

MODELOS DE CÁLCULO DE LOS RANGOS DEL CONFORT TÉRMICO. VERIFICACION DE SU APLICABILIDAD Y LA INCIDENCIA DE LAS VARIABLES DETERMINANTES

N. A. Mesa¹, M. Arboit² y C. de Rosa³.
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda
INCIHUSA, CONICET. CCT Mendoza
Tel. 0261-5244054, E-mail: amesa@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN: Con objeto de analizar el alcance de algunas de las herramientas disponibles, para la definición de los rangos de confort térmico, fuente de información sustancial a la hora de iniciar un diseño bioclimático de espacios arquitectónicos, se realizó el estudio, en base a los valores suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional, para distintas localidades del país.

Al mismo tiempo se evaluó, el comportamiento de las mismas ante cambios de las variables identificadas como de mayor peso sobre los resultados, obteniendo respuestas disímiles ante situaciones semejantes. De lo anterior se desprende la necesidad de determinar los límites de dichas herramientas de cálculo y su aplicabilidad o necesaria adaptación a la situación analizada, ya sea dada la actividad que se realizara en los edificios, como así también a las características fisiológicas de los ocupantes.

Se identificaron las similitudes, alcances y falencias de las herramientas de cálculo.

Palabras clave: confort térmico, ecuaciones, modelos de cálculo, normativas.

INTRODUCCIÓN

La bioclimatología humana como ciencia, estudia el impacto que tienen, sobre la fisiología humana, los diversos componentes del clima, en relación con la presencia o ausencia de confort térmico. El organismo humano se encuentra en estado de confort térmico cuando logra equilibrar su temperatura con la del entorno, lo cual es una de las bases en la que se fundamenta el fenómeno de “intercambio térmico”. Los principales elementos que intervienen en el intercambio térmico con el ambiente son: temperatura del aire, temperatura media radiante, insolación, humedad relativa, movimiento del aire, la protección de la ropa (aislamiento, penetración del viento, absorbencia) y estado de la persona (temperatura interna, actividad, sudoración, humedad de la piel).

El hombre en la actualidad pasa la mayor parte de su vida en espacios interiores. Un alto porcentaje de la población, permanece más de 20 horas al día en un medio ambiente artificial: una casa, en su lugar de trabajo o en un espacio de esparcimiento. Este comportamiento ha resultado en un creciente interés en el estudio y comprensión de la influencia de las condiciones del ambiente interior en los ocupantes. Ante situaciones en que las condiciones no sean las recomendadas se presentan dos enfoques de análisis principales, el primero el evaluar su incidencia sobre el rendimiento de los ocupantes para la actividad desarrollada, y el segundo, como incide esto en la eficiencia energética del sistema edilicio.

Ante el desarrollo de un diseño de edificaciones adecuadas al ambiente se pueden detectar dos tendencias potenciales de análisis. La primera se centra en dar respuesta al concepto de confort térmico, tratando de definirlo estadísticamente en función de los márgenes de oscilación de las variables básicas y de sus correlaciones. Las aproximaciones cuantitativas al concepto de confort térmico se caracterizan en general por su sencillez de expresión. La segunda tendencia trata de definir y cuantificar, objetivamente los hechos fisiológicos con las variables básicas, mediante fórmulas empíricas que admitan una verificación experimental. En todos estos casos se trata de constituir modelos predictivos del funcionamiento fisiológico objetivo que permitan emitir predicciones. Mientras la primera tendencia enfatiza el aspecto subjetivo del confort (trata de predecir cómo se sentirán determinadas personas), la segunda insiste en la objetividad de los hechos fisiológicos (trata de predecir aquello que fisiológicamente sucederá, al margen de los contenidos de conciencia).

Sobre la base de la investigación y de la experiencia adquirida, se han desarrollado metodologías, herramientas y modelos de cálculo, que apuntan a determinar la calidad ambiental interior o algunos de sus componentes. La calidad del aire, el confort térmico, lumínico y acústico, son algunos de los componentes básicos evaluados por las mismas. Los resultados obtenidos por estos estudios, generalmente terminan insertos en normas locales e internacionales.

El problema que se trata de resolver es analizar el alcance de algunas de las herramientas disponibles para predecir su comportamiento ante las distintas circunstancias climáticas que se presentan.

MODELOS, ÍNDICES Y ESCALAS PARA DETERMINAR EL CONFORT TÉRMICO

Diversos estudios han sido realizados para definir las condiciones óptimas de confort térmico. Algunos consideran, como base el punto medio dentro de los rangos máximos entre los cuales el hombre puede sobrevivir. Pero una Zona de Confort

¹ Investigador Asistente CONICET

² Becaria Posdoctoral CONICET

³ Investigador Principal CONICET

Higrotérmico, es aquella en la cual una persona, dependiendo de la actividad que esté realizando, no presenta esfuerzo en su sistema de termorregulación, para adaptarse al medio en el que se encuentra.

