

## MEDIDAS DEL COEFICIENTE H DEL VIENTO SOBRE UNA VIVIENDA

I. De Paul

Facultad de Ciencias Exactas – Universidad Nacional de Salta – Av. Bolivia 5150 C.P. 4400 Salta

Tel. 0387-4255389 – Fax 0387-4255449 e-mail: [depaul@unsa.edu.ar](mailto:depaul@unsa.edu.ar)

**RESUMEN.** Medidas realizadas previamente sobre un refugio de la UNSa en Payogasta con el fin de analizar las características de la disipación térmica por acción del viento mostraron que la relación  $h=5,7+3,8\bullet V$  empleando valores de velocidad medidos en un puesto lejano pueden sobreestimar la transferencia térmica convectiva. Empleando nuevas medidas de temperatura y viento se midió el coeficiente h y se calculó la energía térmica disipada por convección empleando los valores medidos de h y los calculados con la relación lineal. Los resultados muestran una gran diferencia entre h calculado y medido; la energía térmica convectiva puede diferir en dos o tres órdenes de magnitud según se emplee una expresión u otra. Se calculó la correlación entre h y la velocidad medida sobre las paredes del edificio mostrando valores muy bajos.

**Palabras clave.** Transferencia térmica convectiva, coeficiente h, correlación con el viento.

### INTRODUCCION

En trabajos presentados anteriormente en ASADES se mostró, a partir de resultados de medidas realizadas sobre un refugio de la UNSa en Payogasta, que el empleo de la relación  $h=5,7+3,8\bullet V$ , donde V es la velocidad media del viento en m/s y h en  $W/m^2\bullet C$ , puede conducir a una sobreestimación de la disipación térmica producida por el viento, y a un sobredimensionamiento de la aislación de una vivienda en una etapa de diseño, si se emplean los valores de velocidad tomados de estaciones meteorológicas alejadas [De Paul, 2004; De Paul, 2005 a]. Esto se debe a que la presencia de la vivienda, o del dispositivo que se trate, modifica el flujo respecto del que se produce en la zona de medida, generalmente una estación meteorológica ubicada en una zona descampada, produciendo valores de velocidad sobre las superficies apreciablemente menores que los medidos en la estación de referencia [Burmeister, 1983; Carvalho y Borges, 1998; Wittwer y otros 2002; Marighetti y otros, 2003]. Se propuso un factor de corrección que podría aplicarse en primera aproximación a los valores de h obtenidos a partir de medidas realizadas en una estación lejana [De Paul, 2005 b], destacándose la necesidad de la realización de medidas sistemáticas de largo plazo para que, a partir de una muestra estadística amplia, se pudieran establecer relaciones o factores de corrección significativos.

En mayo de 2006 se realizó una nueva campaña de medidas a partir de las cuales se calcularon los coeficientes de transferencia convectivos h sobre las paredes y techo y se correlacionó estos valores con las medidas de viento que realmente actúan en cada posición. Los resultados mostraron que la relación lineal recomendada no es aplicable a los valores de velocidad que realmente actúan sobre la vivienda por lo que es necesario encontrar nuevas relaciones o factores de corrección como los planteados en [De Paul, 2005 b].

### CONDICIONES DE LAS MEDIDAS

El refugio se encuentra en la localidad de El Quipón, próxima a Payogasta, a 147 km al OSO de la ciudad de Salta, a 2410m de altura snm, en un cañadón orientado en la dirección Este-Oeste que desemboca sobre el río Calchaquí. Las barrancas laterales tienen una altura que varía desde los 8m al norte hasta unos 20m al sur, constituyendo un cañón natural de unos 90m de ancho y 400m de largo, en cuyo extremo Este está emplazado el refugio (Figura 1).



Figura 1. Refugio de la UNSa en Payogasta visto desde el Norte.

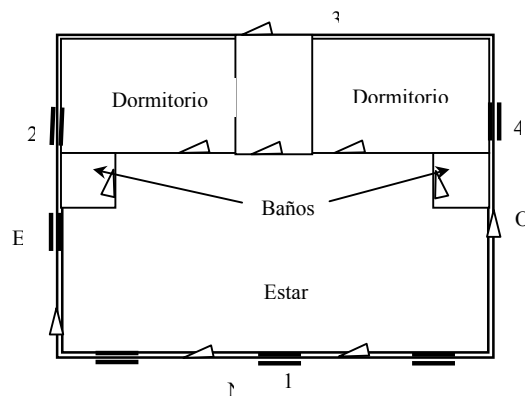


Figura 2. Esquema de la planta de la vivienda y posición de los anemómetros.

