ASADES

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente
Vol. 2, N° 1, 1998. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

ANALISIS DEL METODO DE P.O.FANGER PARA OBTENER EL PMV (RANGO DE CONFORT HIGROTERMICO)

Néstor A. Mesa
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda
I.N.C.I.H.U.S.A. C.R.I.C.Y.T. Mendoza, Argentina
Tel: (54-61) 28 8798 Ext. 24 Fax: (54-61) 28 7370
Email: amesa@lab.cricyt.edu.ar

David Morillón G.
Especialización en Heliodiseño U.A.C.P.y P.
Fac. Arquitectura U.N.A.M, México D.F..
Tel: (52-5) 448 6000 Ext. 2063 Fax: (52-5) 448 6328
Email: conaeu3e@rtn.net.mx

RESUMEN

Con el objeto de analizar el alcance de algunas de las herramientas con que contamos, 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.
Posteriormente se cotejaron los resultados obtenidos en las encuestas con los reportados, así como con los algoritmos propuestos por diversos autores, como valores óptimos para el confort térmico.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las mediciones higrotérmicas se realizaron con un censor termométrico digital con una precisión de +- 1°C, dentro del rango de los 0°C a 40°C, durante los meses de Agosto y Septiembre de 1996, en la franja horaria comprendida entre las 9.00 y 12.00 hs., estipulando como tiempo mínimo de desarrollo, intervalos de prácticas deportivas de 45 minutos.
Las mediciones y encuestas se realizaron dentro de los 10 minutos finales para garantizar que las personas llegaran a un estado estable de producción de calor. Los entrevistados, 350 personas en total, fueron encuestados acerca de su sensación de confort térmico. La edad de los mismos oscilaba entre los 10 y 35 años, de características físicas variadas.
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 ciudad. Además de esto, todas las personas entrevistadas realizaban actividad física de forma regular.
El estudio se realizó sobre distintos grupos de deportistas desarrollando diversas actividades a saber: calistenia, danza, judo, lucha, trabajo con pesas, boxeo, basquet, voleibol, gimnasia, aerobics y esgrima. Las características constructivas de todos los ámbitos está enmarcada dentro de los estandars de construcciones deportivas, considerando sus medidas, materiales y terminaciones. Al momento de la toma de datos en casi todos los casos, 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.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EMPÍRICOS, CON LOS OBTENIDOS EN CAMPO (encuestas)

Del total de los encuestados, si bien se encontraban en ambientes dentro de los rangos óptimos de temperatura y humedad propuestos por diversos autores, 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.

Tabla 1 Resultados obtenidos en las encuestas

Actividad	Tiempo de actividad en min.	Produc.Energética W /m2 según Fanger	Vestimenta en CLO	T. interior en °C	%H.Rel. relativa interior	Número de ocupantes	Sensación Térmica (número de personas)		
							Frío	Bueno	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
Aeróbic	60	348	0.7	20	68	8			8
Esgrima	40	406	1	24	55	11			11
					Totales	**367**	**25**	**148**	**194**

Los resultados obtenidos (Tabla 1), se compararon con los rangos higrotérmicos de confort, que se obtienen de la utilización de algoritmos de P.O.Fanger del "Predicted Mean Vote" (PMV). Fanger a través del cálculo del PMV, hace una estimación de la sensación térmica, que presentará un individuo teniendo en cuenta esencialmente los valores de temperatura ambiente, velocidad y humedad del aire, incidencia de la temperatura 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 kcal/hs m2.