Ante la necesidad de cuantificar el comportamiento humano ante las variaciones térmicas de un ambiente, son definidos índices que expresan las relaciones existentes, con la utilización de valores numéricos representativos del fenómeno. Las escalas de confort térmico pueden ser semánticas o numéricas, y se apoyan sobre los datos de sensaciones subjetivas graduadas de confort o desconfort, relacionando estas graduaciones y datos estadísticos, con los parámetros físicos que produjeron el estímulo. Se podría pensar que los rangos de confort, definidos en las investigaciones y estudios realizados, tienen alcance universal, esto en realidad no es así, debido a que existen variaciones asociadas fundamentalmente a las circunstancias en que fueron realizados, como lo son el lugar geográfico donde se localizaba el laboratorio y los grupos humanos que se tomaron como base de estudio.

El rango de temperatura ambiente ideal o Zona de Confort Térmico, puede variar entre 13 y 28°C, dependiendo de diversos aspectos y consideraciones. Para una persona sedentaria, situada entre los trópicos, se consideran parámetros de confort entre los 22 y 28°C, y del 30 al 70 % de HR. En los EEUU esto varía a 14 y 23°C, ya que se ubica en latitudes por arriba de los trópicos (tabla1).

Tabla 1: Rangos de confort propuestos por distintos autores, para una persona en reposo, con vestimenta liviana.

Autor	Humedad	Temperatura	Observaciones
D.B.I.C.I Vermont		Verano 19°C Invierno 17°C	Ligero Mov. De aire (0.25 m/seg)
Bedford		13°C - 23°C	
Estándar alemán	50 %	21°C	
Markham	40 - 70 %	15.5°C - 24.5°C	
C.E Brooks	30 - 70 %	14.5°C - 21°C 20.5°C - 26.6°C 23°C - 29.4°C	Inglaterra EE.UU. Trópicos
Watson y Labs	>5g/kg <80%	20°C - 25.6°C	
Yaglou y Drinker	30 - 70 %	18.8°C - 23.8°C	
Koenisberger	30 - 70 %	22°C - 27°C	
E. González	27 - 75 % 20 - 40 %	Inferior 22°C Superior 29°C	
B. Givoni	5 - 17 mm kg	21°C - 26°C	
B. Givoni 92	> 4 < 15 g/kg	Verano 20°C - 27°C	Países fríos
		Invierno 18°C - 25°C	
Givoni y Milne	> 20% < 80%	Verano 22.7°C - 27°C	Países cálidos húmedos
		Invierno 25°C - 26°C	
Szokolay	> 4 < 12 g/kg	Verano TMA+/-2K set 18.5°C	28.5°C
		Invierno 18°C - 25°C	
V. Olgay	20 - 75 %	21°C - 27°C 23.9°C - 29.5°C	Trópicos
ASHRAE 55-92	> 4.5 g/kg < 60%	Verano 23°C - 26°C	
		Invierno 20°C - 23.5°C	
Noma ISO 7730	-0.5 < PMV < +0.5 (1)		
	30 - 70 %		
	Asimetría de Temperatura Radiante por ventanas frías menor de 10°C.		
	Diferencia Vertical de Temperatura del Aire cuello - tobillo menor de 3°C.		
	Asimetría de Temperatura Radiante por techos calientes menor de 5°C.		
		Temperatura del Suelo entre 19°C y 29°C.	

Temperatura Efectiva Corregida (TEC)

Uno de los primeros resultados válidos, de modelos de cálculo fue desarrollado por la ASHRAE. Teniendo en cuenta estos antecedentes fue la denominada Temperatura Efectiva, la cual consideraba la incidencia de la temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, temperatura radiante media y la velocidad del aire y fue por varias décadas la herramienta más utilizada y confiable para determinar los rangos de confort. Posteriormente se modificaron las ecuaciones iniciales, denominándose ahora como Temperatura Efectiva Corregida Media y Máxima (Eq. 01).

$$TEC_{med} = 6.4682 + 0.7756 * T_{med} - 0.1705 * (T_{máx} - T_{mín}) \quad (Eq. 01)$$

$$TEC_{máx} = 10.6358 + 0.6309 * T_{máx} - 0.2825 * (T_{máx} - T_{mín})$$

Donde:

- TEC_{med}: Temperatura Efectiva Corregida Media
- TEC_{máx}: Temperatura Efectiva Corregida Máxima
- T_{máx}: Temperatura Media Máxima
- T_{med}: Temperatura Media
- T_{mín}: Temperatura Media Mínima

Termopreferéndum

Tomando como base los estudios de Olgay de 1963, se desarrollaron otras variantes (Olgay 1968, Arens 1980, Szokolay 1984), de estos estudios surgió el denominado Termopreferéndum, término acuñado por Humphrey y Auliciems. La expresión analítica del **Termopreferéndum** nos da como resultado la temperatura de confort de una localidad y en una época

del año determinada, considerando las variaciones en el clima exterior. Diversos autores han desarrollado distintas ecuaciones de este índice.

