

NOTAS Y DOCUMENTOS

COMPARACIÓN DE DIFERENTES COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN USADOS EN BIOMETEOROLOGÍA

José Manuel Guevara Díaz*

Cuando el aire se calienta es más liviano y asciende transportando el calor a capas superiores de la troposfera. Este movimiento del aire en meteorología, recibe el nombre de convección; y al movimiento en sentido contrario, el descenso del aire más frío y pesado de capas superiores hacia la superficie, recibe el nombre de subsidencia. Al movimiento del aire horizontalmente, se denomina advección o simplemente viento.

En condiciones naturales, el viento es el elemento climatológico que representa el movimiento del aire, con intensidades que varían según la situación sinóptica del momento, afectando la superficie de la tierra y al hombre sobre ella. Esa acción de transferir calor (traer o liberar calor) a la superficie del cuerpo de las personas, en bioclimatología humana, se denomina convección. Sin embargo, la convección, tal como se interpreta en esta especialidad, incluye, además del efecto del viento sobre la persona, el causado por el movimiento que la persona realiza en sus actividades. No será por consiguiente, el valor del coeficiente de transmisión de calor (coeficiente de convección o convectivo) igual cuando una persona se encuentra sentada o acostada, que caminando, corriendo o trabajando. El concepto anterior, en consecuencia, difiere en este sentido al concepto de convección utilizado en meteorología.

* Profesor Titular, Escuela de Geografía, Universidad Central de Venezuela.

En condiciones de alta temperatura asociada con viento en calma o a velocidades muy bajas, cuando las personas requieren del viento para atenuar la acción del calor, los ventiladores, a escala crioclimática, suplen en parte ese complejo mecanismo, o a mayor costo, el aire acondicionado.

El coeficiente de convección, h_c , es entonces, un componente de la expresión matemática utilizada para cuantificar la transferencia de calor por el movimiento del aire, Q_c , y su valor es en (vatio $m^2/^\circ C$) de tal manera que al ser multiplicado por la diferencia térmica entre la superficie del cuerpo, t_s , y la del aire que la rodea, t_a , permite obtener el calor que se libera del cuerpo o llega al cuerpo humano por el proceso de convección:

$$Q_c = h_c (t_s - t_a)$$

La velocidad del viento es parte fundamental en los valores de los coeficientes de convección que se utilizan usualmente en biometeorología, para cuantificar esa transferencia de calor de la superficie del cuerpo humano hacia su ambiente exterior, pero también lo son otras propiedades físicas del aire como su conductividad térmica, k ; su viscosidad, μ , y su densidad d ; así como también la forma del cuerpo, que en el caso de la persona, es considerada como un cilindro, D . Al combinar las propiedades anteriores para el aire y para un diámetro del cuerpo de 10 cm, Steadman (1) obtiene experimentalmente el siguiente coeficiente de convección empleado en su índice bioclimático del wind chill (I_{wc}) para personas vestidas:

$$h_c = \frac{0,04 k V^{0,752} d^{0,75}}{D^{0,25} \mu^{0,75}} = 1,72 V^{0,75} [\text{cal}/m^2s \text{ } ^\circ C]$$

el cual, convertido en $[W/m^2 \text{ } ^\circ C]$ es equivalente a: $1,72 V^{0,75}$

La comparación de diferentes coeficientes de convección, es el propósito de esta nota y para la cual se diseñó el Cuadro N° 1, producto de la revisión de la literatura de mayor uso en la especialidad.

Las unidades del viento son en metro por segundo (m/s) y las unidades de los coeficientes h_c , las hemos convertidos en $(\text{watio}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C})$ indiferentemente de las unidades en que se hubiesen escrito originalmente.

En el cuadro, las fuentes bibliográficas se identifican por los números de la primera columna, y en las observaciones, se indican los principales rasgos de las condiciones en la cual es válida cada expresión o valor del h_c .

Como se aprecia del cuadro, las posiciones y actividades más importantes de una persona, son consideradas en el valor del coeficiente. Lamentablemente, en algunas fórmulas como la usada por William Lowry, no se precisa en qué condición debe utilizarse, pero creemos que debe ser para personas paradas ya que utiliza como modelo del cuerpo humano, la semejanza con un cilindro de 20 centímetros de diámetro. La velocidad utilizada por el coeficiente de la Referencia (4) no es la velocidad del viento sino la de una persona caminando en forma normal, aproximadamente de unos cinco kilómetros por hora. Igualmente se aprecia que los coeficientes de convección, poseen constantes numéricas que varían entre 7,2 y 14; y el valor que se obtiene por el coeficiente de las fórmulas del wind chill, no difieren mayormente para personas caminando empleadas por diferentes autores.

Dado que la transferencia de calor por convección está influida por la posición y actividad de las personas, aumentando el valor del coeficiente desde la posición parada a acostada; y de la actividad suave a fuerte, se recomienda considerar los valores de los coeficientes de las referencias (8) y (9) en investigaciones bioclimáticas específicas, donde se conocen bien los detalles en los cuales se realiza el estudio. Los valores de la Referencia (9) incluyen coeficientes para viento en calma: de (a) a (d); y coeficientes con velocidades controladas del aire, dentro de una habitación, de (e) a (h). Los primeros, indican la convección según el tipo de actividad en ausencia de viento; y los segundos, la convección en movimiento del aire, que semejan vientos a esas intensidades.

