

CAPITULO III

BIENESTAR TERMICO

III.1.Generalidades

Para diseño de edificios y propósitos ingenieriles, el confort térmico humano puede ser definido como el estado de la mente el cual expresa satisfacción con el medio ambiente térmico [7]. Muchos investigadores prefieren el término "neutralidad térmica" para enfatizar la calificación de que el sujeto no siente ni demasiado calor ni demasiado frío.

Numerosas pruebas han sido conducidas para determinar que conjunto de condiciones son catalogadas más confortables por la mayoría de las personas puestas a prueba. Investigadores que trabajan en la Universidad Estatal de Kansas encontraron que las condiciones más confortables para sujetos usando ropa clara de oficina correspondió a una temperatura de bulbo seco de 79°F a un 50 por ciento de humedad relativa, para velocidades de aire menores que 35 pies por minuto [7].

La evaluación de las condiciones climáticas para diseñar edificaciones de acuerdo con los requerimientos o necesidades bioclimáticas de los individuos, es necesaria a fin de establecer comparaciones entre las condiciones exteriores del lugar y aquellas que necesita el individuo para realizar sus actividades con menos desgaste físico y mínimo consumo energético.

Mantener el balance, entre la cantidad de calor producido o ganado por el cuerpo y el desprendido por él, es una de las necesidades fisiológicas más importantes del individuo. El cuerpo

humano tiene internamente una temperatura que normalmente varía entre los 36.5°C y los 37°C. EL balance ó equilibrio térmico del cuerpo consiste precisamente en mantener su temperatura dentro de ese rango; pues, de otro modo, si la temperatura aumenta o disminuye demasiado puede ser seriamente lesionado el organismo.

El cuerpo intercambia calor con sus alrededores a través de cuatro procesos :

- 1.- Conducción (contacto).
- 2.- Convección (movimiento de aire).
- 3.- Evaporación (humedad de la piel).
- 4.- Radiación (solar y térmica).

El cuerpo por si mismo genera calor, la cantidad de este depende de el nivel de actividad. La velocidad metabólica de producción de calor más las fuentes de calor ambientales gobiernan el calor total de el cuerpo. Los factores que gobiernan la velocidad de intercambio de calor y consecuentemente, la sensación de confort, comprenden (correspondiendo respectivamente a los cuatro procesos anteriores):

- a).- Resistencia térmica de la ropa y la temperatura de las superficies en contacto con el cuerpo.
- b).- Resistencia térmica de la ropa, temperatura del aire y velocidad del aire en movimiento.
- c).- Presión de vapor del agua en el aire .
- d).- Temperatura de las superficies de los alrededores (y área de el cuerpo expuesta).

III.2 Mecanismos para Lograr el Balance Térmico

Para lograr el balance térmico del cuerpo se producen una serie de fenómenos mediante los cuales este gana y pierde calor, que pueden resumirse con la siguiente ecuación :

$$Q = M + R + \text{CONV} + \text{COND} - E \quad (25)$$

Donde:

- Q = Ganancias de calor.
- M = Calor producido por procesos metabólicos.
- R = Intercambio de calor por radiación.
- CONV = Intercambios de calor por convección.
- COND = Intercambios de calor por conducción.
- E = Desprendimiento de calor por evaporación.

Cuando la sumatoria de las ganancias y pérdidas son iguales a cero, el cuerpo se encuentra en equilibrio. Si esto no ocurre, y el resultado es que las ganancias de calor son mayores que las pérdidas o lo inverso, el organismo pone en funcionamiento mecanismos autoreguladores que trabajan dependiendo de esas diferencias. En la medida que el cuerpo, para lograr su equilibrio térmico, necesite realizar menor cantidad de regulaciones térmicas para adaptarse a un medio específico, en esa misma medida nos estamos acercando a una zona de condiciones ambientales donde el mayor porcentaje de personas manifiestan sentirse bien, es decir, que no tiene frío ni calor, ni sabrían decidirse por un ambiente más frío o más caliente. Esta zona térmica especial se ha denominado " Zona de Bienestar Térmico ".

