. *Int. J. Climatol.* 31: 302–312.
56. McCartney, K. and Nicol, F. (2002). Developing and adaptive control algorithm for Europe. *Energy and Buildings*, 34. pp. 623-635.
57. Mayer H. Hoppe P. (1986). Thermal Comfort of Man in different urban environments. *Theorical and Applied Climatology Journal*. (38), pp. 43-49.
58. Mayer H. and Hoppe P., 1987: Thermal Comfort of Man in Different Urban Environments. *Theor. Appl. Climatol.*, 38, 43-49.
59. Mengyin, W., Hideaki, N., Shinsuke, K., Ryoza, O., Tomonori, S., Shengwei, Z., Toshiaki, O., Akiko, O., (2010). Thermal Comfort prediction under non-uniform heating condition. Cumberland Lodge, Windsor Conference.
60. Miranda, M.U., 1993: Un índice de confort a partir del balance energético humano. Tesis Lic. Fis., Fac. Fis. U.V., 106 pp.
61. Morales, S.L.Y., 1988: Adecuación de vivienda. Memoria I Reunión Nacional de Energía y el Confort, Inst. Ing., UABC, 124-127.
62. Nieuwolt, S., 1984: Design for climate in hot humid cities. *Proc. of the Techn. Conference Urban Climatology and its applications with special regard to tropical areas*, W.M.O., No. 652, 514-534.
63. Nastos, P.T. and Matzarakis A. (2011). The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece. *Theoretical Applied Climatology*, DOI 10.1007/s00704-011-0555-0
64. Nikolopoulou, M; and Steemers, K. (2003). Thermal confort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*. 35. 95-101.
65. Olgyay, V., 1963: *Design with Climate*. Princeton University Press, New Jersey, 190 pp.

66. Ruiz, R., Castañeda, G., Jiménez J. (2010). Evaluación del confort térmico en clima cálido sub-húmedo. Congreso Internacional Academia Journals. Chiapas, México.
67. Santamouris, M. (2006). Environment Design of Urban Buildings, James and James Science Publishers, London, UK. pp. 305-325.
68. Shaihin H.(2010) Human with Nature. Cumberland Lodge, Windsor Conference.
69. Siple,P., and Passel, C. (1945). Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. Proceedings of the American Philosophical Society 89(1):177–199
70. Soto, C. and E. Jáuregui, 1968: Wet bulb temperature and discomfort index areal distribution in Mexico. *Int. J. Biometeorol.*, 2, 1, 21-28.
71. Terjung, W.H., 1967: World pattern of the distribution of the monthly comfort index. *Int. J. Biometeor.* 12, 119-151.
72. Thorsson S., Knez Igor. (2006) Influences of Culture and Environmental attitude on thermal emotional and perceptual evaluations of outdoor places. *International Journal Biometeorol.* 50: pp. 258-268.
73. Tornero, J; Pérez Cueva, A. (2006) Ciudad y Confort ambiental: Estado de la cuestión y aportaciones recientes. 80: pp. 1-36.
74. Tudela F., 1982: Ecodiseño. Universidad Autónoma Metropolitana, 233 pp.
75. Tuller, S.E. (1997): Climatic controls of the cool human thermal sensation in a summertime onshore wind. *International Journal of Biometeorology*, 41, pp.26-33.
76. Urban, A. and Kyselý, J. (2014). Comparison of UTCI with Other Thermal Indices in the Assessment of Heat and Cold Effects on Cardiovascular Mortality in the Czech Republic. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 11, 952-967; doi:10.3390/ijerph110100952
77. Valdés M.A., y R. García-Cueto, 1988: Relación entre el consumo de energía eléctrica y la temperatura en la ciudad de Mexicali, B.C. Memoria I Reunión Nacional de Energía y el Confort, Inst. Ing., UABC, 40-43.
78. Vázquez, T.J.E., 1988: Efectos de cubrepisos en las temperaturas del subsuelo. Aplicaciones arquitectónicas en una ciudad de clima cálido seco del desierto de Sonora. Memoria I Reunión Nacional de Energía y el Confort, Inst. Ing., UABC, 54-59.

