

## **PROPUESTA DE UN FACTOR DE CORRECCIÓN AL COEFICIENTE CONVECTIVO DEL VIENTO**

Irene De Paul  
UNSa - INENCO#  
Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta  
TE: 87-255424  
E-mail: depaul @ unsa.edu.ar

**RESUMEN.** Las medidas realizadas sobre un refugio de la UNSa en Payogasta con el fin de analizar las características de la disipación térmica por acción del viento en los meses de mayo y septiembre de 2004 mostraron que los coeficientes convectivos sobre la vivienda pueden ser sobreestimados si en la relación  $h=5,7+3,8 \cdot V$  se emplean valores de velocidad medidos en un puesto lejano. Empleando medidas de temperatura y viento sobre la vivienda se calculó la energía térmica disipada por convección obteniéndose valores apreciablemente mayores si se usan las medidas en el puesto lejano. Se propone una metodología de cálculo de factores de corrección a la relación empleada. Con ella se calcularon factores de corrección a los valores de  $h$  obtenidos en el puesto de referencia, para compatibilizarlos con los medidos sobre cada superficie del refugio y se analizó su correlación con distintos parámetros.

**Palabras clave.** Disipación térmica, viento, coeficiente de transferencia térmica  $h$ , factor de corrección.

### **INTRODUCCION**

En otros trabajos presentados 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  $h=5,7+3,8 \cdot V$ , donde  $V$  es la velocidad media del viento en m/s y  $h$  en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ , 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, I. "Disipación Térmica Convectiva Por Acción del Viento Sobre una Vivienda" Presentado en ASADES 2004; De Paul, I., "Comparación de los Coeficientes Convectivos  $h$  Producidos por el Viento Sobre un Refugio en Payogasta", a ser presentado en ASADES 2005]. 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, J. L., Borges, A. R. J., 1998].

Las medidas realizadas en mayo y septiembre de 2004 sobre el refugio de la UNSa en Payogasta mostraron que los coeficientes  $h$  que se midieron sobre la vivienda son menores que los que se obtienen a partir de medidas realizadas en un puesto lejano tomado como referencia, estimándose que se puede sobreestimar las pérdidas térmicas convectivas hasta en un 60% a 70% si se emplean estos últimos valores.

Se plantearon también dos alternativas para mejorar los valores de los coeficientes  $h$  que se emplean en etapas de diseño: proponer una nueva relación que tenga en cuenta no sólo el módulo de la velocidad del viento sino otros parámetros significativos como la dirección de los vientos predominantes y su relación con la orientación de las paredes y techo de la vivienda (o del dispositivo que se trate), o bien proponer factores de corrección que puedan aplicarse en primera aproximación a los valores de  $h$  obtenidos a partir de la relación recomendada. Cualquiera de estas alternativas requiere la realización de medidas sistemáticas de largo plazo para que, a partir de una muestra estadística amplia, se puedan establecer relaciones o factores de corrección significativos.

Sobre la base de las medidas de temperatura y viento realizadas sobre la vivienda se propone una metodología de cálculo de factores de corrección a los valores de  $h$  obtenidos de una estación lejana. Se calcularon los factores de corrección y se analizó la correlación que existe entre ellos y distintos parámetros que pueden influir en el cálculo, cuyos resultados se presentan en este trabajo.

---

# Instituto UNSa - CONICET

## 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).

Las medidas de viento 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 anemómetros, numerados de 1 a 5, 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 y a 0,15m sobre la cumbrera del techo, en la zona media de cada superficie y orientados de manera de captar la componente tangencial a las superficies de la velocidad del viento. En la cara Sur que no tiene ventanas, se montó el anemómetro sobre un soporte en la misma posición que los restantes. Por ser manuales, las lecturas no son simultáneas, representando cada serie de medidas las condiciones características de intervalos de 13 minutos, que fue el tiempo que se empleó en hacer las medidas en todos los instrumentos.



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



Figura 2. Termoanemómetro TSI colocado en la abertura de una ventana.



Figura 3. Anemómetro de cazoleta y veleta NRG que actúan como medida de referencia.

Para realizar las medidas de referencia se empleó un anemómetro de cazoleta NRG con veleta colocado en un soporte fijo a 3m de altura, a una distancia de 30m hacia el Oeste del refugio, que registra velocidad y dirección del viento (Figura 3). El intervalo de muestreo es de 2s y el instrumento guarda los valores promedios y desviación standard en intervalos de 10 minutos. Se empleó un termoanemómetro para medir temperatura a una altura de 1,80m.

Las medidas de temperatura de techo se hicieron con un sistema 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 NO, NE; en la pared este EN, ES; en la pared sur SE, SO y en la pared oeste OS, ON.

## VELOCIDAD DE VIENTO

Las medidas en el puesto de referencia mostraron que en mayo los valores predominantes de velocidad se ubican entre 1 y 1,5 m/s, con algunas ráfagas superiores a los 6 m/s, y la dirección predominante fue claramente S – SO. En el mes de septiembre el rango de velocidades predominantes se encuentra en valores bajos: entre 0 y 1 m/s y, si bien no se registraron ráfagas tan fuertes, el porcentaje de registros con velocidades superiores a los 4 m/s es mayor: 13.7% en septiembre contra 8% en mayo. La dirección ligeramente predominante fue Sur, sin embargo los vientos soplaron desde todas las direcciones prácticamente con la misma frecuencia. Los registros muestran claramente que la hora en que se producen los vientos más fuertes es alrededor de las 17hs.