$$\begin{aligned} T_n &= 2.56 + 0.83 \times T_m && \text{(Humphreys, 1975)} \\ T_n &= 17.6 + 0.31 \times T_m && \text{(Auliciems, 1981)} \\ T_n &= 9.22 + 0.48 \times T_a + 0.14 \times T_m && \text{(Auliciems, 1981)} \\ T_n &= 17.0 + 0.38 \times T_m && \text{(Nicol, 1996)} \end{aligned}$$

Donde:

Tn: Temperatura Neutra o Termopreferendum

Tm: Temperatura Media

Ta: Temperatura Ambiente

Ecuación de Fanger para el cálculo del PMV y PPD

Otra fuente tomada para el análisis, fue el "Predicted Mean Vote" (PMV) propuesta por Fanger en 1970. Los algoritmos propuestos por el autor para el cálculo de lo que denomina PMV brindan, una estimación en una escala psicofísica, de la sensación de confort que experimentará un grupo grande de personas, teniendo en cuenta esencialmente los valores de temperatura ambiente, velocidad y humedad del aire, incidencia de la temperatura media radiante, valor de la vestimenta que porta el individuo medida en clo⁴, y estará además en función de la actividad que esté desarrollando medida en W/m² (Eq. 02).

$$PMV = [0.303 \cdot \exp(-0.036M) + 0.028] \cdot$$

$$\left\{ \begin{aligned} & (M - W) - 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6.99 \cdot (M - W) - p_a] - 0.42 \cdot [(M - W) - 58.15] \\ & - 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0.0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ & - 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [t_{cl} + 273]^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \right\}$$

Donde:

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \left\{ 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [t_{cl} + 273]^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \right\}$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} & \text{para } 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1 \sqrt{v_{ar}} \\ 12.1 \sqrt{v_{ar}} & \text{para } 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1 \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 \cdot l_{cl} & \text{para } l_{cl} \leq 0.078 \text{ m}^2 \text{ k/w} \\ 1.05 + 0.645 \cdot l_{cl} & \text{para } l_{cl} > 0.078 \text{ m}^2 \text{ k/w} \end{cases}$$

Donde:

M es la tasa metabólica en W/m².

W es la potencia mecánica efectiva en W/m².

I_{cl} es el aislamiento de la ropa en m²K/W.

f_{cl} es el factor de superficie de la ropa.

t_a es la temperatura del aire en C°.

t_r es la temperatura radiante media en C°.

v_{ar} es la velocidad relativa del aire en m/s.

p_a es la presión parcial del vapor de agua en Pa.

p_a = RH/100 * exp(16,6536 - 4030,183 / (t_a + 235))

RH es la humedad relativa del aire medida en porcentaje

h_c es el coeficiente de transmisión del calor por convección en W/(m²K)

t_{cl} es la temperatura de la superficie de la ropa en C°.

(Eq. 02)

El autor propone además un rango de análisis de los resultados obtenidos en donde 0 (cero), es el valor considerado como de sensación neutra, en el cual una persona se encuentra en equilibrio con el medio que lo rodea, está en confort. De ahí en más los valores negativos son los correspondientes a las sensaciones de frío, mientras que los positivos a las de calor.

Sensación térmica

Frío	Fresco	Ligeramente fresco	Neutro	Ligeramente cálido	Cálido	Muy cálido
-3	-2	-1	0	1	2	3

Valor PMV

Considerando el alto contenido de subjetividad que influye sobre la valoración del confort, aunque el valor del índice sea 0, en todos los casos hay un porcentaje de los individuos que están insatisfechos térmicamente, a pesar de que todos ellos tengan la misma vestimenta y estén desarrollando la misma actividad.

⁴ Clo: Índice adimensional que determina el aislamiento de la vestimenta que porta una persona.

Es por esto que para predecir que porcentaje de gente está insatisfecha en un ambiente térmico determinado, Fanger completa el concepto del PMV con el Porcentaje de Personas Insatisfechas ("Predicted Percentage of Dissatisfied" PPD) para la validación de un ambiente determinado (Eq. 03).

(Eq. 03)

$$PPD = 100 - 95 * \exp(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2)$$

Donde

PPD: Predicted Percentage of Dissatisfied

PMV: Predicted Mean Vote

En este índice se considera térmicamente insatisfechas, a aquellas personas que votan valores de 2 y 3 (positivos y negativos) en la escala PMV. Aquellas personas que votaran +1 y -1, no fueron consideradas como insatisfechas. En la relación entre PMV y PPD nunca se consigue menos de un 5% de personas insatisfechas. Basándose en esta caracterización, se admiten como aceptables los ambientes dentro del rango $-0.5 < PMV > +0.5$, en los que por lo que se ve en la gráfica, no más del 10% de los ocupantes están insatisfechos.