79. Venegas, C.F.R., 1990: La vegetación como una estrategia en el uso racional de la energía. Memoria II Reunión Nacional de Energía y el Confort, Inst. Ing., UABC, 296-298.
80. Ye, G., Yang Ch., Chen, Y., and Li, Y. (2003). A new approach for measuring predicted mean vote (PMV) and standard effective temperature (SET*). Building and Environment 38: 33 – 44

ANEXO 1. ENCUESTA EJEMPLO



Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Ingeniería
La Evaluación del Confort Bioclimático en Mexicali, B.C.
Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería
Ing. Almendra Solórzano Dávila,
Dr. Rafael García Cueto (Director de Tesis), Dr. Gonzalo Bujáquez (Co-Director de Tesis)



A. Captura

FECHA CAPTURADO (DÍA/MES/AÑO)	11/5/2011
CAPTURADOR	Michael Ortega José Armandito

FOLIO 501

CAPTURADO	☒
REVISADO	☐

B. Control Encuesta

1 ENCUESTADOR	Vanessa Rendon Burgos	
2 ZONA DE VAGACIÓN	2 Zona Oeste	3 Zona Este ☒

C. Datos Generales

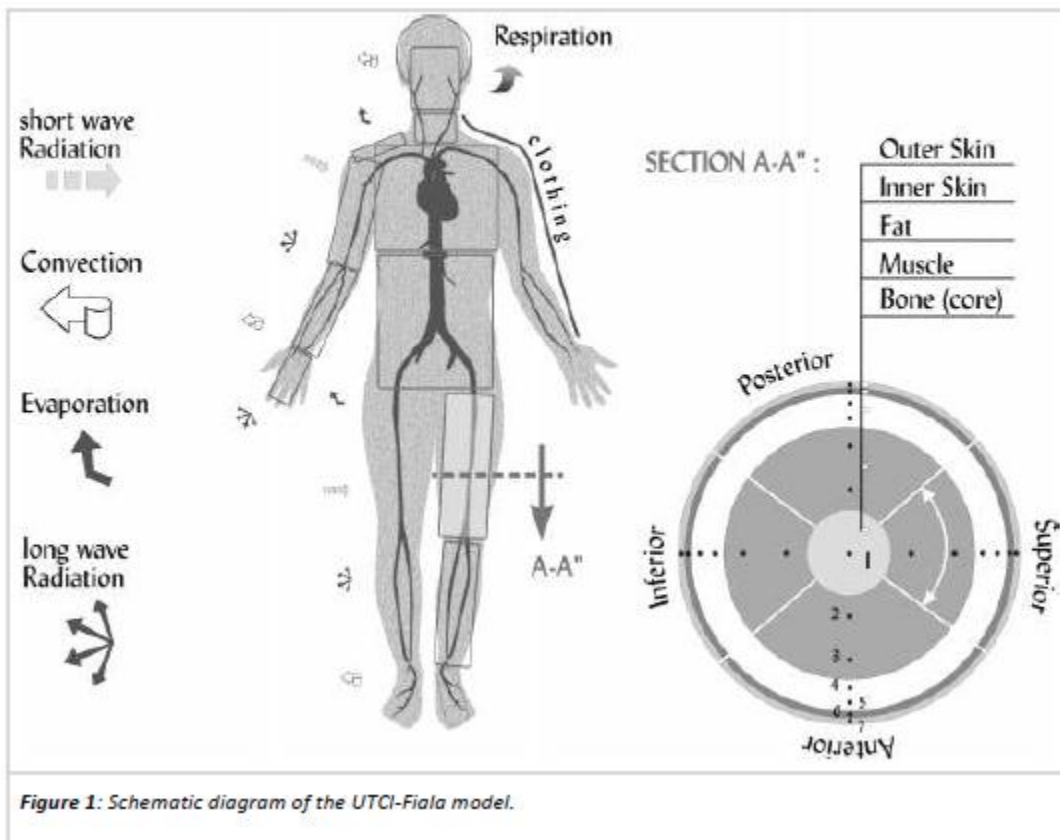
3 Fecha (día/mes/año)	24 Febrero 2011		4 H. Inicio (hr:min)	8:23	5 H. Fin (hr:min)	8:23
1 Nombre	Carlos Alan Lopez Cervantes	2 Sexo	F () M ☒	3 Edad	18	4 años