Las medidas de viento y de temperatura del aire cerca de las superficies se hicieron empleando cinco termoanemómetros manuales TSI de hilo caliente, direccionales, con una frecuencia de medida de  $1\text{ s}^{-1}$ , y una constante de tiempo de 10 s sobre la cual promedia las medidas, lo que permite tener una precisión en la velocidad de 0,01 m/s y en la temperatura de 0,1°C. Los termoanemómetros numerados de 1 a 4 fueron colocados en las aberturas de las ventanas del refugio, (Figura 2), a una altura de 1,40m sobre el piso, a 0,30m de la superficie de las paredes en la zona media de cada superficie y orientados de manera de captar la componente tangencial a las superficies de la velocidad del viento; el número 5 fue colocado a 0,15m sobre la cumbrera del techo. En la cara Sur que no tiene ventanas, se montó el anemómetro 3 sobre un soporte en la misma posición que los restantes. Se empleó un termoanemómetro TSI para medir la temperatura del aire en el puesto de referencia a una altura de 1,80m y un anemómetro de cazoleta para medir la velocidad del viento, pero cuya salida en voltaje no pudo ser calibrada.



Figura 3. Puesto de referencia.



Figura 4. Disposición de termocuplas en el interior

Las medidas de temperatura de techo y en las paredes internas del estar se hicieron con dos sistemas de adquisición de datos Omega empleando termocuplas de cobre-constantán. Las medidas de superficie se hicieron con una pistola infrarroja Raytek con la que se midió la temperatura interna y externa de las paredes del refugio, en la misma posición, en dos lugares diferentes sobre cada superficie, que fueron identificadas por los puntos cardinales: en la pared norte N; en la pared este EN, ES; en la pared sur SE, SO y en la pared oeste OS, ON. También se midió la temperatura de superficie de las puertas de aluminio.

## MEDIDAS REALIZADAS

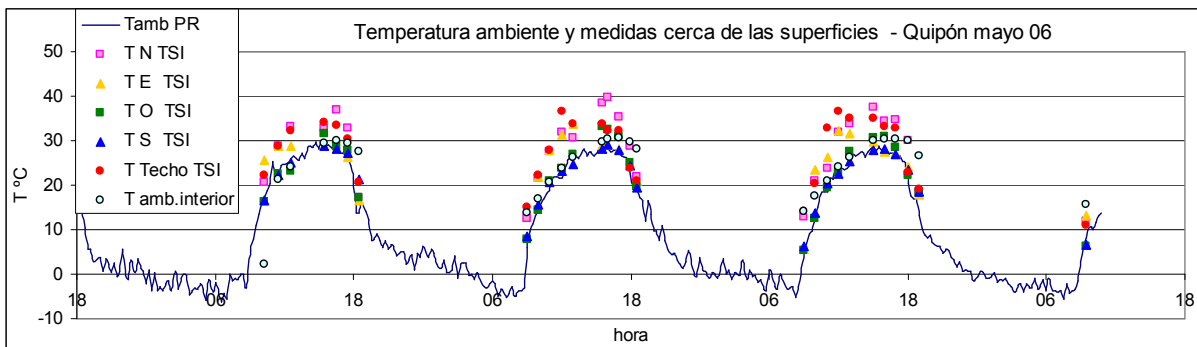


Figura 5. Temperatura ambiente medida en el puesto de referencia y del aire cerca de las superficies.

La Figura 5 muestra las medidas de temperatura del aire tomadas en el puesto de referencia y a 0.30 m sobre las superficies externas del refugio. Se observa que pueden encontrarse diferencias de hasta 12 grados entre estos valores siendo las medidas realizadas sobre la vivienda siempre mayores que las del puesto de referencia, lo que es de esperar.

Las medidas de viento realizadas en el puesto de referencia, lamentablemente, no pudieron ser calibradas y por lo tanto no se pueden emplear en este análisis. La Figura 6 muestra las medidas de viento realizadas sobre las superficies del refugio mostrando que las contribuciones más importantes se encuentran en el techo, la pared Norte y la Oeste. Los valores promedio de velocidad en los tres días de medida se muestran en la Tabla 1.

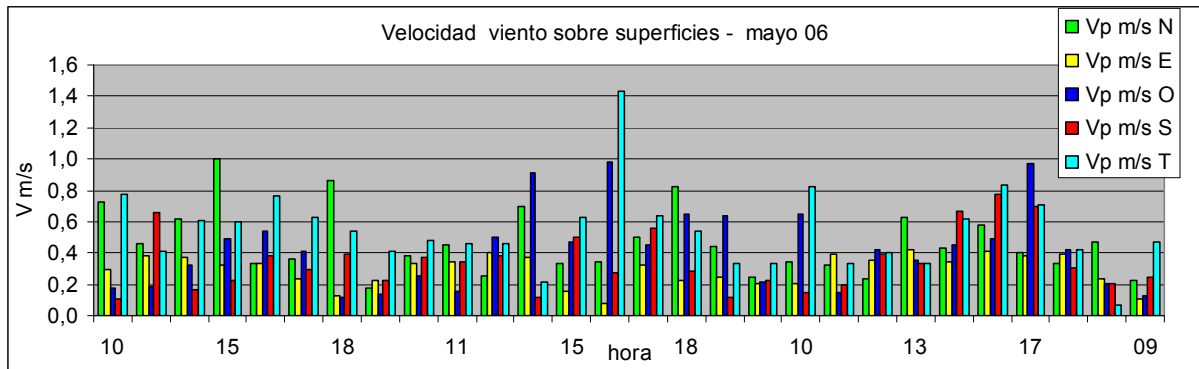


Figura 6. Velocidad del viento sobre las superficies.