En la Referencia (7) se indican otras expresiones para h_c , según diferentes velocidades del viento, pero nos parece que la indicada en el cuadro podría ser utilizada para persona de pie para cualquier velocidad.

En la Referencia (5), de Givoni, (para V en pie/minuto) el coeficiente originalmente es expresado por: $hc = 2 \sqrt{V}$, en [Btu/18,3pie²h°F] equivalente a [Btu/h°F persona], es decir, se refiere a la superficie promedio de la piel de una persona, 18,32 pie² (1,7 m²). Al convertir la expresión en [Btu/pie²h°F] resultó: $hc = 0,109 \sqrt{V}$, la cual (para v en m/s) es equivalente a: $8,7 \sqrt{V}$ en [W/m² °C], como se indica en el cuadro.

Para la metodología del proceso de conversión de fórmulas, véase la referencia (13), también publicada en este número de **Terra**.

Una advertencia final muy importante, cuando el aire está en calma o quieto (still air, en inglés) para las expresiones del coeficiente de convección que emplean la velocidad del aire, es que deben utilizar 0,1 m/s, y no cero m/s, ya que la transferencia de calor por convección, aunque se reduzca al mínimo, siempre está presente; y utilizar cero sería considerar la ausencia del proceso.

Cuadro N° 1. Valores o fórmulas del coeficiente de convección hc, utilizados en biometeorología

Fuente hc (W/m ² °C) V en m/s	Observaciones
(1) $11,63 V^{0,5} - 1,16 V + 12,15$	Iwc de Siple y Passel, 1945
(1) $12,67 V^{0,5} - 1,16 V + 10,46$	Iwc modificado por Court 1948
(1) $7,2 V^{0,75}$	Iwc de Steadman, 1971 persona caminando, a 1,33 m/s
(2) $8,3 V^{0,6}$	Mitchell, D. 1974, persona sentada
(3) $8,7 V^{0,67} + 2,7$	Colin, J and Y. Houdas, 1967. persona reclinada

Continua...

Continuación...

(4) 8,6 $V^{0,53}$	Mishi and A. Gagge, 1970 V es de persona caminando
(5) 8,7 $V^{0,5}$	Givoni, 1976 pers. en actividad fuerte
(6) 6,05 $V^{0,33}$	Lowry, 1969 persona parada
(7) 5,6 $V^{0,9}$	Burt, J. et al, 1982 persona parada
(8) a. 13,9 $V^{0,5}$ b. 12,13 $V^{0,5}$ c. 8,6 $V^{0,5}$	Konrad and Buettner, 1951 Posición supina Persona sentada Persona parada
(9) a. 3,1 b. 3,3 c. 6,0 d. 7,7 e. 6,2 f. 9,0 g. 12,6 h. 17,7	ASHRAE, 1985 Persona en descanso, calma Persona sedentaria, calma Actividad suave, V en calma Actividad media, V en calma Aire a 0,5 m/s en habitación Aire a 1,0 m/s en habitación Aire a 2,0 m/s en habitación Aire a 4,0 m/s en habitación
(10) 2,1	Gagge, A; J. Stolwijk y D. Hardy persona sentada
(11) 4,3	Woodcock, H y J. Breckenridge persona parada

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. STEADMAN, R. Indices of wind chill of clothe persons. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 10, N° 4.1971.
2. MITCHELL, D. Convective heat transfer in man and other animals. En: *Heat loss from animals and man*. Edic. J. L. Montreith and L.E. Mount. Butterworth Pub. London, 1974.
3. COLIN, J., Y. HOUDAS. Experimental determination of coeficient of heat exchange by convection of the human body. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 22, 1967. 4. NISHI, Y and A. GAGGE. Direct evaluation of convective heat transfer by naphtalene sublimation. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 29, 1970.
5. GIVONI, B. *Man, Climate and Architecture*. 2da. De. Essex. Applied Sicence, 1976.
6. LOWRY, William. *Weather and Life, an Introduction to biometerology* Academic Press. New York, 1969.
7. BURT, J; O. ROURKE y W TERJUNG. The relative influence of urban climate on outdoor human energy budgets and skin temperature. *Int. Jour. of biomet*. 1982. Vol. 26 N° 1. pp. 2-23.
8. KONRAD, J y K. BUETTNER. *Physical Aspects of Human Bioclimatology*. En: Malone, Thomas (De.). *Compedium of Meteorology*. AMS. Boston, 1951.
9. ASHRAE. *ASHRAE 1985 Fundamental Hanbooks*. New York, 1985.
10. GAGGE, A; J. STOLWIJK and J. HARDY. A Novel Approach to measurement of man's heat exchange with a complex radiant enviroment. *Journal of Aerospace Medicine*. Vol. 36, 1965.
11. WOODCOCK, A. and J. BRECKENRIDGE. A model description of thermal exchange for the nude man in hot enviroment. *Ergonometrics*. Vol. 8, 1965.
12. GUEVARA DIAZ, J. M. *Los índices de confort en bioclimatología*. Publicaciones de la Escuela de Geografía, UCV. Serie Temática, N° 29. Caracas, 1988.
13. _____. Procedimiento para convertir una fórmula matemática en otra de unidades equivalentes. Inédito.