D. Percepción del ambiente térmico

	I	II	III	IV	V	VI	VII
Sensación térmica							
5 ¿Cómo se siente usted en este momento?	Mucha frío ()	Frio ()	Algo de frío ()	Ni calor ni frío ☒	Algo de calor ()	Calor ()	Mucho calor ()
Sensación de humedad							
6 ¿Cómo siente la humedad en su piel en este momento?	Muy húmeda ()	Húmeda ()	Algo húmeda ()	Normal ☒	Algo seco ()	Seco ()	Muy seco ()
Sensación de viento							
7 ¿Cómo siente el viento usted en este momento?	Nada de viento ()	Poco viento ☒	Viento agradable ()	Viento algo fuerte ()	Viento muy fuerte ()		
Sensación de radiación							
8 ¿Cómo siente la radiación del sol en su piel en este momento?	Sin radiación ()	Poca radiación ()	Radiación agradable ☒	Radiación algo fuerte ()	Radiación muy fuerte ()		
Preferencia térmica							
9 ¿Cómo preferiría usted estar/sentirse en este momento?	Mucho más fresco ()	Más fresco ()	Un poco más fresco ()	Sin cambio ☒	Con un poco más de calor ()	Con más calor ()	Mucho más caluroso ()
Preferencia de humedad							
10 ¿Qué preferiría en este momento con respecto a la humedad?	Mucho más húmedo ()	Más húmedo ()	Un poco más húmedo ()	Sin cambio ☒	Un poco más fresco ()	Más seco ()	Mucho más seco ()
Preferencia de viento							
11 ¿Qué preferiría en este momento con respecto al viento?	Preferiría más viento ()	Sin cambio ☒	Preferiría menos viento ()				
Preferencia de radiación							
12 ¿Qué preferiría en este momento con respecto a la radiación solar?	Preferiría más radiación ()	Sin cambio ☒	Preferiría menos radiación ()				
Aceptación personal del ambiente							
13 ¿Cómo considera el clima?	Generalmente aceptable ()	Generalmente inaceptable ☒					
Tolerancia personal							
14 ¿Qué tan tolerable le parece el clima en este momento?	Perfectamente tolerable ()	Tolerable ☒	Ugicamente tolerable ()	Intolerable ()	Extremadamente intolerable ()		

ANEXO 2. FIGURA ESQUEMATICA UTCI-FIALA MODEL

Figures



ANEXO 3. MANUAL DE ENCUESTA

Presentación del Manual de Encuesta

El presente manual de encuesta está dirigido a los encuestadores y personal de apoyo que colaborarán en la aplicación de encuestas del estudio: ***Evaluación del Confort térmico en Mexicali, B.C.***

En el presente documento encontraran la estructura de la encuesta y la descripción del equipo de medición misma información que fue impartida en capacitación a los colaboradores.

El principal propósito de este manual es que se encuentren informados acerca del proceso de encuesta y si es posible reducir el mínimo de errores al momento de contestar las encuestas.

Objetivo de la aplicación de Encuestas

El instrumento de encuesta sirve para obtener información por medio de preguntas de una muestra representativa o del conjunto total de la población bajo estudio. En este estudio de confort térmico en Mexicali, el objetivo de aplicar encuestas es conocer la percepción térmica de las personas respecto al clima cuando se encuentran en actividad pasiva.

Equipo de Medición

- 1.- Monitor de estrés térmico Quest temo 36
- 2.-Medidor de flujo de aire (anemómetro)
- 3.-Cinta métrica
- 4.-Báscula
- 5.- Monitor de presión
- 6.- Termómetro de oído