Promedios sobre todos los días de medida					
<b>Velocidad sobre superficie</b>					
	Vp m/s N	Vp m/s E	Vp m/s O	Vp m/s S	Vp m/s T
Promedios:	0,46	0,29	0,42	0,34	0,55
Desviacion stand:	0,21	0,10	0,25	0,19	0,25
<b>Coefficiente de transferencia lineal</b>					
	hc norte	hc este	hc oeste	hc sur	hcm techo
Promedios:	7,46	6,82	7,31	7,00	7,77
Desviacion stand:	0,79	0,37	0,95	0,70	0,96

Tabla 1. Valores de velocidad del viento y coeficiente h calculado con la relación (1), promediados sobre los tres días de medida.

### CÁLCULOS REALIZADOS

La Figura 7 muestra los valores del coeficiente convectivo h calculado con la relación lineal (1) empleando los valores de velocidad medidos sobre las superficies. Estrictamente, no se sabe si es lícito emplear estos valores, pero se realizó el cálculo para poder compararlo con otros resultados. Normalmente la velocidad en el puesto de referencia es mayor que cerca de la superficie.

$$h_{RL} = 5,7 + 3,8 * V \quad (1)$$

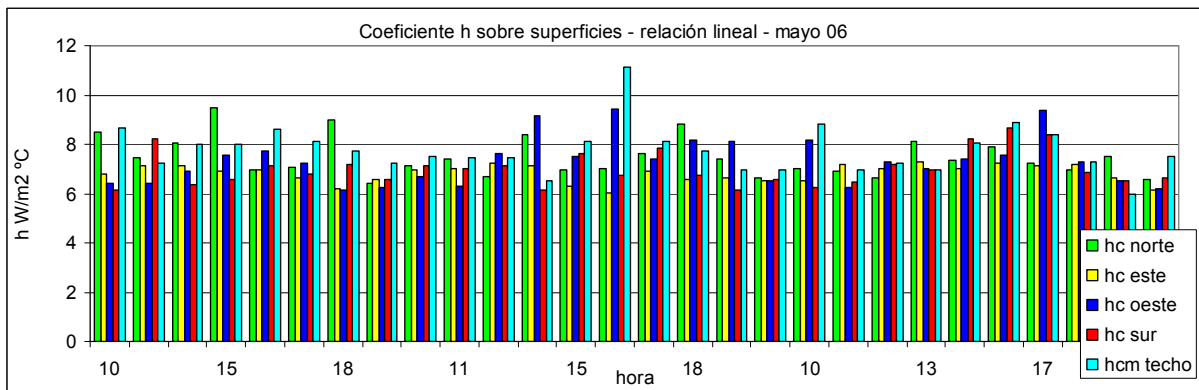


Figura 7. Coeficiente h sobre las superficies calculado a partir de la relación lineal, empleando los valores de velocidad medidos sobre ellas.

El coeficiente h se calculó también a partir de las medidas de temperatura de superficie realizadas con la pistola infrarroja empleando la siguiente expresión, donde k y e son la conductividad térmica y el espesor de las paredes o el techo, según corresponda.

$$h_M = \left( \frac{k}{e} \right) \frac{(T_{\text{externa}} - T_{\text{interna}})}{(T_{\text{aire cerca de la superficie}} - T_{\text{externa}})} \quad (2)$$

La Figura 8 muestra los valores de h obtenidos a partir de la relación lineal (1) en función de la velocidad, mientras que la Figura 9 muestra lo mismo pero con los valores de h calculados a partir de la relación (2) que se identificará como "h medido".

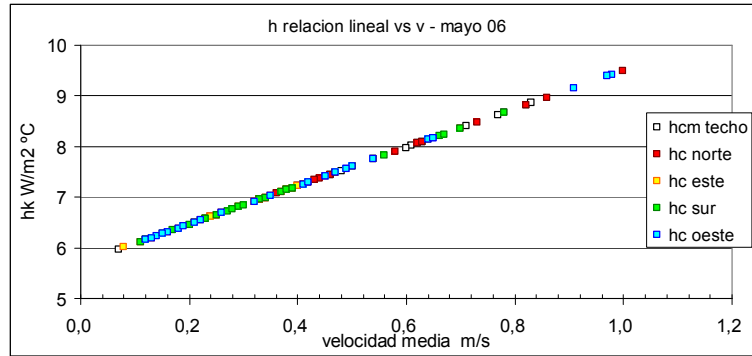


Figura 8. Coeficiente h lineal vs velocidad del viento.