La zona de bienestar térmico se define de acuerdo con el standard 55-56 de ASHRAE, como " aquella condición e la mente que expresa satisfacción con el medio ambiente térmico ". B.Givoni [8]

expresa que el bienestar térmico puede definirse en un sentido negativo como " la ausencia de irritación o malestar térmico ", e indica que la delimitación de la zona de bienestar térmico tiene una base fisiológica, siendo ésta la que marca el rango de condiciones bajo las cuales los mecanismos termorreguladores del cuerpo se encuentran en un estado de mínima actividad. No debe confundirse, como señala también Givoni, el bienestar térmico con el equilibrio térmico; este último es esencial para el bienestar, pero puede ser logrado bajo las condiciones de malestar térmico por efecto de los mecanismos autorreguladores. Un análisis de los procesos e intercambios térmicos, entre el hombre y su entorno, nos darán la posibilidad de definir cuales son los factores que afectan el bienestar del individuo y de que manera, manejando esos factores podemos lograrlo.

III.3 Mecanismos de Intercambio Térmico con el Medio Ambiente

Las causas de las ganancias y pérdidas de calor del cuerpo humano las podemos clasificar en tres grupos :

- a. Ganancias de calor debidas a procesos químicos que se producen en el interior del cuerpo (metabolismo).
- b. Ganancias ó pérdidas de calor debidas a intercambios térmicos entre el cuerpo y el medio que lo rodea, por efecto de fenómenos de radiación, convección y conducción.
- c. Pérdidas de calor debidas a procesos evaporativos del sudor sobre la superficie del cuerpo y de agua de los pulmones.

Factores que afectan el bienestar térmico del cuerpo. La sensación de calor o frío, que el cuerpo humano puede experimentar, se ve influido por aquellos factores que de alguna manera afectan los procesos físicos mediante los cuales gana o pierde calor para mantener su balance o equilibrio térmico.

Estos se encuentran resumidos en la Tabla III.2, donde se encuentran relacionados con las formas de ganancia o pérdida de calor en el cuerpo humano.

III.4 Parámetros para Medir el Confort

Indices térmicos. Una vez definidos los factores que afectan el bienestar térmico, resulta importante seleccionar un método de análisis de las condiciones ambientales que permita, al comparar éstas con los requerimientos bioclimáticos del individuo, hacer un diagnóstico de la situación; es decir, evaluar térmicamente hablando, como se siente el individuo en unas condiciones específicas.

FORMAS DE GANANCIA DE CALOR EN EL CUERPO HUMANO	FACTORES	RESUMEN DE FACTORES
+ METABOLISMO	ACTIVIDAD	ACTIVIDAD
+ - RADIACION	TEMP. SUPERFICIAL ROPA	TEMP. MEDIA RADIANTE
+ - CONVECCION	TEMP. DEL AIRE MOV. DEL AIRE ROPA	TEMP. DEL AIRE MOV. DEL AIRE ROPA
+ - CONDUCCION	TEMP. SUPERFICIAL ROPA	
- EVAPORACION	MOV. DEL AIRE PRESION DE VAPOR ROPA	PRESION DE VAPOR

Tabla III.1 Relación entre las formas de ganancia o pérdida de calor en el cuerpo humano y los factores que afectan su bienestar térmico [9].

1. Índices Térmicos Empíricos.

a. Temperatura Efectiva (TE). Es considerado el índice térmico más ampliamente usado. El índice combina los efectos de la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa y fué definido como la temperatura del aire saturado y sin movimiento que produciría, en ausencia de radiación, la misma sensación térmica que el aire considerado, los resultados de los experimentos se graficaron en forma de líneas de igual sensación térmica sobre un diagrama psicromérico, como se muestra en la Figura III.1. Posteriormente se incluyó en el índice el efecto de la velocidad del viento. Mediante estas correcciones al índice de temperatura efectiva, cualquier combinación de temperatura de bulbo seco (Tbs), calor radiante medido con un termómetro de globo (TG), humedad medida con un termómetro de bulbo húmedo (Tbh) y velocidad del aire (V), puede ser expresada en términos del índice de temperatura efectiva corregida (TEC).

También se ha desarrollado un nuevo TE^* que es un índice teórico basado en la ecuación del balance térmico, que describe los intercambios de calor del hombre y sus respuestas fisiológicas y psicofísicas. Sus valores se indican como líneas de esfuerzo fisiológico constante, ver Figura III.2, medido en términos de la humedad de la piel cuando hay calor, o de su temperatura, cuando hay frío.