I . MONITOR DE ESTRÉS TERMICO QUEST TEMP 36

1. Vista principal y sensores

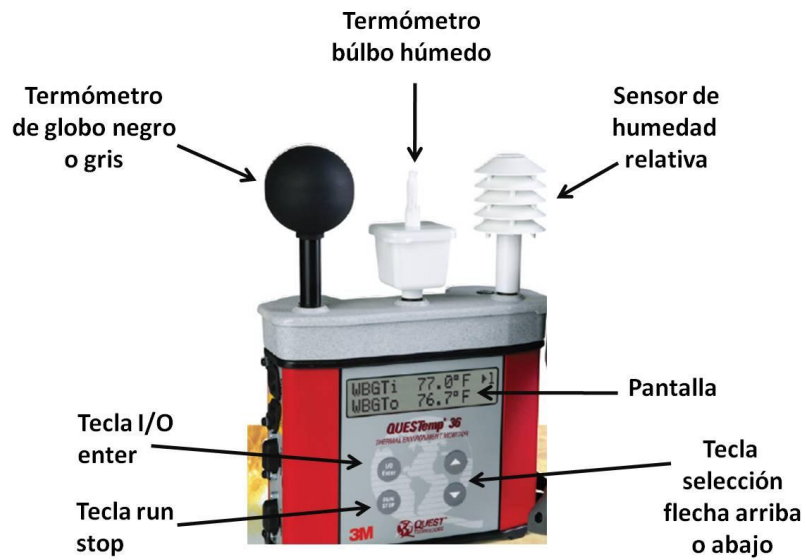


Fig. 1

2. Utilización



Fig. 2

El monitor de estrés térmico deberá ser colocado a una altura de 1.20 mts para personas que realizan actividades de pie, para colocarse a la altura indicada debe ir sobre un tripié para mantener el equipo alejado de obstrucciones de fuentes radiantes de calor o flujo de aire.

3. Encendido y puesta en marcha

- 1) Asegurarse que la mecha de búlbo húmedo se encuentre limpia.
- 2) Llenar el depósito con agua destilada.
- 3) Colocar el monitor sobre el tripie y ajustarlo a la altura de 1.20mts
- 4) Encender la unidad presionan el botón I/O Enter
- 5) Si el voltaje de la batería es igual o menor a 6.4 voltios debe reemplazar la batería.
- 6) Una vez que se muestra la pantalla con opciones como la figura 3:

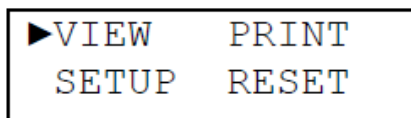


Fig.3

- 7) Con la flecha hacia abajo mover hacia SETUP y presionar el botón I/O enter.
- 8) Asegurarse que se encuentre en grados Celsius.
- 9) Presionar RUN STOP para volver a la pantalla anterior.

4. Reemplazar batería

Si al encender usted nota que requiere reemplazar la batería deberá voltear la unidad por la parte trasera y remover los tornillos que se encuentran en la puerta. Reemplaza la batería de 9 volts asegurándose que el selector al lado izquierdo se encuentre en 9V. Colocar los tornillos nuevamente.



Fig.4

5. Mediciones

- 1) El equipo mide 4 parámetros: 1. Bulbo seco (T), 2. Bulbo húmedo (BH), 3. Temperatura de globo negro o gris(G) y humedad relativa(HR). Además estima el índice térmico Wet Bulb Globe (TGBW) que en este caso se le llamará TGBH.
- 2) Al mostrar la pantalla como en la figura 3, una vez que la flecha indicadora se encuentre en VIEW presione el botón I/O enter.

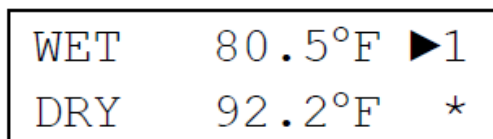


Fig.5

Se mostrará la temperatura del búlbo húmedo y seco (en el ejemplo se muestra en grados F) . El número 1 desplegado en el lado derecho de la pantalla indica el sensor que está siendo utilizado. Un asterisco en la parte derecha abajo indica cuando se encuentra en modo automático grabado datos.

- 3) La siguiente pantalla 2 GLOBE (bulbo para calor irradiado)
- 4) Pantalla 3 muestra WBDGTi y WBGTo para mediciones en interiores y exteriores.
- 5) Pantalla 4 muestra RH (Humedad relativa) y HI o HU (Indice de calor o Humidex)
- 6) Pantalla 5 muestra Air flow(si se encuentra encendido)

- 7) Pantalla 6 muestra Stay time data que son los intervalos de tiempo a los que se desea hacer la medición.
- 8) Pantalla 7 muestra TIME y DATE, fecha y hora del equipo.
- 9) Pantalla 8 muestra BAT y MEM que son batería y memoria disponible en días.