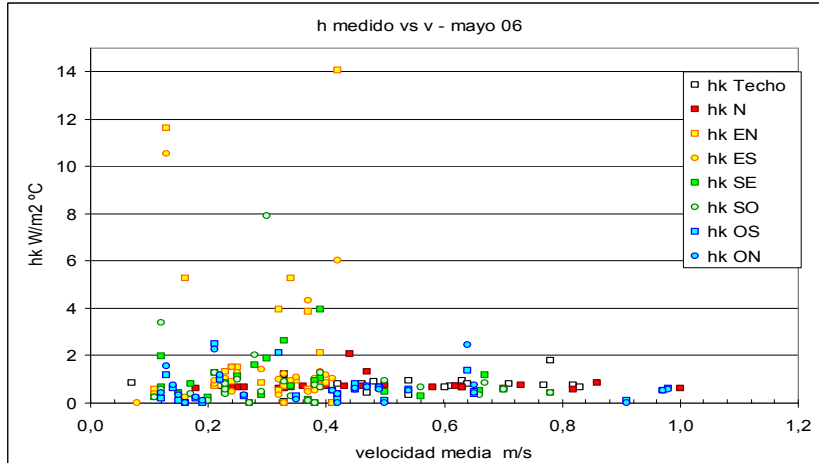


Figura 9 Coeficiente h medido vs velocidad del viento.

Se puede apreciar claramente que no hay ninguna semejanza entre los coeficientes h obtenidos con ambas expresiones. Esto se puede corroborar con los coeficientes de correlación entre h medido y la velocidad que resultan muy bajos como se muestran en la Tabla 2.

Coeficientes de correlación de h medido con v				
Techo	N	EN	ES	
0,121	0,021	-0,065	-0,055	
	SE	SO	OS	ON
	-0,072	-0,117	-0,076	-0,058

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre h medido y la velocidad del viento.

### APORTES ENERGÉTICOS

En el cálculo de los aportes convectivos sobre una superficie A intervienen dos factores: el coeficiente h y la diferencia de temperatura entre el aire y la superficie.:  $Q = h A (T_{\text{aire}} - T_{\text{sup}})$ . Usualmente, en etapas de diseño, se emplea para h la relación lineal (1) con valores de velocidad de viento y temperatura ambiente obtenidos de estaciones meteorológicas relativamente próximas; las temperaturas de superficie se obtienen a partir de simulaciones numéricas. En el presente trabajo podemos calcularlos a partir de valores de h obtenidos de las expresiones (1) y (2), y de temperaturas del aire medidas cerca de las superficies ( $T_{\text{aire CS}}$ ) y en el puesto de referencia ( $T_{\text{aire PR}}$ ). Esto permite obtener cuatro expresiones para los aportes energéticos que pueden compararse para analizar su consistencia.

$$Q1 = h_{RL} A (T_{\text{aire PR}} - T_{\text{sup}}) \tag{3}$$

$$Q2 = h_{RL} A (T_{\text{aire CS}} - T_{\text{sup}}) \tag{4}$$

$$Q3 = h_M A (T_{\text{aire PR}} - T_{\text{sup}}) \tag{5}$$

$$Q4 = h_M A (T_{\text{aire CS}} - T_{\text{sup}}) \tag{6}$$

Las Figuras 10 a 13 muestran los aportes convectivos obtenidos a partir de estas expresiones.

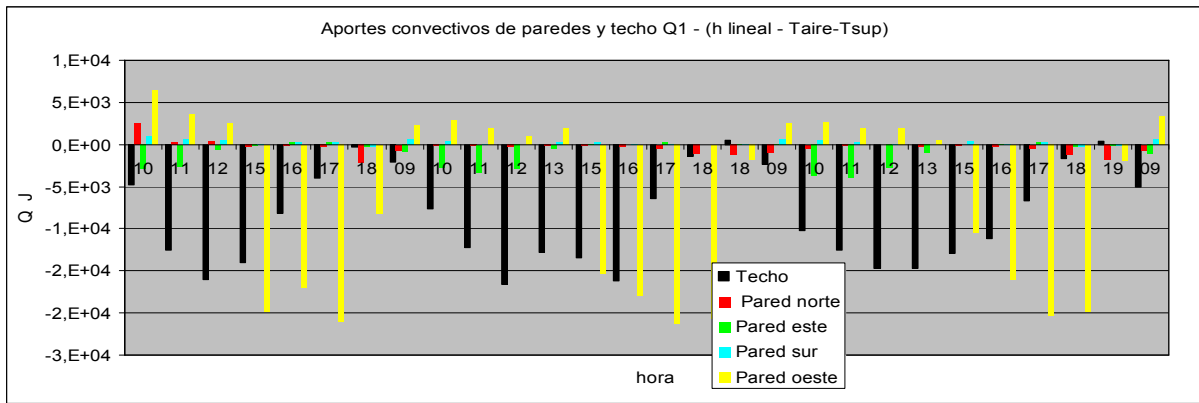


Figura 10. Aportes convectivos  $Q_1$  en paredes y techo.