Ecuación de Fanger para el cálculo del PMV

$$PMV = \left(0.352 \cdot e^{-0.042 \cdot \frac{M}{Adu}} + 0.032\right) \cdot \left[\frac{M}{Adu} \cdot (1 - \eta) - 0.35 \cdot \left[43 - 0.061 \cdot \frac{M}{Adu} \cdot (1 - \eta) - pa\right] -\right.$$

$$0.42 \cdot \left[\frac{M}{Adu} \cdot (1 - \eta) - 50\right] - 0.0023 \cdot \frac{M}{Adu} \cdot (44 - pa) - 0.0014 \cdot \frac{M}{Adu} \cdot (34 - ta) -$$

$$\left.\left[3.4 \cdot 10^{-8} \cdot fcl \cdot \left[(tcl + 273)^4 - (trm + 273)^4\right]\right] - fcl \cdot \left[2.05 \cdot (tcl - ta)^{0.25}\right] \cdot (tcl - ta)\right]$$

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

*Fuente: Fanger P.O. (1970)

Tabla 2 Rangos de la Sensación Térmica basada en el PMV propuesta por P.O.Fanger

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

*Fuente: Fanger P.O. (1970)

Los resultados del cálculo del PMV, se cotejaron con la escala de valores de sensaciones térmicas (ver tabla 2) propuesta por P.O.Fanger, en donde 0 (cero) es el valor considerado como de sensación neutra, es decir en el cual una persona se encuentra en equilibrio con el medio que lo rodea. De ahí en más los valores negativos son los correspondientes a las sensaciones de frío, mientras que los positivos a las de calor.
Analizando los datos obtenidos en el caso del voleibol y basquetbol, ambas disciplinas se desarrollaban en el mismo ambiente, los rangos higrotérmicos se encontraban dentro de los rangos óptimos, según Olgyay o Givoni, pero a pesar de esto, de los 30 encuestados, ninguno manifestó confort térmico. 29 de ellos presentaban una sensación de calor mientras que el restante, sentía el ambiente ligeramente frío.
En la tabla 1 se observa que en todos los casos se tienen condiciones higrotérmicas, dentro de los rangos óptimos de confort, según las gráficas bioclimáticas de Olgyay o Givoni, por ejemplo (rangos entre 19°C y 25°C +-1°C, según sea invierno o verano), pero 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.
En resumen, al comparar nuestros resultados de campo contra el método de Givoni, del total de las personas encuestadas en el muestreo, solo el 40% respondió que se encontraba confortable térmicamente, del grupo restante, el 53% de los mismos presentaba sensación de calor.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS ENCUESTAS CONTRA LOS ALGORITMOS DE P.O. FANGER (análisis matemático)

Un análisis de los resultados obtenidos a través de los algoritmos de P.O.Fanger (tabla 3), muestra que para todas las situaciones analizadas salvo los casos de calistenia y danza, la sensación térmica imperante en los grupos de experimentación sería de calor bochornoso, punto que coincide, con los datos obtenidos en las encuestas.
En los datos de la tabla 3 se agregó además de los distintos grupos en estudio, el caso de una persona en reposo, bajo condiciones higrotérmicas óptimas, según los rangos de confort propuestos por distintos autores. Al analizar los datos

obtenidos para este caso, se observa cierta disimilitud con la posible realidad, ya que a 25° C, con un clo de vestimenta, el común de la gente, no sentiría frío.

Tabla 3 Resultados del PMV obtenidos de la utilización de los algoritmos de P.O.Fanger, sobre los datos medidos en campo comparados con la tabla 2.

Actividad	Temp. °C	H.Rel. %	M/Adu	Clo	PMV	Sensación Térmica
Calistenia	**22**	60	170	0.7	**0.74**	**Confort**
Danza	**23**	55	160	0.7	**0.71**	**Confort**
Judo	**23**	55	400	0.8	**6.20**	**Calor**
Lucha	**22**	55	435	0.8	**6.69**	**Calor**
Pesas	**24**	52	350	0.6	**5.31**	**Calor**
Boxeo	**24**	52	360	0.5	**5.52**	**Calor**

Actividad	Temp. °C	H.Rel. %	M/Adu	Clo	PMV	Sensación Térmica
Basquet	**25**	51	380	0.7	**6.00**	**Calor**
Voleibol	**25**	51	250	0.7	**3.27**	**Calor**
Gimnasia	**25**	45	180	0.8	**1.69**	**Calor**
Aeróbic	**20**	68	300	0.7	**3.24**	**Calor**
Esgrima	**24**	55	350	0.9	**5.52**	**Calor**
Reposo	**25**	50	50	1	**-2.27**	**Frío**

Para tratar de entender el porqué de los resultados tan disímiles de la tabla 3, se hicieron otros análisis para tratar de llegar a las condiciones de temperatura en las que todas las actividades, se acerquen a valores dentro de los rangos de confort térmico, establecidos por Fanger, obteniéndose los resultados de la tabla 4.