Standard Effective Temperature SET

La SET es el equivalente a la temperatura de bulbo seco de un entorno isotérmico a 50% de humedad relativa en la que una persona se siente confortable, considerando el uso de ropa, y la actividad que desarrolla, manteniendo constante la humedad de la piel y la interacción de calor en la superficie de la piel como en un entorno de prueba real.

El SET representa numéricamente la tensión térmica experimentada por el cilindro relativo⁵ a una persona estándar en un ambiente estándar. El SET tiene la ventaja de permitir comparaciones térmicas entre ambientes con cualquier combinación de las variables físicas introducidas, pero la desventaja de requerir personas "estándar". Los seis factores que se han considerado que afectan el confort térmico humano son: la temperatura ambiente, la humedad relativa, la temperatura media radiante, la velocidad relativa del aire, actividad (tasa metabólica), y la ropa (resistencia térmica).

PET Physiological Equivalent Temperature (Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany)

El PET puede definirse como la temperatura fisiológica que es equivalente a la temperatura del aire que permite el balance calórico del cuerpo humano en 80 W de actividad sobre el metabolismo basal y un arropamiento de 1 clo. Tiene la ventaja, a diferencia de otros índices térmicos, de usar como unidad de medida los °C, lo cual lo hace más comprensible.

El resultado obtenido por el cálculo del PET es el equivalente a la temperatura del aire que se necesita para reproducir en un entorno interior normalizado para una persona normalizada bajo las condiciones que se está evaluando. La persona se caracteriza como normalizada bajo las siguientes condiciones: metabolismo de 80 W de actividad (metabolismo de base), y 0,9 clo de resistencia al calor, como resultado de la ropa.

ESTUDIOS DE APLICABILIDAD Y VERIFICACIÓN

Todos los procesos de control para mantener las condiciones térmicas del aire dentro de los rangos de confort propuestos por los distintos autores de los índices y modelos, se deben considerar como posibilidades a seguir, teniendo en cuenta las variaciones climáticas del lugar en que nos hallemos y en las que fueron desarrolladas las teorías. Mas aun si en muchos de los casos los resultados obtenidos a partir de dichas ecuaciones, son considerados al definir los valores de temperaturas de diseño, para un proyecto bioclimático.

Siguiendo esta premisa se compararon los valores de las Temperaturas Medias Anuales de 42 localidades del país y los obtenidos a través de las expresiones analíticas del Termopreferendum (Auliciems y Humphrey) y del TEC (Med y Max) y del PET, para obtener una correlación de su comportamiento. Si bien en todas las ecuaciones que dan origen a dichos índices, la Temperatura media es la variable de mayor incidencia, se observan distintos comportamientos en cada caso (figura 1).

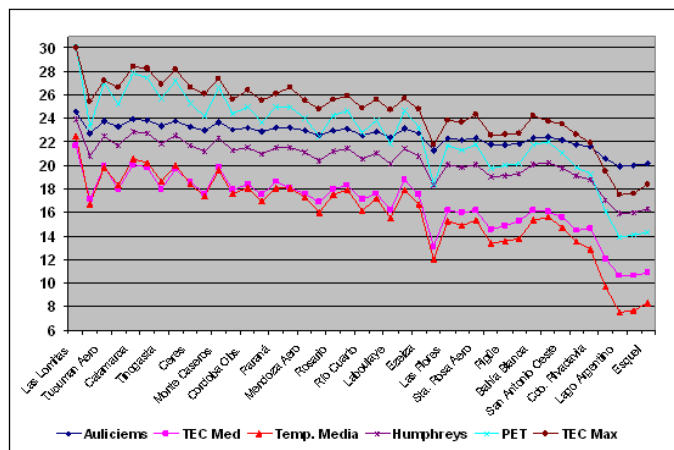


Figura 1: Comparación de los valores del Termopreferendum, TEC (Max y Med), y PET para 42 localidades del país

⁵ Cada parte de la figura humana para el cálculo del SET, se simplifica como cilindros proporcionales denominados "Cilindros Relativos".

Los valores obtenidos por la ecuación de Humpherys y Auliciems (Termopreferendum), presentan menos sensibilidad a la variable considerada (temperatura media), con diferencias promedio entre ambas ecuaciones de 2 °C, aumentando el rango a valores de 4°C en los climas más fríos. Los valores obtenidos del TEC y PET, demuestran mayor sensibilidad, llegando a diferencias mínimas de 1 °C, respecto a la temperatura media en el caso del TEC Med. El PET tiene un comportamiento similar al TEC Max, con diferencias promedio de 1.5 °C, ampliando hasta 4 °C el diferencial en los climas fríos extremos. Evaluando en forma general todos los valores obtenidos para una misma localidad entre todos los índices el diferencial promedio es de 5.6 °C, llegando a diferencias de casi 10 grados en los climas de fríos extremos. Los datos presentados corresponden al análisis de los valores anuales, pero el comportamiento se repite en el análisis de los datos mensuales.