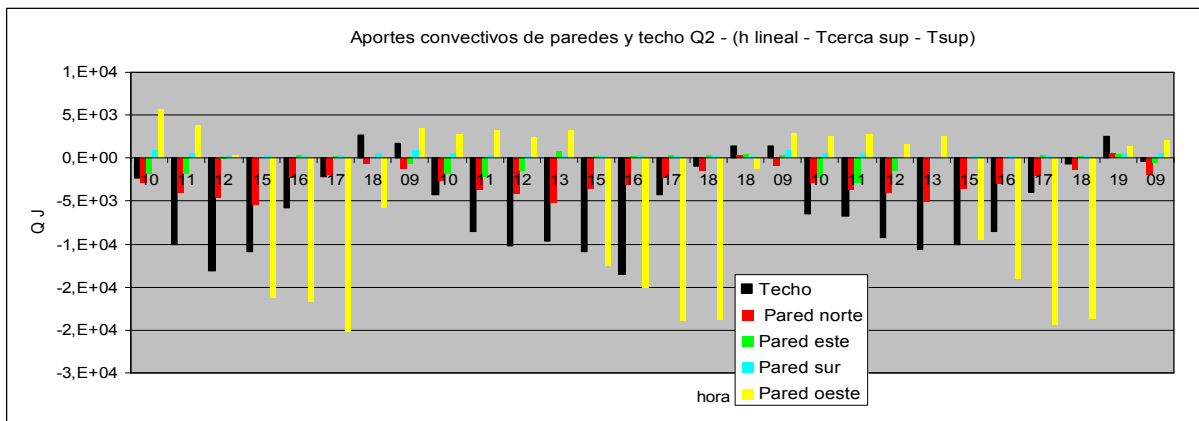


Figura 11. Aportes convectivos  $Q_2$  en paredes y techo.

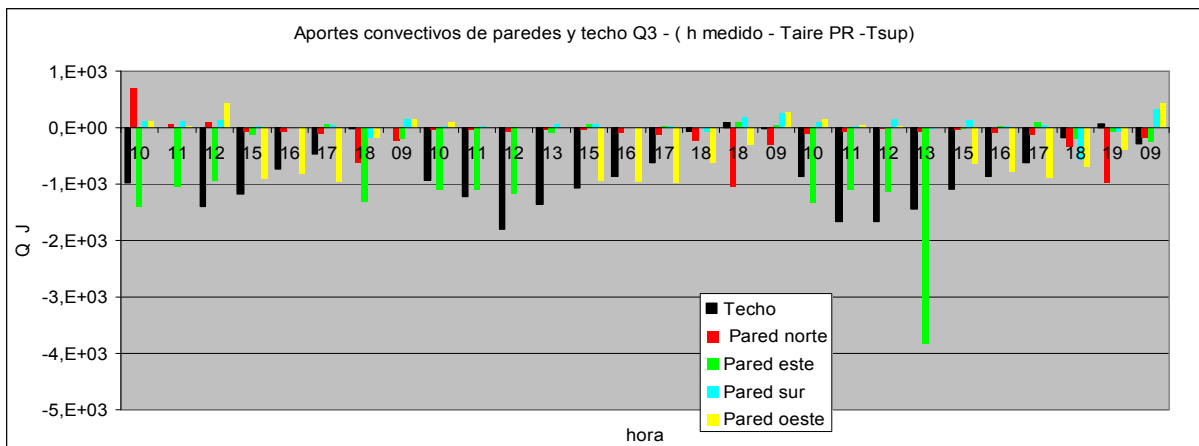


Figura 12. Aportes convectivos  $Q_3$  en paredes y techo.

Se observa que en todos los casos los aportes energéticos son predominantemente disipativos, pero a determinadas horas, y dependiendo de qué expresión se emplee, puede haber contribuciones positivas que significan calentamiento de la vivienda de origen convectivo. Como consecuencia de esto, los aportes convectivos promediados sobre todos los días de medida pueden resultar muy diferentes.