II. MEDIDOR DE FLUJO DE AIRE(ANEMOMETRO)(AIR PROBE 9) UNIDO

AL EQUIPO QUEST TEMP 36



Fig. 6

El medidor de flujo de aire puede medir en rangos de 0 a 20 m/s en incrementos de 0.1 m/s. El sensor debe ser colocado en posición perpendicular al flujo de aire. En este caso el anemómetro no requiere ser rotado para encontrar la lectura máxima. Se debe ser cuidadoso de no bloquear el flujo el aire con el cuerpo mientras se realizan las mediciones. La punta o aguja del sensor es frágil por lo que se debe tener extrema precaución.

El anemómetro debe ser montado en el equipo utilizando la base o bracket que viene con el equipo. Un indicador en color verde muestra cuando el anemómetro está encendido y la batería es suficiente para hacer mediciones. Si el indicador verdes se apaga mientras que el switch se encuentra en posición ON se debe reemplazar o cargar la batería.

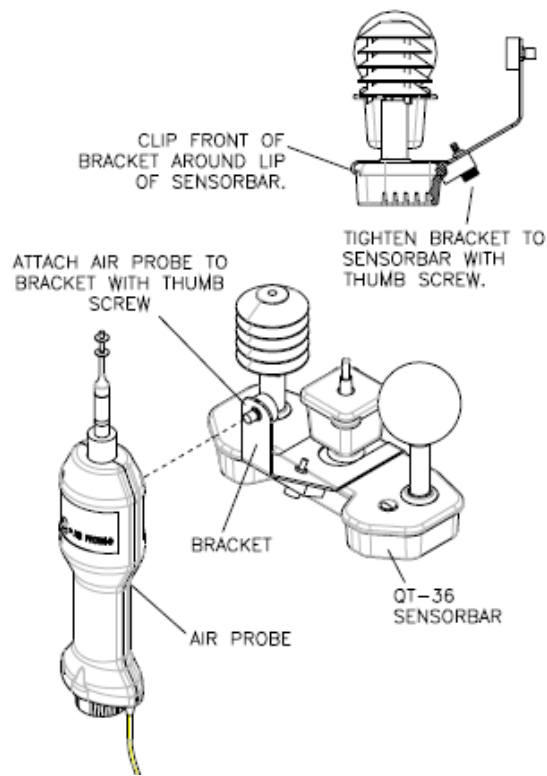


Fig. 7

6. Puesta en marcha

- 1) En la pantalla SETUP del Quest temp 36 debe estar en FLOW ON para asegurarse que el equipo funcione.
- 2) Coloque el anemómetro como se muestra en la figura 7 asegurándose que quede bien sujeto.
- 3) Encienda el anemómetro, el indicador color verde debe encender.
- 4) En cualquier opción VIEW o RUN en la pantalla del Quest 36 el medidor de flujo de aire es la quinta pantalla de la secuencia.

7. Reemplazar batería del anemómetro

El anemómetro utiliza una batería recargable que tiene una duración entre 6 y 8 horas.

Para reemplazarla debe tomar el equipo por la parte inferior y debe presionar y girar la tapa en sentido contrario a las manecillas del reloj, retire hacia afuera la batería. Inserte una batería cargada y cierre.

III. CINTA METRICA PARA MEDIR DE ESTATURA



Fig. 8

- 1) Primeramente debe tener precaución al utilizar la cinta ya que los bordes en algunos tipos de cintas son ligeramente delgados y con cierto filo. No toque los bordes solamente la punta de metal que se encuentra al inicio de la cinta.
- 2) Para iniciar la medición la persona debe estar de pie sobre una superficie plana completamente derecha, cabeza derecha, hombros relajados, brazos a los lados, piernas estiradas y rodillas juntas. Si la persona viste gorra o sombrero deberá solicitar amablemente que se lo retire únicamente para la medición.