La TE^* es la temperatura de bulbo seco que, para una humedad relativa de 50%, haría sudar al individuo con la misma intensidad.

b. Temperatura Resultante (TR). Es semejante en su concepción a la TE, pero según algunos autores los resultados de su aplicación son más acertados. Sin embargo, debido a la subestimación que hace del efecto de la velocidad del aire, en el rango de temperaturas altas, su aplicación en zonas tropicales no es aconsejable. Se considera

acertado para climas moderados donde las respuestas fisiológicas observadas en los experimentos están bastante de acuerdo con lo estimado en el índice.

2. Índices Térmicos " Racionales "

a. Índice de Tensión Calórica (ITC). Se define como la relación existente entre el calor total que, en forma evaporativa requiere perder el cuerpo, para mantener su equilibrio térmico (E), y la capacidad máxima de evaporación de aire (E_{MAX}).

El ITC considera variaciones tanto en las condiciones climáticas (temperatura del aire y media radiante, velocidad del aire y presión de vapor de agua) como en el nivel metabólico de la persona. Producto de cálculos teóricos, el ITC fué desarrollado en base a las premisas respecto al comportamiento fisiológico del individuo, que se indican a continuación:

La tensión calórica total en el cuerpo es igual a la cantidad requerida de evaporación de sudor.

$$E = M + R + C \quad (26)$$

Donde :

E = Cantidad requerida de evaporación de sudor.

M = Producción de calor metabólico.

R = Radiación.

E = Convección.

El esfuerzo fisiológico impuesto al cuerpo por una determinada tensión calórica está dada por la relación entre la evaporación de sudor requerida por el cuerpo (E) y el máximo poder evaporativo del aire (E_{MAX}).

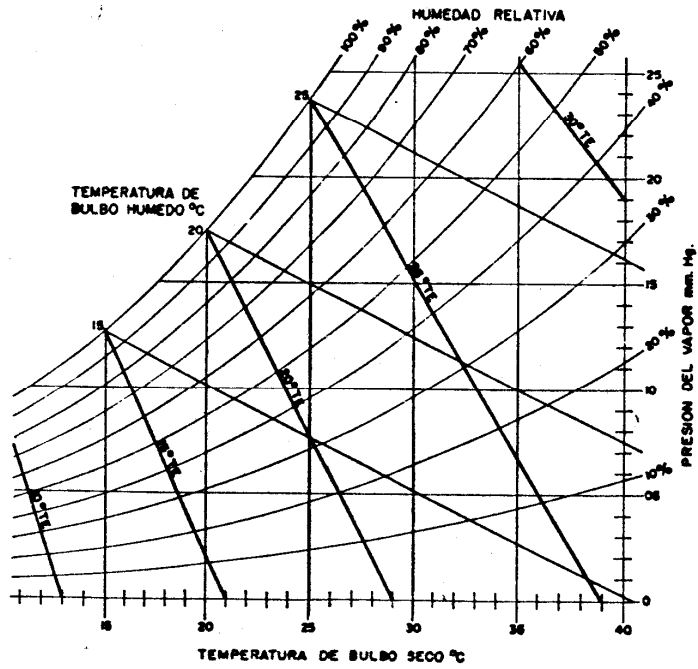


Fig.III.1 Líneas de temperatura efectiva sobre diagrama psicrométrico [9].