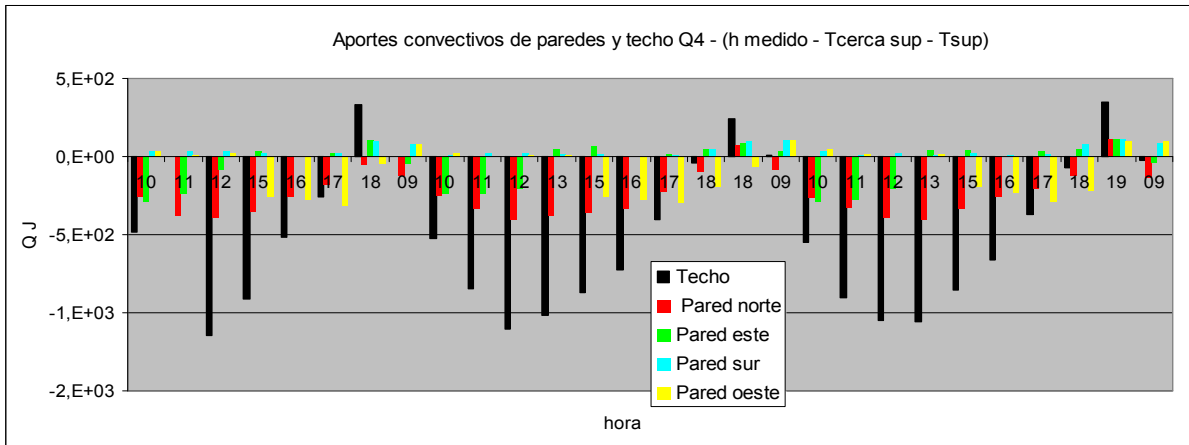


Figura 13 Aportes convectivos  $Q_4$  en paredes y techo.

Promedios sobre todos los días de medida		
		Q, J
<b>Qconv 1</b> usando h lineal Taire - Tsup	Techo	-8551,6
	Pared norte	-413,4
	Pared este	-1010,0
	Pared sur	241,5
	Pared oeste	-6298,5
	<b>Total:</b>	<b>-16032,0</b>
<b>Qconv 2</b> usando h lineal Tcs - Tsup	Techo	-5492,1
	Pared norte	-2737,6
	Pared este	-457,3
	Pared sur	368,7
	Pared oeste	-5227,1
	<b>Total:</b>	<b>-13545,4</b>
<b>Qconv 3</b> usando h medido Taire - Tsup	Techo	-760,1
	Pared norte	-153,9
	Pared este	-573,6
	Pared sur	39,6
	Pared oeste	-300,3
	<b>Total:</b>	<b>-1748,4</b>
<b>Qconv 4</b> usando h medido Tcs - Tsup	Techo	-480,5
	Pared norte	-242,0
	Pared este	-51,5
	Pared sur	38,6
	Pared oeste	-85,3
	<b>Total:</b>	<b>-820,7</b>

Tabla 3. Comparación de aportes convectivos  $Q_j$ .

La Tabla 3 muestra las contribuciones promedio de cada superficie y el total, para todos los días medidos, de  $Q_j$  con  $j= 1, 2, 3$  y 4. Si el cálculo se hiciera con  $Q_1$  y  $Q_2$ , (manteniendo  $h_{RL}$  constante) la energía total disipada sería de 16,032 kJ y 13,545 kJ respectivamente mientras que si se hiciera con  $Q_3$  y  $Q_4$  (manteniendo  $h_M$  constante) la energía disipada sería 1,748 kJ y 0,821 kJ respectivamente. Esto pone en evidencia la influencia de emplear la temperatura del aire medida en una estación lejana (puesto de referencia) o la del aire cerca de las superficies de la vivienda. Si se compara  $Q_1$  con  $Q_3$  y  $Q_2$  con  $Q_4$  se pone de manifiesto la influencia del coeficiente  $h$  para un dado valor de  $\Delta T$ . Los valores de  $Q$  que se obtienen empleando las medidas del puesto de referencia y la relación lineal (1) son mayores que los que se obtienen usando medidas realizadas sobre la vivienda.

La Figura 14 muestra los aportes conductivos de las paredes y techo mostrando que en las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde se producen pérdidas térmicas por conducción. La Figura 15 muestra los aportes conductivos de puertas y ventanas que resultan tres órdenes de magnitud mayores que los de las paredes y techo y mayores también que los aportes convectivos. Teniendo en cuenta que la contribución de las ventanas es pequeña, esto muestra que las puertas de aluminio actúan como puentes térmicos entre el exterior y el interior de la vivienda.

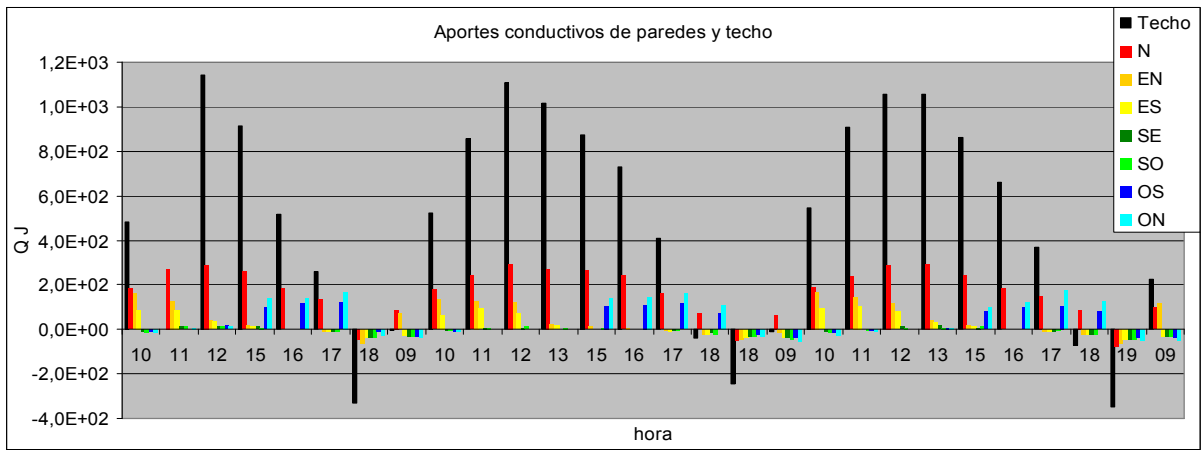


Figura 14 Aportes conductivos de paredes y techo..