Como se ha planteado la aclimatación al medio es un factor de mucha incidencia a la hora de evaluar el confort térmico de ahí la importancia de la adecuada selección de que algoritmo o modelo se utiliza para el cálculo.

Incidencia de la Vestimenta

La vestimenta tiene un efecto aislante de las condiciones ambientales y permite además evitar las pérdidas de calor del cuerpo. En un clima cálido seco la vestimenta evita la incidencia solar directa en el cuerpo y regula la tasa de evaporación del sudor hacia el ambiente. En un clima cálido húmedo un aislamiento mínimo favorecería las pérdidas por convección a través del contacto de la piel con el aire ya que las pérdidas por evaporación del sudor serán escasas debido al alto contenido de humedad en el aire.

En un clima frío es deseado el efecto aislante de la ropa para evitar las pérdidas de calor hacia el ambiente, este efecto se produce al crearse una cámara de aire entre el cuerpo y el vestido que actúa como aislante debido a la baja conductividad térmica del aire y de los elementos textiles. Además de evitar el contacto con el aire en movimiento del ambiente, que produciría pérdidas de calor por convección y conducción hacia éste.

Dado que la vestimenta reduce la pérdida de calor del cuerpo, es clasificada según su valor de aislamiento. La unidad normalmente usada para medir el aislamiento de ropa es la unidad de Clo (1 Clo = 0.155 m² °C/W). La escala del Clo se designa desde una persona desnuda que tiene un valor de Clo de 0 (cero) a alguien que lleva un traje típico que tiene un valor de Clo de 1,0. El valor de Clo se calcula simplemente sumando los valores parciales de las prendas individuales que lleva la persona. Cuando calculamos los valores de Clo, es importante recordar, según la actividad que se este desarrollando, que el tapizado de los asientos, los asientos del automóvil y las camas también reducen la pérdida de calor del cuerpo, y por consiguiente, éstos deben ser incluidos en el cálculo global.

Considerando la incidencia de la protección de la vestimenta, sobre el confort térmico del sujeto y que además puede ser determinante en el grado de tolerancia que pueda llegar a tener éste ante un ambiente adverso, debe ser considerada como una de las variables importantes al analizar los factores que intervienen sobre el confort.

Sobre los modelos analizados se evaluó la incidencia de la variación de la vestimenta de una persona de sexo masculino, de 1.75 metros de altura y 65 Kg. de peso, desarrollando una actividad sedentaria (65 W), manteniendo la temperatura ambiente a 20 °C y a 50% de humedad relativa, sobre los índices SET y PMV (figura 2).

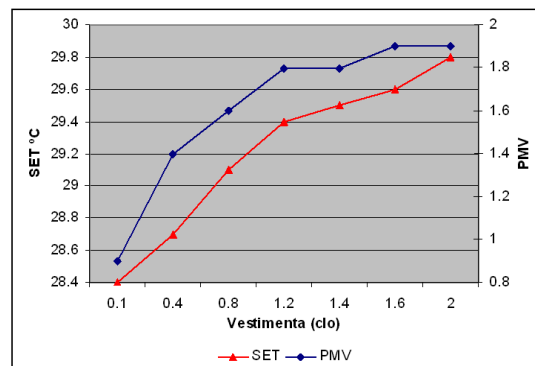


Figura 2: Evaluación de la incidencia de la vestimenta sobre los resultados de las ecuaciones del SET y PMV

En este caso el SET tiene un comportamiento casi lineal de relación vestimenta/temperatura del aire, aumentando 0.5 °C por cada 0.4 de aumento de protección (Clo). En el caso del PMV, presenta una respuesta distinta. Su incremento es acelerado hasta llegar a los valores cercanos a 1 Clo, a partir de este punto la incidencia de la vestimenta se hace casi nula. Esto mantiene cierta lógica dado la temperatura sobre la que se esta trabajando. En ambos casos los índices tienen buena respuesta ya que pasando el valor de vestimenta calculado como aconsejable para los parámetros establecidos, dan muestra de la sensación de disconfort del individuo expuesto a ese medio.

Respuesta a la variación de la temperatura ambiental.

La temperatura ambiente es la variable de mayor incidencia y la única que aparece en todos los índices analizados, de ahí la importancia de analizar el comportamiento de los distintos índices ante su variación.

Los parámetros establecidos para el análisis fueron: persona de sexo masculino de 1.75 metros de altura y 65 Kg. de peso, desarrollando una actividad sedentaria (65 W), con una protección de vestimenta de 0.9 clo y a 50% de humedad relativa, en un rango de temperatura ambiente entre los -10 y los 45 °C (figura 3).