Tabla 4 Ajuste de la temperatura, para obtener el grado de confort térmico, en cada actividad.

Actividad	Temp. Empir.	H.Rel. %	M/Adu	Clo	PMV	Sensación Térmica
Calistenia	**22**	60	170	0.7	**0.74**	**Confort**
Danza	**23**	55	160	0.7	**0.71**	**Confort**
Judo	**8**	55	400	0.8	**3.40**	**Calor**
Lucha	**8**	55	435	0.8	**4.08**	**Calor**
Pesas	**8**	52	350	0.6	**1.99**	**Lig. calor**
Boxeo	**8**	52	360	0.5	**1.85**	**Lig. calor**

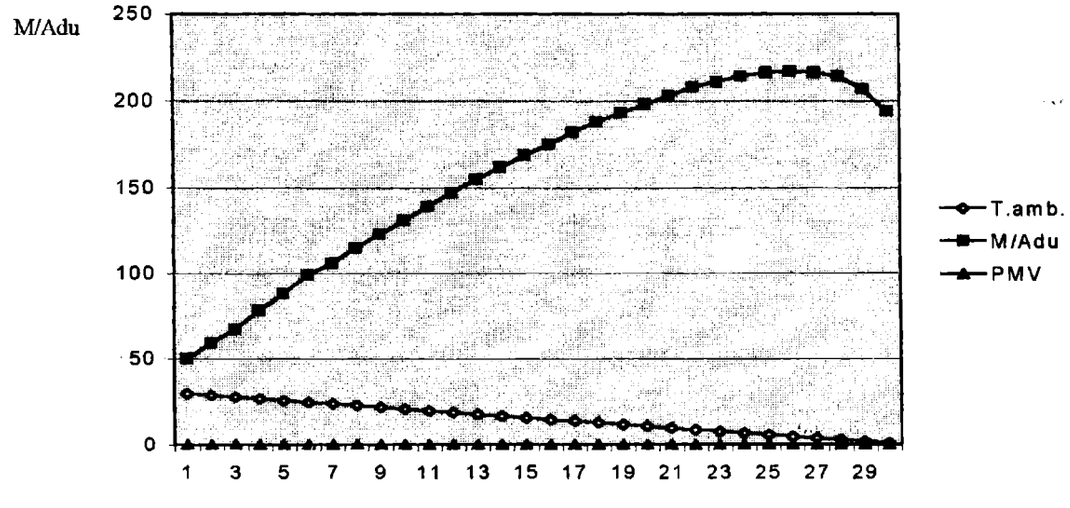
Actividad	Temp. Empir.	H.Rel. %	M/Adu	Clo	PMV	Sensación Térmica
Basquet	**8**	51	380	0.7	**2.81**	**Calor**
Voleibol	**14**	51	250	0.7	**0.94**	**Confort**
Gimnasia	**18**	45	180	0.8	**0.36**	**Confort**
Aeróbic	**8**	68	300	0.7	**1.43**	**Calor**
Esgrima	**8**	55	350	0.9	**2.68**	**Calor**
Reposo	**30**	50	50	1	**0.21**	**Confort**

Si bien se pudo mejorar la situación empírica en alguno de los casos, con los algoritmos de Fanger, no se tiene una buena respuesta frente a casos de actividades de alta producción calórica, pues a pesar de bajar empíricamente la temperatura ambiente en casi todos los casos a 8° C, las sensaciones térmicas siguen siendo de calor, mientras que, por el contrario, en el caso de la persona en reposo hubo que elevar la temperatura a 30°C, para llegar a valores de confort térmico.