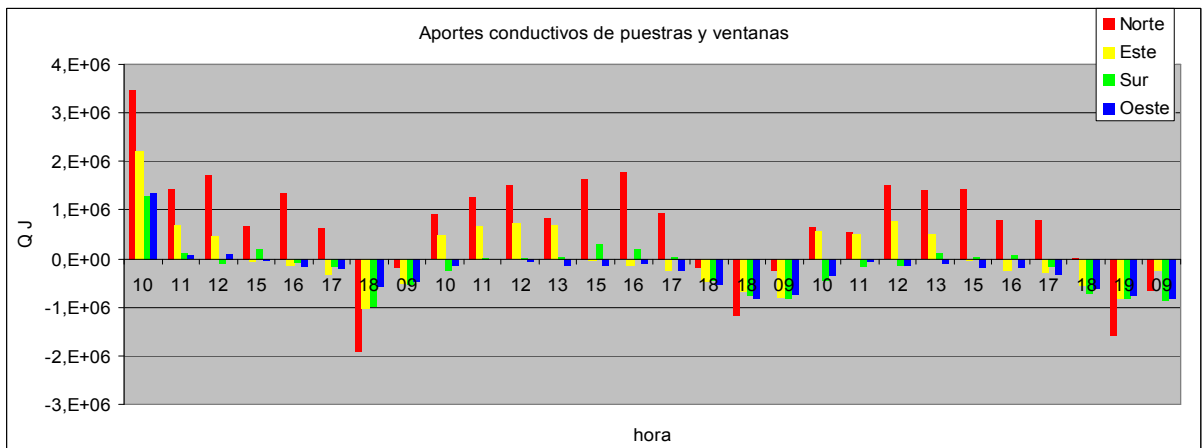


Figura 15. Aportes conductivos de puertas y ventanas.

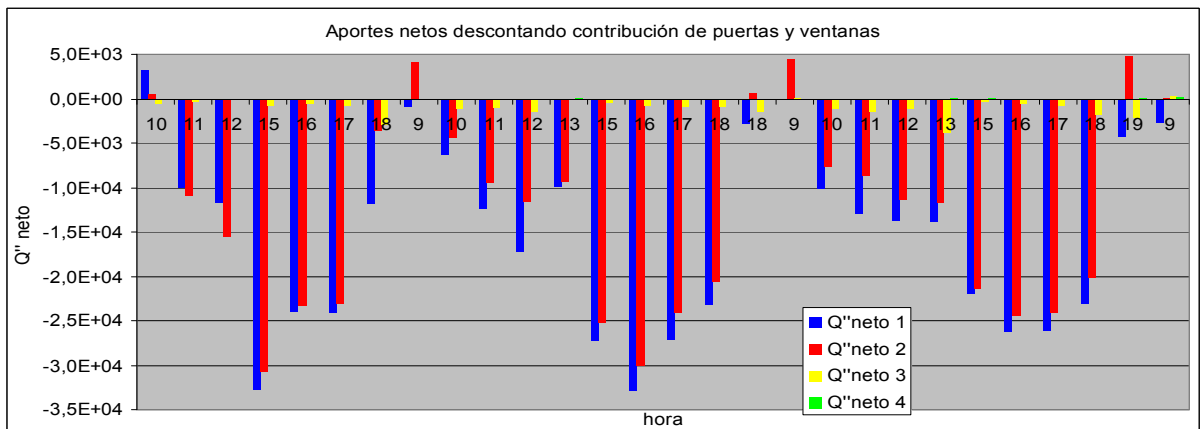


Figura 16. Aportes netos descontando la contribución de puertas y ventanas.

A los efectos de poder comparar los aportes netos, tanto convectivos como conductivos, fue necesario eliminar los aportes de las puertas que, por ser tan grandes, enmascaran las diferencias que pueden surgir de las diferentes maneras de calcular los Q convectivos; la Figura 16 muestra esta situación. De la misma surge claramente la diferencia entre la energía térmica transferida desde o hacia la vivienda, según se emplee la relación lineal, aún usando los valores de viento medidos en el refugio, o la que resulta de emplear los coeficientes convectivos  $h_M$  medidos sobre la vivienda. Esta diferencia puede alcanzar dos o tres órdenes de magnitud.

## CONCLUSIONES

Las medidas realizadas en esta campaña confirmaron resultados anteriores en el sentido que el empleo de la relación (1) para  $h$  puede conducir a sobreestimar las pérdidas térmicas si se emplean valores de velocidad de una estación lejana.