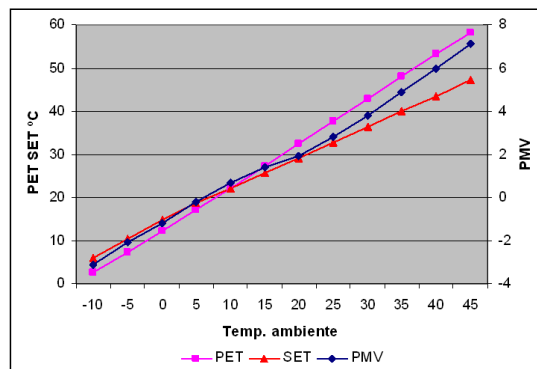


Figura 3: Evaluación de la incidencia de la temperatura sobre los resultados de las ecuaciones del PET, SET y PMV

Considerando que la temperatura del aire es la espina dorsal en los tres índices, la respuesta en los tres casos es similar. Ante un aumento o disminución de la temperatura le corresponde una variación semejante en los valores del PET, SET o PMV. Manteniéndose en los tres casos la correlación los límites del rango de confort (20 °C para el PET y SET y valor 0 (nulo) para el PMV).

Incidencia de la actividad física sobre el confort térmico

La actividad física incrementa el gasto energético de un sujeto, por el mayor oxígeno utilizado. La energía metabólica producida por nuestro organismo, es utilizada sólo en un bajo porcentaje para producir trabajo y el resto se pierde como calor disipado al medio ambiente. Cuanto mayor sea la intensidad del ejercicio, mayor será la cantidad de calor producida. Este calor en exceso debe de ser removido y debe disiparse, para evitar sobrecalentamiento.

El funcionamiento del cuerpo, es óptimo dentro de un estrecho margen de temperatura. La variación diaria normal en el interior corporal es de tan sólo 1°C, requiriendo que la temperatura corporal se mantenga entre los 36,5 y 37,5°C. Cuando más actividad realice el individuo, menor debe ser la temperatura ambiental, para favorecer de esta forma, la pérdida del exceso de calor y evitar el denominado estrés térmico. De este modo, cuando se lleva a cabo un trabajo físico pesado, una persona puede hallarse confortable a temperaturas inferiores a los 15°C (ver tabla 1).

El consumo de oxígeno de un individuo en reposo se denomina MET (equivalente metabólico basal) y corresponde a 58.15 W/m² de superficie del cuerpo. Nuestro metabolismo está en su nivel más bajo mientras nosotros dormimos (0.8 Met) y a su más alto durante actividades deportivas donde se alcanza frecuentemente 10 Met. Poder cuantificar la incidencia de la tasa metabólica de un individuo, es importante a la hora de evaluar las condiciones de confort de un espacio. No todos los índices y modelos de cálculo, antes citados consideran este factor o en algunos casos solo consideran a una persona en reposo (carga de 1 Met). Si consideramos que desarrollando una actividad física pesada este valor puede llegar a valores 10 veces mayores, la carga de calor producida y disipada al medio tiene una incidencia imposible de obviar.

En este punto se evaluó el comportamiento del SET y PMV, ante la variación del factor de la actividad física realizada. La correlación de ambos índices tiene el mismo comportamiento, variaciones equivalentes a un valor promedio de 3 °C en el SET y 0.2 de variación en los valores del PMV cada 50 W de aumento de la carga metabólica (figura 4). Posteriormente, se evaluaron ambos índices en forma inversa, manteniendo constantes el resto de las variables y modificando los valores de la temperatura ambiente, para lograr que todas las actividades se mantengan dentro de los rangos óptimos de confort térmico (neutralidad), establecidos por Fanger y posteriormente establecidos en la Norma ISO 7730.

Un primer análisis determina la relación entre los valores del SET (sensación térmica) y del PMV (rango de confort) ante el aumento de la actividad física (carga metabólica), manteniendo la temperatura ambiente en 20 °C, humedad relativa: 50%, para un rango de actividad física: de 100 a 500 W, un valor de aislamiento de la vestimenta: 0.6 clo

El segundo análisis corresponde a determinar los valores dados en °C obtenidos correspondientes al SET y la Temperatura Ambiente resultante del PMV, necesaria para que los valores se mantengan dentro del rango óptimo de confort (inferiores a 0.5 PPD), demuestran la incidencia de la carga metabólica de la actividad física. Un punto a considerar es que si bien en los casos analizados la relación entre la carga metabólica relacionada a la actividad física desarrollada es lineal, las rectas resultantes tiene un cruce en el valor de 230 W, y al superar valores a los 350 W de actividad, las temperaturas respectivas, presentan valores en el caso del PMV y del SET inferiores a los 6 °C. Superando estos valores, se mantiene la correlación lineal, lo que hace que para una actividad de 550 W (actividad deportiva de alto impacto), el SET presente valores de -13 °C, el PMV -4 °C (figura 5), temperaturas que en la práctica no se presumen como lógicas.

