

CONFORT VS ACTIVIDAD, PARA EL DISEÑO DE ESPACIOS ARQUITECTONICOS: ANÁLISIS DE LOS METODOS

Néstor A. Mesa (1) y David Morillón (2)

(1) Laboratorio de Ambiente Humana y Vivienda
INCIHUSA, CRICYT, Mendoza, Argentina
email: amesa@lab.cricyt.edu.ar

(2) Energía y Ambiente, II-Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, México
Tel: 5622 81 32 al 36, Fax: 5622 81 37
email: dang@pumas.iingen.unam.mx

RESUMEN

Con objeto de analizar el alcance de algunas de las herramientas disponibles, para la definición de los rangos de confort higrotérmico, utilizadas para el diseño bioclimático de espacios arquitectónicos, se realizó un estudio de campo y experimental, tomando mediciones de temperatura ambiente y humedad relativa, en distintos ámbitos cerrados, destinados a la practica de actividades deportivas. Al mismo tiempo se encuestó a sus ocupantes acerca de la sensación de confort térmico que experimentaban (calor, frío, confort) al realizar su actividad. Los resultados obtenidos en las encuestas se cotejaron con los reportados por otros investigadores, así como con los algoritmos disponibles (diagramas bioclimáticos de Olgyay y Givoni, y el método de Fanger) para obtener valores óptimos para el confort térmico. Se obtuvo como conclusión que, como los métodos gráficos y matemáticos corresponden generalmente a actividades sedentarias, al momento de ser utilizados en el diseño de un espacio arquitectónico destinado a actividades diferentes a la de reposo, se presentan condiciones de disconfort, por lo que es necesario adaptar dichas herramientas de predicción, a la actividad que se realizara en los edificios, como así también a las características fisiológicas de los ocupantes.

ABSTRACT

With object of analyzing the reach of some of the available tools, for the definition of the ranges of thermal comfort, used for the bioclimate design of architectural spaces. It was carried out a field study and experimental, taking mensurations of ambient temperature and relative humidity, in different closed environments, dedicated to practices it of sport activities. At the same time it was interviewed their occupants about the sensation of thermal comfort that they experienced (heat, cold, comfort) when carrying out their activity. The results obtained in the surveys were compared with the available algorithms (bioclimate charts of Olgyay and Givoni, and the method of Fanger) to obtain good values for the thermal comfort. It was obtained as conclusion that, as the graphic methods and mathematicians generally correspond to sedentary activities, to the moment of being used in the design of an architectural space dedicated to activities different to that of rest, discomfort conditions are presented, for what is necessary to adapt this prediction tools, to the activity that was carried out in the buildings, eat likewise to the physiologic characteristics of the occupants.

1. INTRODUCCIÓN

En el problema de diseño de edificaciones adecuadas al ambiente energético se pueden detectar dos grandes tendencias. La primera se centra en el concepto de confort térmico, tratando de definirlo estadísticamente en función de los márgenes de oscilación de las variables básicas y de sus correlaciones. Los trabajos adscribibles a esta tendencia suelen referirse a las necesidades de los individuos vestidos ligeramente y en reposo, o realizando un trabajo sedentario. Las aproximaciones cuantitativas al concepto de confort térmico se caracterizan en general por su sencillez de expresión. No es difícil imaginarse que la práctica que subyace a este conocimiento es sobre todo la de los ingenieros climatizadores del aire y que el problema - tipo que se trata de resolver es el de garantizar, al menos en sus variables fácilmente cuantificables, un entorno climático aceptable.

La segunda tendencia trata de definir y cuantificar, objetivamente los hechos fisiológicos con las variables básicas, mediante fórmulas empíricas que admitan una verificación experimental. La expresión de estas fórmulas no siempre adopta formas simples y fáciles de manejar. Todas ellas aspiran a constituir modelos 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).

El comportamiento biotérmico del grupo de individuos que se desea estudiar en este trabajo, se haya, por la intensidad de la actividad que desarrollan, frecuentemente en situaciones límite, a pesar de las variables climáticas “óptimas” del entorno.