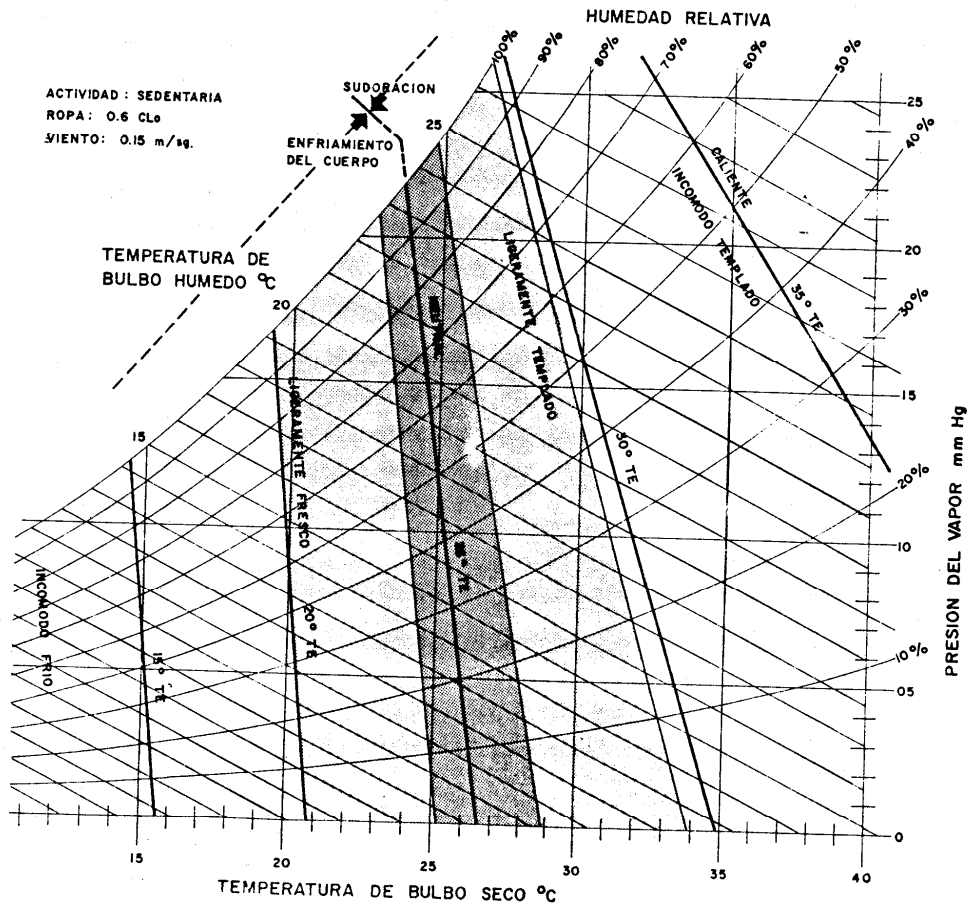


Fig.III.2 Líneas de la nueva temperatura efectiva (TE^*) sobre diagrama psicrométrico [9].

El valor de tensión calórica expresado en forma de porcentaje se obtiene del valor mayor conseguido al resolver la siguiente fórmula :

$$ITC = \left(\frac{E}{E_{MAX}} \right) \times 100 \quad (27)$$

b. Indice de Tensión Térmica (ITT). El ITT es un modelo biofísico que describe los mecanismos de intercambio de calor entre el cuerpo y su entorno, mediante el cual puede ser calculada la tensión térmica total en el cuerpo.

En el índice de tensión térmica se toman en cuenta los efectos combinados de la temperatura y velocidad del aire, presión del vapor de agua, el nivel metabólico, la vestimenta y la radiación solar en los casos de estar expuesto a ella. Para considerar la radiación infrarroja larga, se puede sustituir la temperatura seca por la temperatura de globo.

El índice se mide en términos de la cantidad de sudor que una persona puede segregar por unidad de tiempo ante determinadas condiciones ambientales y metabólicas.

Puede calcularse mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$S = (M - W) + C + R - 1/es \quad (28)$$

Donde :

S = Grado de sudoración requerido en g/h ó su equivalente en watts.

M = Metabolismo en W.

W = Energía metabólica transformada en trabajo mecánico; en W.

C = Intercambio de calor por convección.

R = Intercambio de calor por radiación en W.

es = Eficiencia de enfriamiento de la sudoración, sin dimensión.

III.5 Zona de Bienestar Térmico.

La finalidad de el estudio de los "índices térmicos", es llegar ha establecer, las condiciones en las que el individuo expresa satisfacción térmica con el ambiente o, por el contrario, la ausencia de esas condiciones. Existen diferentes condiciones, según diferentes autores, como se muestra en la Tabla III.3.

Al comparar las diferentes zonas de bienestar térmico se observa lo siguiente :

En general, los límites inferiores de temperatura de bulbo seco varían entre 21°C y 23.5°C y los límites superiores exceptuando la zona #5 varían entre 26°C y 29.5°C .

Respecto a los niveles inferiores de humedad, estos presentan variaciones entre 20% y 30%, en terminos de H.R., y entre 4 y 7 mm Hg de presión de vapor; en tanto que la mayoría de los límites superiores se encuentra entre 60% y 80% de H.R. o entre 14.17 mm de Hg de presión de vapor.