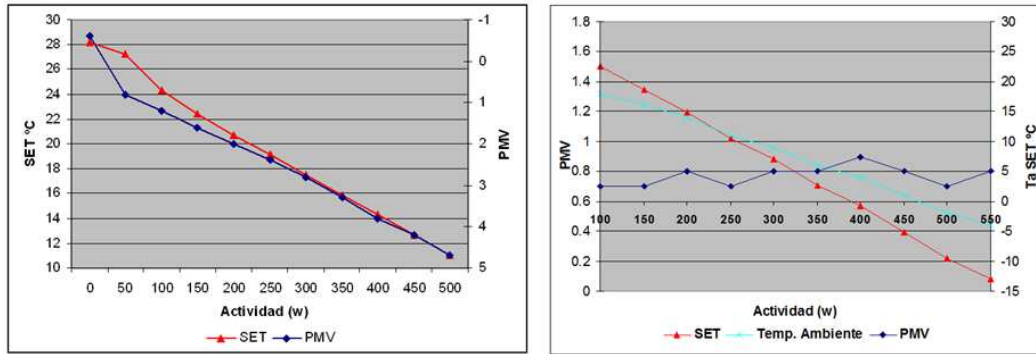


Figura 4 y 5: Evaluación de la incidencia de la carga metabólica temperatura sobre los resultados de las ecuaciones del SET y PMV

Estudios de laboratorio desarrollados para determinar los rangos térmicos para distintas actividades deportivas (Laptev, 1987, Armstrong, 1995), establecen para actividades con cargas metabólicas altas similares a las analizadas (básquet, lucha libre), rangos óptimos de temperatura entre los 14 y 16 °C, valores que difieren en mucho con los obtenidos. De esto se puede determinar la buena respuesta de los índices evaluados a actividades ligeramente superiores a las sedentarias. Al momento de ser utilizados en el diseño de un espacio arquitectónico destinado a actividades diferentes, se presentan condiciones de disconfort, por lo que es necesario considerar los límites de uso de dichas herramientas de predicción, a la actividad que se realizara en los edificios, como así también a las características fisiológicas de los ocupantes.

Velocidad del aire

El movimiento del aire produce ante altas temperaturas del aire una sensación refrescante debido a que al contacto con la piel, favorece la pérdida de calor por convección y evaporación. Al aumentar la velocidad del aire, el estado de confort térmico se mantiene a pesar de que la temperatura o humedad aumenten. Así mismo, esta herramienta de equilibrio térmico tiene sus límites pues, velocidades de aire superiores a los 1.5 m/seg llegan a ser molestas para una persona realizando una tarea determinada. En los casos en que la temperatura sea elevada y la humedad demasiado baja, es necesario apoyar con humedad extra a los movimientos de aire, para evitar la deshidratación acelerada y así lograr el confort.

Si bien la circulación del aire, puede mejorar notablemente circunstancias en las que otros factores (temperatura, actividad física desarrollada) no sean óptimas, las corrientes de aire son la queja más común al hablar sobre el clima interior en los edificios, vehículos y aviones enfriados por aire. Las personas son muy sensibles a las corrientes de aire en las partes desnudas del cuerpo. Por consiguiente, normalmente se sienten las corrientes de aire sólo en la cara, manos y parte baja de las piernas.

Dadas las características en que trabajan los sensores de frío de la piel, el grado de sensación de incomodidad no sólo depende de la pérdida de calor local, la fluctuación de la temperatura de la piel tiene una influencia también. Un flujo de aire con alta turbulencia se siente más molesto que un flujo de aire poco turbulento, aunque producen la misma pérdida de calor.

La velocidad más favorable del aire es de 1 a 4 m/s al exterior (reposo y trabajo), es irritante a más de 6m/s. En los locales habitados la velocidad de aire menor a 0.1-0.3 m/s no favorece la disminución de la temperatura, la normal de bienestar es de 0.1 - 0.3 m/s, si es mayor produce sensación de corriente. Esta relación velocidad del aire/temperatura de confort, de evaluó en los índices SET, PET y PMV, para el caso analizado de una persona de sexo masculino, de 1.75 metros de altura y 65 Kg. de peso, desarrollando una actividad sedentaria (65 W), manteniendo la temperatura ambiente a 25 °C y a 50% de humedad relativa (figura 6).

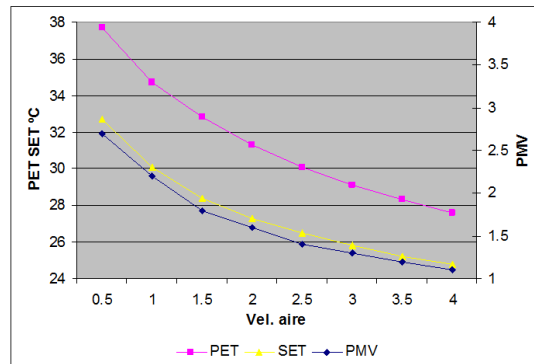


Figura 6: Evaluación de la incidencia de la velocidad del aire sobre los resultados de las ecuaciones del PET, SET y PMV

El comportamiento en los tres casos es semejante, manteniendo valores de R^2 superiores a 0.91. Si bien se observa que la incidencia de la velocidad del aire en el caso evaluado es similar, los valores obtenidos entre el SET y el PET, presentan un

diferencial térmico casi constante ante la variación de la velocidad del aire, superiores a los 4 °C, disminuyendo a medida que aumenta el flujo de aire.