El problema que se trata de resolver es analizar el alcance de algunas de las herramientas disponibles para predecir las condiciones de resistencia y productividad de un individuo sometido a circunstancias climáticas adversas.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Con el objeto de analizar el alcance de algunas de las herramientas con que se cuentan para la definición de los rangos de confort higrotérmico, utilizables para el Diseño Bioclimático de espacios arquitectónicos destinados, en este caso, a la práctica de actividades deportivas, se realizó un análisis de campo y un estudio experimental, tomando mediciones de temperatura ambiente y humedad relativa, en distintos ámbitos cerrados. Al mismo tiempo se encuestó a sus ocupantes acerca de la sensación de confort térmico que experimentaban al realizar su actividad.

Para el análisis de cada una de las actividades seleccionadas, primero se identificaron las características constructivas de los espacios, en los cuales se realizan, las cuales están enmarcadas dentro de los estándares de construcciones deportivas, considerando sus medidas, materiales y terminaciones.

Al momento de la toma de datos de temperatura y humedad, la incidencia de la ventilación y la radiación solar, eran insignificantes, por ser ambientes carentes o estar todas sus aberturas cerradas y, en el momento de la medición, el sol no hacía incidencia directa sobre las mismas..

Posteriormente se cotejaron los resultados obtenidos en las encuestas, con los algoritmos propuestos por diversos autores, como valores óptimos para el confort térmico, para poder determinar así la validez de su utilización, para situaciones de similares características.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las mediciones higrotérmicas se realizaron con un sensor termométrico digital (precisión de + 1°C, dentro del rango de los 0°C a 40°C), durante dos meses (agosto y septiembre), en la franja horaria comprendida entre las 9.00 y 12.00 hs.

Por lo variado de las actividades deportivas consideradas para la investigación, se estipuló, como tiempo mínimo de desarrollo, intervalos de prácticas deportivas de 45 minutos, para asegurar así que los individuos llegasen al máximo de su carga metabólica.

Las mediciones y encuestas se realizaron dentro de los 10 minutos finales del desarrollo de las actividades, para garantizar que las personas llegaran a un estado estable de producción de calor. Los entrevistados, 350 personas en total (tabla 1), respondieron una breve encuesta acerca de si se sentían confortables térmicamente, y de no ser así, si su sensación era de frío o calor.

Todas las personas entrevistadas realizan actividad física de forma regular, y la edad de los mismos oscilaba entre los 10 y 35 años. Todos los encuestados eran residentes estables de la ciudad de México, hecho que garantizaba la aclimatación de los mismos a las condiciones climáticas de la región (ciudad de México).

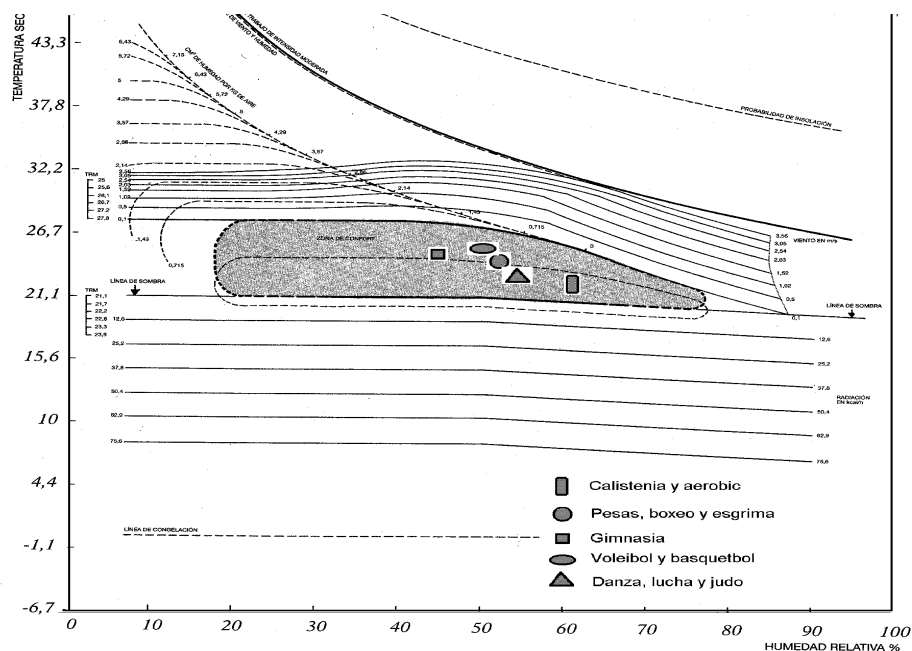
Tabla 1 Resultados obtenidos en las encuestas