Otro aspecto importante de notar en este análisis comparativo es que el lugar, en que se superponen todas las zonas analizadas, en la carta psicrométrico, corresponde en su punto central, a 25°C de Tbs y 55% de H.R., como se puede observar en la Figura III.2, cuyo valor es muy próximo a las condiciones de las últimas recomendaciones dadas por un estudio hecho entre ASHRAE y el

AUTORES	LIMITES-TEMP.	LIMITES-HUMEDAD	OBSERVACION
1. B. Givoni	21°C-26°C	5-17 mm Hg	Bienestar óptimo lím. max. permisible.
2. V. Olgyay	23.9°C-29.5°C	20%-75%	Trópicos.
2. ASHRAE	22.2°C-26.6°C	4 mm Hg	Bienestar óptimo
4. Yaglou-Drinker	18.8°C-23.8°C	30%-70%	USA Verano (TE)
5. Koenigsberger y otros	22°C-27°C	30%-70%	Trópicos (TE)
6. C. E. Brooks	23.3°C-29.4°C	30%-70%	Trópicos
Zona propuesta de bienestar térmico	22°C 29°C 26°C	27%-75% 20%-40% 20%-17mm Hg	Límite inferior Límite superior Lím. max. presión de vapor.

Tabla III.2 Zonas de bienestar térmico humano [9].

Instituto de Investigación Ambiental de la Universidad del Estado de Kansas (24.5°C de Tbs y un rango de 20% a 60% de H.R.) [9].

Parece ser que el rango de condiciones en las que la mayoría de los sujetos " dicen sentirse bien " no varían mucho entre un sitio y otro, pero puede haber diferencias en las condiciones que se perciben como agradables en dependencia de la edad, el sexo y la aclimatización del individuo.

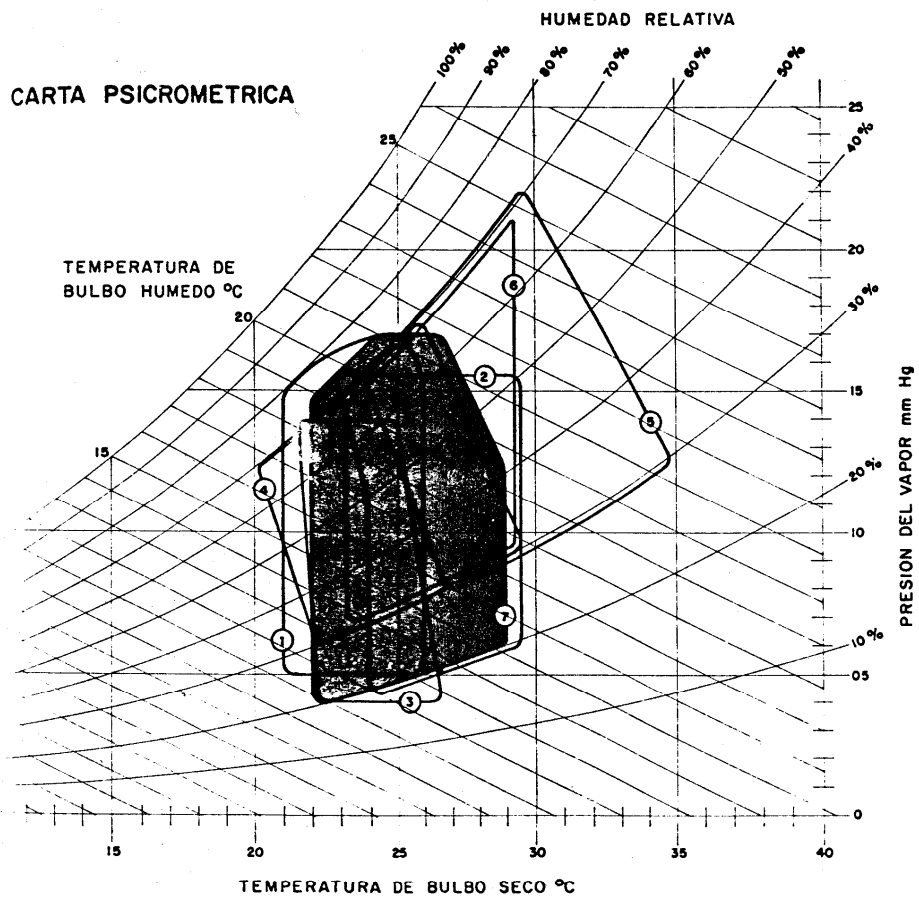


Fig. III.3 Zonas de bienestar térmico propuestas por : (1) B..Givoni; (2) V.Olgyays; (3) ASHRAE; (4) Yaglou-Drinker; (5) Koenigsberger; (6) C.E.Brooks; (7) E. González [9].