La imposibilidad de contar con valores de velocidad medidos en el puesto de referencia condujo a emplear los valores de velocidad de viento medidas cerca de las superficies. Estrictamente, no se sabe si es lícito emplear estos valores, pero se realizó el cálculo para poder compararlo con otros resultados

Se midió el coeficiente  $h$  a partir del calor que pasa por conducción a través de las paredes. Se comprobó que no hay ninguna semejanza entre los coeficientes  $h$  obtenidos de esta manera con los que surgen de la relación (1). Los coeficientes de correlación entre  $h$  medido y la velocidad resultan muy bajos.

Los aportes energéticos convectivos son predominantemente disipativos, pero dependiendo de qué expresión se emplee, puede haber contribuciones positivas que significan calentamiento de la vivienda de origen convectivo. Los aportes promediados sobre todos los días de medida resultan muy diferentes. Si el cálculo se hiciera con  $Q_1$  y  $Q_2$ , (manteniendo  $h_{RL}$  constante) la energía total disipada es de 16,032 kJ y 13,545 kJ respectivamente mientras que si se hiciera con  $Q_3$  y  $Q_4$  (manteniendo  $h_M$  constante) la energía disipada resulta de 1,748 kJ y 0,821 kJ respectivamente, resultando en los valores extremos una diferencia de casi un factor 2.

Los aportes conductivos de las puertas resultan tres órdenes de magnitud mayores que los de las paredes y techo y mayores también que los aportes convectivos, por lo que actúan como puentes térmicos entre el exterior y el interior de la vivienda.

La diferencia entre la energía térmica transferida desde o hacia la vivienda por convección y conducción, descontando las puertas, puede alcanzar a dos o tres órdenes de magnitud según se emplee la relación lineal o la que resulta de emplear los coeficientes convectivos  $h_M$  medidos sobre la vivienda.

Se requiere la realización de medidas sistemáticas de largo plazo para poder establecer nuevas relaciones entre  $h$  y la velocidad del viento o factores de corrección a la relación (1) que permitan tener valores más realistas de la energía térmica disipada por acción del viento.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Burmeister, L. C. (1983). Convective heat transfer. J. Wiley & Sons. Kansas. EE. UU
- Carvalho, J. L., Borges, A. R. J. (1998). Interaction of a surface mounted hot body with a turbulent boundary layer. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74-76, pp: 475-483.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A. (1980). *Solar Engineering of Thermal Processes*, J. Wiley and Sons.
- De Paul, I. (2004). Disipación térmica convectiva por acción del viento sobre una vivienda. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. **Vol. 8**, versión CD, pp.08.133-08.138. ISSN. 0329-5184.
- De Paul, I. (2005 a). Comparación de los coeficiente convectivos  $h$  producidos por el viento sobre un refugio en Payogasta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. **Vol. 9**, versión CD, pp.08.37-08.42. ISSN. 0329-5184.
- De Paul, I. (2005 b). Propuesta de un factor de corrección al coeficiente convectivo del viento. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. **Vol. 9**, versión CD, pp.08.43-08.48. ISSN. 0329-5184.
- Isachenko, V., Osipova, V., Sukomel, A. (1974). *Heat transfer*. Mir Publishers. Moscú.
- J. Marighetti, A. Wittwer, M. De Bórtoli, I. De Paul, N. Salvo, D. Hoyos. (2003). Modelado de un relieve topográfico para estudios de escurrimiento atmosférico en túnel de viento. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. **Vol. 7**, versión CD, pp.06.13-06.18. ISSN. 0329-5184.
- Mac Adams, W. H. (1978). *Transmisión de calor* 3ª. Edición. Mc Graw Hill. México.
- Molina, V., Salvo, N. (2003). Simulación en 2D del efecto de viento sobre una vivienda utilizando diferentes modelos de viscosidad. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. **Vol. 7**, versión CD, pp.8127-8132. ISSN. 0329-5184.
- Sayigh, A. A. M. (1977). *Solar Energy Engineering*, Academic Press.
- Wittwer, A., Loredó-Souza, A., Camano Schettini, E. (2002). Simulación de la capa límite para estudios de dispersión atmosférica en túnel de viento. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. **Vol. 6**, pp.1113-1118. ISSN 0329-5184.

**ABSTRACT.** Measurements previously performed on the UNSa refuge at Payogasta, with the aim of analysing the characteristics of thermal dissipation by the wind showed that the relation  $h=5,7+3,8\bullet V$  using wind velocity measurements performed at a distant station could overestimate the convective thermal energy. Employing new measurements of wind velocity and temperature, the  $h$  coefficient was measured and the energy dissipated by convection was calculated, using both expressions of  $h$ . The results show a great difference between the calculated and measured values of  $h$ ; the convective thermal energy can differ as much as two or three orders of magnitude if one or the other expression is used. The correlation between  $h$  and the wind velocity measured on the surfaces was calculated showing very low values.

**Keywords:** Convective thermal energy, convective heat transfer coefficient, wind correlation.