Actividad	Desarrollo actividad en min.	Producción Energética (W/m ²)	Clo	Temp. ambiente (°C)	Humedad Relativa %	Número de Ocupantes	Sensación (número de personas)		
							Frío	Estable	Calor
Calistenia	60	197	1	22	60	52	4	18	30
Danza	60	185	1	23	55	133	12	121	
Judo	120	464	0.8	23	55	11	1		10
Lucha	60	504	0.8	23	55	2		2	
Pesas	90	406	1	24	52	11		3	8
Boxeo	120	417	0.5	24	52	30		2	28
Basquetbol	100	440	0.7	25	51	18	1		17
Voleibol	100	290	0.7	25	51	12			12
Gimnasia	60	208	1	25	45	79	7	2	70
Aeróbicos	60	348	0.7	20	68	8			8
Esgrima	40	406	1	24	55	11			11
Totales						367	25	148	194

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Diagramas Bioclimáticos

En la figuras 1 y 2 se observa que los datos de temperatura y humedad medidos se encuentran dentro de los rangos óptimos de confort, pero de acuerdo con los resultados de la investigación de campo (tabla 1), solo los del grupo de danza presentan una sensación de confort térmico, mientras que en la mayoría de los otros grupos predominaba una sensación de calor.



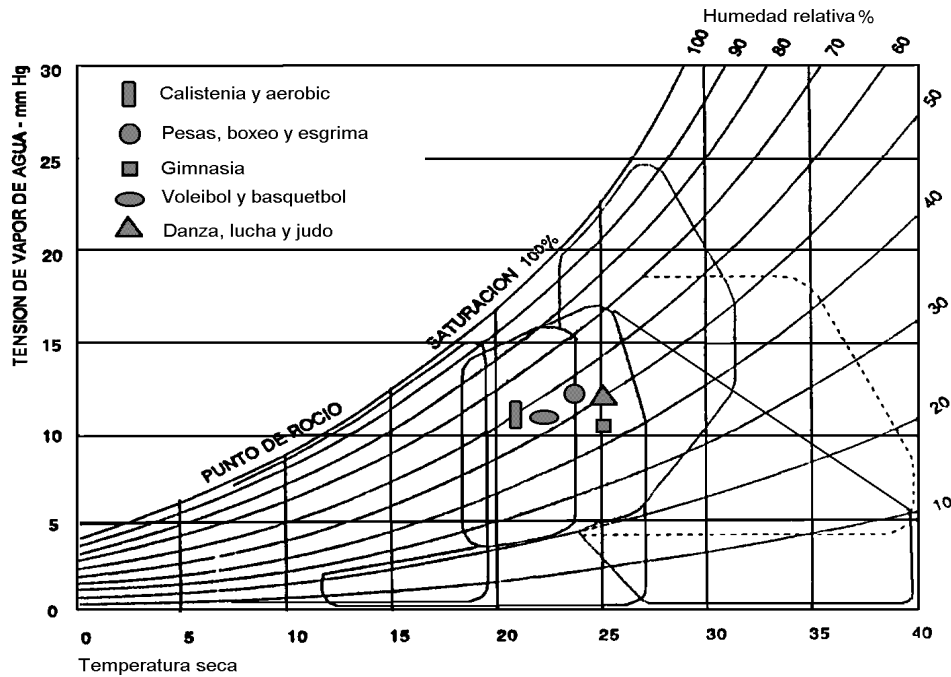


Figura 1 y 2. Inclusión sobre el diagrama bioclimático de Olgay y Givoni, de los datos de temperatura y humedad relativa obtenidos a través de las mediciones.