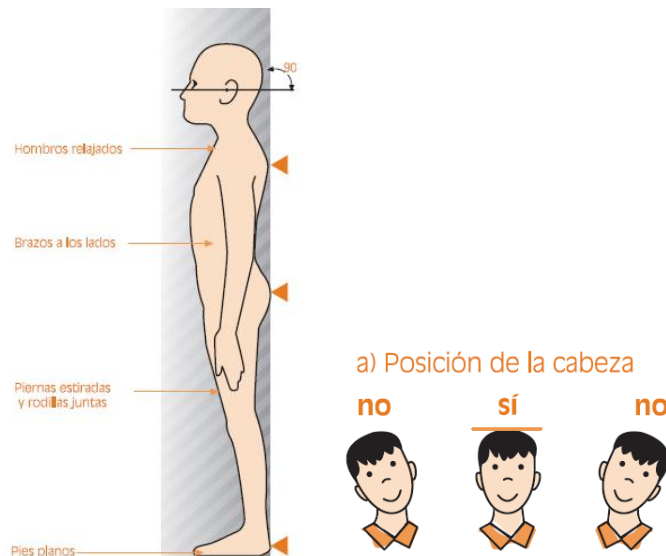


Fig. 9

- 3) Colocarse a un lado de la persona a la que va a medir su estatura y estirar la cinta colocando la punta metálica hacia debajo de manera que una vez que toque el piso usted pueda sujetarlo con su pie, estire la cinta hasta llegar a la altura de la persona sin tomar en cuenta el cabello.
- 4) Tome la medida en centímetros.
- 5) Otra manera de tomar la estatura es encontrando una pared cercana a usted o superficie plana perpendicular al piso. Y haciendo mediciones por ejemplo hasta los 200 cm puede marcar con una cinta la medida en la pared, otra medición a los 180 cms y así sucesivamente estableciendo una escala de medición que sea práctica para realizar la medición de estatura.
- 6) Posteriormente se pide a la persona que se coloque junto a la pared siguiendo las instrucciones descritas anteriormente y se toma la medición en centímetros.

IV. BASCULA PARA MEDIR PESO CORPORAL

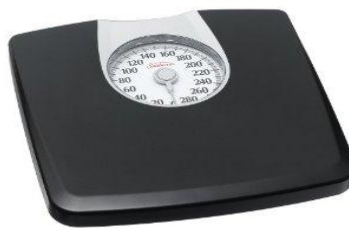


Fig. 10

- 1) Coloque la balanza sobre una superficie plana. Es preferible una superficie firme para obtener una mayor precisión en el peso. Si coloca la balanza sobre una alfombra suave y profunda, se puede ver afectada la precisión del peso indicado.
- 2) Gire la perilla de calibración en la parte inferior de la balanza hacia la derecha o hacia la izquierda hasta que el indicador de peso coincida con el número cero.
- 3) Párese sobre la balanza y coloque los pies de tal manera que el peso quede distribuido uniformemente sobre toda la plataforma de la balanza.

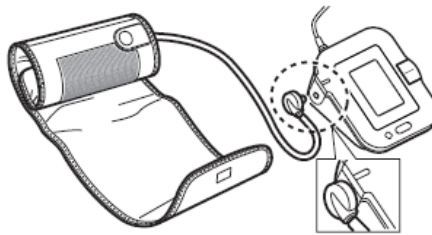
Para propósitos del estudio las personas se subirán a la bascula vistiendo zapatos.

V. MONITOR DE PRESION



Fig. 11

- 1) Asegurarse que el cordón de la banda del brazo esté conectada a la unidad



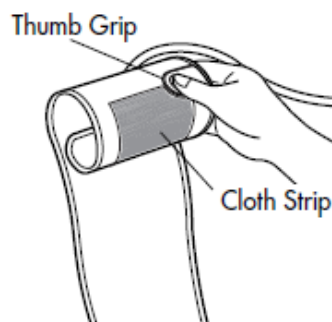
- 2) Descubrir la parte alta del brazo



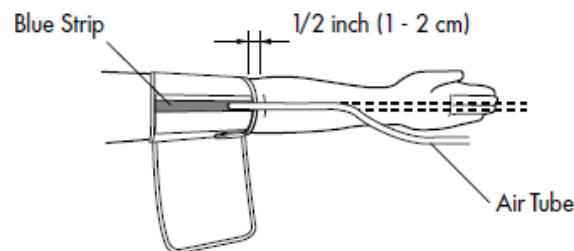
- 3) La persona debe estar sentada con los pies completamente en el piso, colocando el brazo izquierdo sobre la mesa