CONCLUSIONES

Analizando los datos obtenidos, es importante resaltar que la situación de equilibrio o confort térmico, es una condición psicofísica, de ahí el hecho de que ante situaciones térmicas, de vestimenta y actividad semejantes, distintas personas tengan sensaciones disímiles. Lo que no resulta lógico es que determinados índices de cálculo que utilizan las mismas variables, ante situaciones similares respondan a ese comportamiento.

Por los casos analizados en este trabajo, no se puede hablar de la invalidez de la utilización de un determinado índice o modelo de cálculo, para prever una determinada situación. Lo que sí queda en claro, es la primordial importancia de cotejar los datos obtenidos y de ser necesario ajustar los resultados a las características de los individuos de la región y la actividad que esta desarrollando el mismo.

Los datos de “sensación térmica” obtenidos a través de los algoritmos de Fanger y SET, no pueden tomarse para establecer rangos de confort térmico para algunas de las actividades de alta carga metabólica como las analizadas en el presente trabajo (valores superiores a 250 W), debido a que responden esencialmente, al diferencial térmico existente entre la superficie del cuerpo y el medio ambiente que lo rodea, teniendo demasiada incidencia sobre los resultados obtenidos, la producción de calor interna del organismo, en comparación a valores normales de las otras variables que intervienen.

REFERENCIAS

- Appenzeller, O. (1991), Medicina Deportiva, Ed. Doyma, 1 ° Ed., España.
- Armstrong, L., Maresh, C., Riebe, D., Kenefick, R., Castellano, J., Senk, J., Echegaray, M., Foley, (1995), Local cooling wheelchair athletes during exercise-heat stress, *Med. Sci.Sports Exerc.*, Vol 27, 2, p 211-216.
- ASHRAE (1989), Handbook of Fundamentals American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Estados Unidos.
- ASHRAE 55 (1992) Las condiciones térmicas ambientales para la ocupación humana. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Estados Unidos.
- ASHRAE 62 (1989) Ventilación de aceptable calidad del aire interior. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Estados Unidos.
- ASHRAE 113 (1990) Método de ensayo para la difusión de aire. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Estados Unidos.
- Astrand- Rohdal (1992), Fisiología del Trabajo Físico, Ed. Panamericana, Argentina.
- Czajkowski Jorge, Elias Rosenfeld, Mayo de 2009. Datos meteorológicos de 154 localidades de la república argentina que incorporan variables bioclimáticas de uso normativo, en <http://www.arquinstal.com.ar/publicaciones>
- CR 1752-1998: Ventilación de edificios - Criterios de diseño para el medio ambiente de interiores
- Fanger P.O.(1970), Thermal Comfort, Danish Thechnical Prees, Copenhagen.
- GIVONI B. (1976), Man, Climate y Architecture, Applied Science Publishers, Inglaterra.
- ISO 7726-1998: Ergonomía del ambiente térmico - Aparatos de medida física
- ISO 7730-1994: ambientes Moderado térmica - Determinación de los índices PMV y PPD y la especificación de las condiciones de confort térmico, (EN ISO 7730)
- ISO 7993-1989: ambientes de agua caliente - la determinación analítica e interpretación del cálculo de las tensiones mediante el sudor de la tasa requerida
- ISO 8996-1990: Ergonomía - Determinación de la producción de calor metabólico
- ISO 9920-1995: Estimación del aislamiento térmico y resistencia a la evaporación de la prenda
- JÁUREGUI, E. (1994), Notas de Bioclimatología Humana, Centro de Ciencias de la Atmósfera, U.N.A.M., México.
- LAPTEV, A., MINJ, A. (1987), Higiene de la cultura física y el Deporte, Editorial Ráduga, Cuba.
- MC ARDLE, W., KATCH F, KATCH V. (1990), Fisiología del Ejercicio, Ed Alianza S.A., Madrid.
- MORILLÓN, DAVID (1993), Bioclimática, Universidad de Guadalajara, Ed. Doble Luna S.A., México.

ABSTRACT: With the purpose of analyzing the usefulness of some of the available calculation tools for defining thermal comfort ranges, a source of key information when starting the bioclimatic design of architectural spaces, a study, based on data provided by the Servicio Meteorológico Nacional (National Meteorological Service), for different location in the country, was accomplished.

At the same time, the behaviour of the variables with greater incidence on the results was assessed.

The conclusion arrived-at, was that the models yield different results for similar situations. From this analysis, the need of evaluating the limitations of the tools considered and their applicability or necessary adaptation to the analyzed situation was clearly evident, considering the activity carried on inside the building and the physiologic responses of the occupants. Similarities, scopes and short coming of the calculation tools were identified.

Keywords: thermal comfort, equations, calculation models, normative.