Del total de los encuestados, si bien se encontraban en ambientes en los que la temperatura y humedad relativa tenían valores dentro de los rangos óptimos propuestos en los diagramas bioclimáticos de Olgay y Givoni, sólo el 40% de los mismos manifestó el estado de confort. Del 60% restante, el 7% tenía una sensación de frío, y el 53% sufría de calor.

Los resultados obtenidos (tabla 1), se compararon además con los rangos higrotérmicos de confort, (tabla2) recomendados como óptimos por estudios realizados en Rusia (Laptev, 1987). Si bien los datos están por debajo de los valores higrotérmicos obtenidos en las mediciones, podrían acercarse bastante a la sensación óptima de confort manifestada en la encuesta, puesto que el 53% de los encuestados sufrían de calor, es decir podrían haber desarrollado su actividad, bajo temperaturas más bajas y así, facilitar la pérdida de la alta producción de calor de su cuerpo (Armstrong, 1995).

Tabla 2 Rangos higrotérmicos para distintas actividades deportivas

Actividad	Observación	Temperatura	Humedad
Salas deportivas en general	Depende de la densidad y nivel de la clase	15 °C	50%
Juego de pelota		14 - 16 °C	
Salas de lucha		16 - 18 °C	35 - 60%
Salas de gimnasia		16 - 20 °C	35 - 60%
	Novatos	17 °C	
	Sujetos bien entrenados	14 - 15 °C	
Atletismo		menor de 25 a 28 °C	menor de 70 - 84%
Boxeo y lev. de pesas	Entrenamiento vel. del aire 0.5 m/seg	15 °C	35 - 65%
	Competencias	16 - 25 °C	
Salas de esgrima		12 - 16 °C	
Albercas	Temp. piso y bancas 31 °C	Temp. agua 26 °C	55 - 65%
	Temp. agua adultos	26 - 28 °C	
	Temp. agua niños	28 - 30 °C	

4.2 Algoritmos de P.O. Fanger

Otra fuente tomada para el análisis, fue el "Predicted Mean Vote" (PMV) (Fanger, 1970). Los algoritmos propuestos por Fanger para el cálculo de lo que denomina PMV brindan, una estimación en una escala psico-física, 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 clo, y estará además en función de la actividad que esté desarrollando, medida en W/m^2 [Eq. 01].

Ecuación de Fanger para el cálculo del PMV

$$PMV := \left(0.352 \cdot e^{-0.042 \frac{M}{Adu} + 0.032} \right) \cdot \left[\frac{M}{Adu} \cdot (1 - \eta) - 0.35 \cdot \left[43 - 0.061 \cdot \frac{M}{Adu} \cdot (1 - \eta) - p_a \right] - \right. \\ \left. 0.42 \cdot \left[\frac{M}{Adu} \cdot (1 - \eta) - 50 \right] - 0.0023 \cdot \frac{M}{Adu} \cdot (44 - p_a) - 0.0014 \cdot \frac{M}{Adu} \cdot (34 - t_a) - \right. \\ \left. \left[3.4 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4 \right] - f_{cl} \cdot \left[2.05 \cdot (t_{cl} \cdot t_a)^{0.25} \right] \cdot (t_{cl} - t_a) \right] \right. \quad [Eq. 01]$$

Donde:

M/Adu: Relación entre la razón metabólica y el área de Du Bois

n: Eficiencia mecánica externa del cuerpo

Pa: Presión de vapor

ta: Temperatura ambiente

fcl: Relación entre el área de la sup. del cuerpo vestido, al área del cuerpo desnuda

tcl: Temperatura exterior de la ropa

trm: Temperatura media radiante

hc: Coeficiente convectivo de transferencia de calor

Sobre la base de los datos obtenidos en las mediciones de campo (tabla 1) y los datos sugeridos por el autor, se realizó el cálculo del PMV correspondiente a cada situación estudiada. Los resultados obtenidos, se cotejaron con la escala de valores de sensaciones térmicas (tabla 3), propuesta por Fanger, 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.