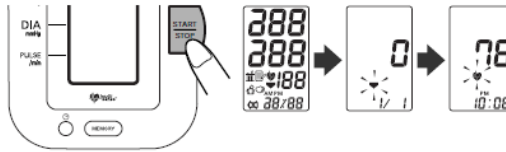
- 4) Sostener la banda asegurándose como se muestra en la figura



- 5) Con la palma de la mano hacia arriba coloque la banda en el brazo, la línea color azul debe quedar por la parte interna del brazo y alineada en el centro, guiándose con su dedo medio. Se recomienda que la parte inferior de la banda quede colocada a $\frac{1}{2}$ pulgada o a 1-2 centímetros del dobléz del brazo. **En caso de que esté utilizando otro modelo de medidor de presión que no tenga la banda color azul, debe tener una flecha o zona color azul la cual debe quedar alineada al centro del brazo.**



- 6) Para hacer la medición presione el botón de START/STOP, aparecerán todos los símbolos en la pantalla, la banda comenzará a inflarse automáticamente. Al momento de inflarse el monitor detecta el pulso. La persona no deberá mover el brazo mientras el proceso que el proceso.



Nota: Si necesita detener la medición solo presione nuevamente START/STOP y dejará de inflar la banda y notará como se desinfla y la pantalla se apaga.

- 7) Una vez que ha finalizado de inflarse la banda observará que los números comienzan a decrecer y un símbolo de corazón aparece con cada latido.



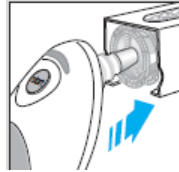
- 8) Cuando la medición se ha completado la banda comienza a desinflarse. La presión es mostrada en SYS/ DIA y el pulso. Para apagarlo presione nuevamente START/STOP

VI. TERMOMETRO DE OIDO

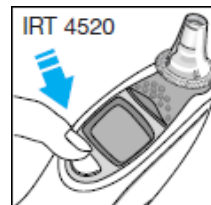


Fig. 12

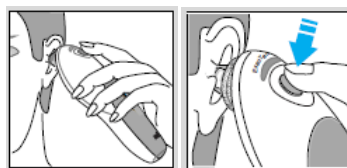
- 1) Para asegurar una medición precisa, coloque siempre un protector higiénico nuevo y limpio antes de la medición.



- 2) Presione el botón «I/O»



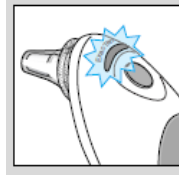
- 3) Ajuste el sensor con cuidado en el canal auditivo, después presione y libere el botón de inicio «start».



- 4) Si la sonda fue insertada correctamente en el canal auditivo durante el proceso completo de medición, un sonido indicará que ha finalizado la medición. El termómetro detecta que una medición exacta de la temperatura ha sido tomada. El resultado aparece en la pantalla.



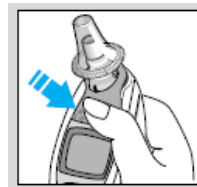
- 5) Si toma la temperatura de otra persona, podrá observar la iluminación en la pantalla: «ExacTemp» – Temperatura Exacta. Esta luz parpadea durante el proceso de medición, cuando la sonda está colocada de manera segura, y se ilumina completamente cuando el termómetro detecta que una medición exacta ha sido realizada.



- 6) Si la sonda no ha sido colocada en una posición estable en el canal auditivo, escuchará una secuencia de sonidos cortos, la luz «ExacTemp» se apagará y la pantalla mostrará un mensaje de error («POS» = posición incorrecta).



- 7) Para la siguiente medición, retire el protector higiénico presione el botón de expulsión y coloque un protector nuevo.



VII. TERMOMETRO INFRARROJO SUNSHINE



- 1) Asegúrese de que la punta tiene su tapa
- 2) Acerque el botón a la piel
- 3) Mantenga sostenido el botón de scan, soltar el botón
- 4) Cuando la temperatura exceda los 30 grados C enviará un beep.