Los algoritmos propuestos por Fanger para el cálculo de lo que denomina P.M.V. (Voto Medio Predicho), brindan según el autor, una idea anticipada en una escala psico-física de la sensación de confort higrotérmico que experimentará un grupo grande de personas, ante diversas condiciones ambientales, de vestimenta y actividad, hecho que, comparando las tablas 1, 2, 3 y 4, no queda totalmente establecido.

En la gráfica 1 se hizo una relación, con datos obtenidos de cálculos realizados con los algoritmos de Fanger (tabla 5), entre el M/Adu necesario para distintos valores de temperatura ambiente, para mantener el PMV en valores de neutralidad (0.035 a 0.063) y el valor de vestimenta clo en 1 (uno).

Gráfica 1 Relación entre la temperatura ambiente y la producción interna de calor del cuerpo (M/Adu) para un PMV de neutralidad



En la gráfica 1 y tabla 5 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 del M/Adu superiores a 200, se produce un punto de inflexión comenzando a disminuir dichos valores. Por otro lado, se sigue presentando la situación de la necesidad de altas temperaturas para lograr el confort en estado de reposo, situación que nos habla quizá de la necesidad de un ajuste a las tablas de equivalencias a nivel regional, para lograr resultados más acordes a la aclimatación de las personas, teniendo en cuenta que, las experimentaciones que dieron como resultado los algoritmos de Fanger, se realizaron bajo características bastante alejadas a las imperantes en nuestro caso (región).

Tabla 5 Relación entre la temperatura ambiente y la producción interna de calor del cuerpo (M/Adu) para un PMV de neutralidad

T. amb.	M/Adu	PMV
30	50	0.043
29	59	0.048
28	67	0.043
27	78	0.043
26	88	0.057
25	99	0.042
24	106	0.050
23	115	0.053
22	123	0.047
21	131	0.053

T. amb.	M/Adu	PMV
20	139	0.040
19	147	0.049
18	155	0.047
17	162	0.044
16	169	0.048
15	175	0.035
14	182	0.044
13	188	0.039
12	193	0.041
11	198	0.035

T. amb.	M/Adu	PMV
10	203	0.045
9	208	0.048
8	211	0.043
7	214	0.045
6	216	0.051
5	217	0.057
4	216	0.051
3	214	0.063
2	207	0.047
1	194	0.049

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.

Llegar al equilibrio o neutralidad térmica a través de una ecuación general de confort térmico es un paso importante, pero no garantiza la comodidad de los ocupantes de un ambiente. Dichas ecuaciones trabajan sobre la combinación de diversas variables, que pueden dar un resultado aproximado o empírico óptimo, pero analizándolas individualmente podríamos detectar situaciones de incomodidad, como velocidades de viento molestas para la actividad que se desarrolle en el ambiente, o radiaciones solares excesivas. Al analiza un ambiente en el que, dependiendo de la escala del mismo y de las condiciones de relación con el exterior que imperen, podríamos tener que considerar la posibilidad de micro-ambientes interiores.

Por los casos analizados en este trabajo, no se puede hablar de la invalidez de la utilización de gráficas bioclimáticas 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 la característica de los individuos de la región en la que serán implementados.

Una persona realizando actividad física puede que se encuentre más confortable en ambientes con condiciones térmicas por debajo de los estándares medios de comodidad, pues al ser mayor el diferencial de temperatura cuerpo-medio, se facilita la pérdida del calor excedente del cuerpo, al ambiente que lo rodea.

Los datos de "sensación térmica" obtenidos a través de los algoritmos de Fanger, no pueden tomarse como rangos de confort térmico para actividades como las analizadas en el presente trabajo, 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 las otras variables que intervienen.

BIBLIOGRAFÍA

Armstrong L, Maresh C, Riebe D, Kenefick R, Castellano J, Senk J, Echegaray M y Foley M. (1995) Local cooling weelchair atletes during exercise-heat stress, *Med. Sci.Sports Exerc.*, Vol 27, 2, 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 Confort, *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.

Morillón David, (1993) Bioclimática, Universidad de Guadalajara, *Ed. Doble Luna S.A.*, México

Wright D., (1983) Arquitectura Solar Natural, *Ed. G. Gilli S.A.*, México,