Tabla 3 Rangos de la Sensación Térmica sobre la base del PMV propuesta por Fanger

PMV	Sensación Térmica
-3	Frío
-2	Fresco
-1	Ligeramente fresco
0	Neutro
+1	Ligeramente cálido
+2	Cálido
+3	Bochornoso

Un análisis de los resultados obtenidos a través de los algoritmos de Fanger (tabla 4), muestra que para las actividades deportivas analizadas salvo los casos de calistenia y danza, la sensación térmica imperante debería ser de calor (bochornoso), punto que coincide con los datos obtenidos en las encuestas.

Posteriormente se realizaron otros cálculos, manteniendo constantes algunas variables y modificando los datos de la temperatura ambiente, para lograr que todas las actividades se acercasen a valores dentro de los rangos de confort térmico (neutralidad), establecidos por Fanger, obteniéndose los resultados de la tabla 5.

Si bien se pudo mejorar la situación empírica en alguno de los casos, no se obtuvo una buena respuesta frente a casos de actividades de alta producción calórica, (mayores a $200 W/m^2$), pues a pesar de bajar en el cálculo la temperatura ambiente en casi todos los casos a $8 ^\circ C$, las sensaciones térmicas siguen siendo de calor.

Tabla 4 Resultados del PMV obtenidos de la utilización de los algoritmos de Fanger.

Actividad	Temperatura (°C)	H. R. %	M/Adu (W/m ²)	Clo	PMV	Sensación (tabla 3)
Calistenia	22	60	197	0.7	0.74	Confort
Danza	23	55	185	0.7	0.71	Confort
Judo	23	55	464	0.8	6.20	Calor
Lucha	22	55	504	0.8	6.69	Calor
Pesas	24	52	406	0.6	5.31	Calor
Boxeo	24	52	417	0.5	5.52	Calor
Basquetbol	25	51	440	0.7	6.00	Calor
Voleibol	25	51	290	0.7	3.27	Calor
Gimnasia	25	45	208	0.8	1.69	Calor
Aeróbics	20	68	348	0.7	3.24	Calor
Esgrima	24	55	406	0.9	5.52	Calor

Tabla 5 Ajuste de la temperatura, para obtener el grado de confort térmico, en cada actividad.

Actividad	Temperatura (°C)	H. R. %	M/Adu (W/m ²)	Clo	PMV	Sensación (tabla 3)
Calistenia	22	60	197	0.7	0.74	Confort
Danza	23	55	185	0.7	0.71	Confort
Judo	8	55	464	0.8	3.40	Calor
Lucha	8	55	504	0.8	4.08	Calor
Pesas	8	52	406	0.6	1.99	Ligero calor
Boxeo	8	52	417	0.5	1.85	Ligero calor
Basquetbol	8	51	440	0.7	2.81	Calor
Voleibol	14	51	290	0.7	0.94	Confort
Gimnasia	18	45	208	0.8	0.36	Confort
Aeróbics	8	68	348	0.7	1.43	Calor
Esgrima	8	55	406	0.9	2.68	Calor

Para entender como era la correlación entre M/Adu y la temperatura ambiente (variables de mayor incidencia sobre el resultado de la ecuación) se realizaron nuevos cálculos para determinar el valor de M/Adu necesario para cada grado de temperatura ambiente, manteniendo el PMV resultante en valores de neutralidad y el valor de vestimenta clo en 1 (uno).

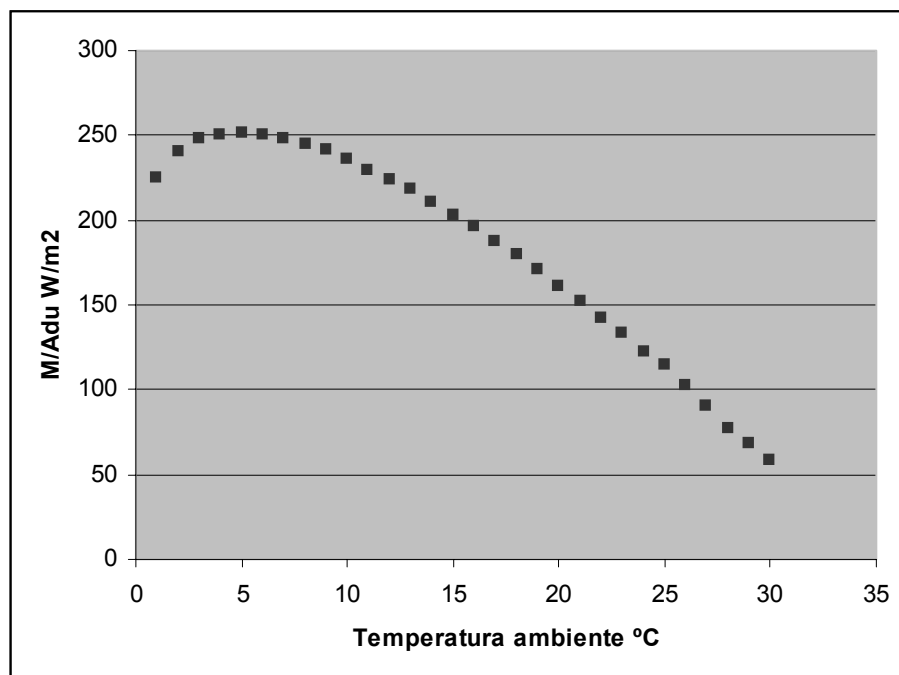


Figura 3. Relación entre la temperatura ambiente y la producción interna de calor del cuerpo (M/Adu) manteniendo un valor de PMV de neutralidad (confort).

Tabla 6. Relación entre la temperatura ambiente y la producción interna de calor del cuerpo (M/Adu) manteniendo un valor de neutralidad del PMV

T. ambiente (°C)	M/Adu (W/m ²)	PMV	T. ambiente (°C)	M/Adu (W/m ²)	PMV
30	58	0.043	15	203	0.035
29	68	0.048	14	211	0.044
28	78	0.043	13	218	0.039
27	90	0.043	12	224	0.041
26	102	0.057	11	230	0.035
25	115	0.042	10	235	0.045
24	123	0.050	9	241	0.048
23	133	0.053	8	245	0.043
22	143	0.047	7	248	0.045
21	152	0.053	6	251	0.051
20	161	0.040	5	252	0.057
19	171	0.049	4	251	0.051
18	180	0.047	3	248	0.063
17	188	0.044	2	240	0.047
16	196	0.048	1	225	0.049

En la figura 3 y tabla 6 se presenta una situación estable de aumento del M/Adu de aproximadamente 7 unidades promedio por cada grado de temperatura que disminuimos en el ambiente, hasta que en los valores de temperaturas inferiores a 5° C (M/Adu mayor de 250 W/m²), se produce un punto de inflexión a partir del cual no se obtiene el comportamiento esperado. Hecho que nos habla quizá de la necesidad de un ajuste, para lograr resultados más acordes a la aclimatación de las personas, en actividades por fuera de estos rangos.

5. CONCLUSIONES

Analizando los datos obtenidos en las encuestas de campo, es importante resaltar que la situación de equilibrio o confort térmico, es una condición psico-física, de ahí el hecho de que ante situaciones higrotérmicas, de vestimenta y actividad semejantes, distintas personas tengan sensaciones disímiles.

Por los casos analizados en este trabajo, no se puede hablar de la invalidez de la utilización de diagramas bioclimáticos o cálculos y tablas de rangos empíricos, 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.

En los diagramas bioclimáticos de Olgyay y Givoni, es necesario realizar un ajuste, para su utilización práctica para situaciones en las cuales las actividades analizadas, superen los rangos de producción de calor, de las actividades sedentarias.

Los datos de “sensación térmica” obtenidos a través de los algoritmos de Fanger, no pueden tomarse como rangos de confort térmico para algunas de las actividades como las analizadas en el presente trabajo (valores de M/Adu superior de 250 W/m²), 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.

6. 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, M. (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.
- ASTRAND- ROHDAL (1992), Fisiología del Trabajo Físico, Ed. Panamericana, Argentina.
- FANGER P.O.(1970), Thermal Comfort, Danish Thechnical Prees, Copenhagen.
- GIVONI B. (1976), Man, Climate y Architecture, Applied Science Publishers, Inglaterra.
- 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.