## COEFICIENTES CONVECTIVOS h

Para calcular los coeficientes convectivos que actúan sobre la vivienda se empleó la relación recomendada  $h=5,7+3,8\bullet V$ , donde V es la velocidad media del viento en m/s y h resulta en  $W/m^2\bullet C$ , admitiendo que esta expresión es aplicable a valores de velocidad de viento medidos sobre la vivienda.

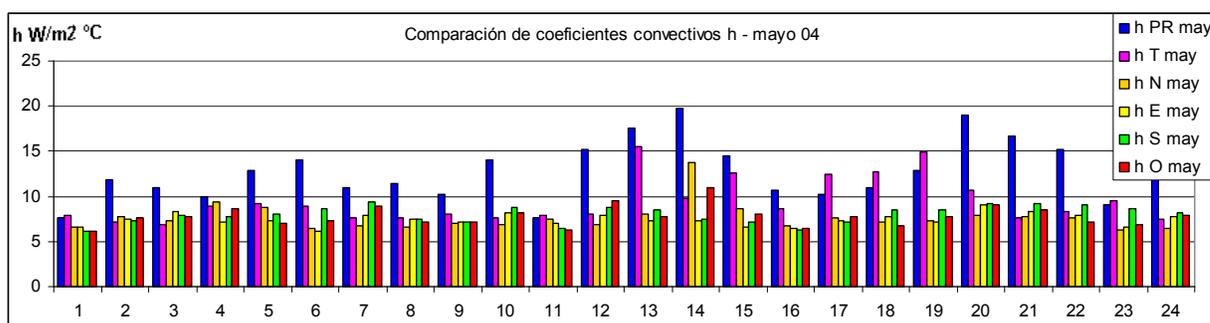


Figura 4. Coeficientes h a partir de valores medidos sobre paredes y techo de la vivienda, y en el puesto de referencia, mayo de 2004.

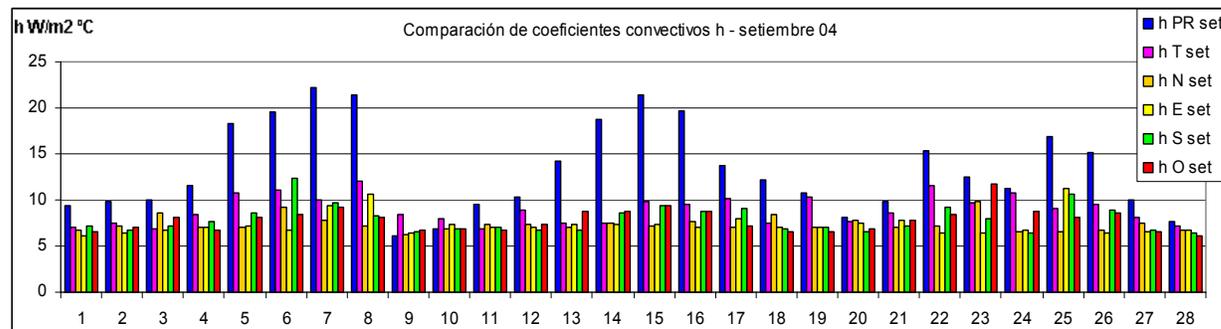


Figura 5 Coeficientes h a partir de valores medidos sobre paredes y techo de la vivienda, y en el puesto de referencia, septiembre de 2004.

Las figuras 4 y 5 muestran los coeficientes h medidos en mayo y septiembre del 2004 destacándose claramente que los valores obtenidos a partir de las medidas realizadas en el puesto de referencia son sistemáticamente mayores que los medidos sobre la vivienda, en ambos casos.

## MEDIDAS DE TEMPERATURA

Las figuras 6 y 7 muestran la temperatura del aire exterior y las temperaturas de superficie de paredes, piso y techo del ambiente grande o estar del refugio, medidas en el interior y exterior respectivamente, en el mes de mayo. Se observa que mientras la temperatura del aire es alrededor de 34 °C, la temperatura sobre el exterior de la pared oeste alcanza los 62 °C y la de la superficie interior de la misma pared es 28°C a la misma hora.

Las figuras 8 y 9 muestran las mismas variables medidas en el mes de septiembre. Cuando la temperatura del aire era 31°C, la temperatura de la superficie exterior oeste alcanzó los 76°C mientras que la de la superficie interior es de 29°C.

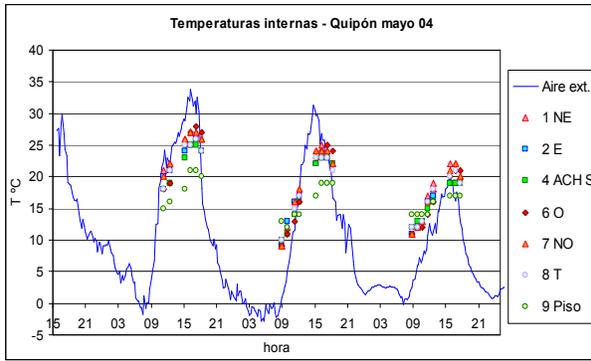


Figura 6. Temperaturas internas, mayo 04.

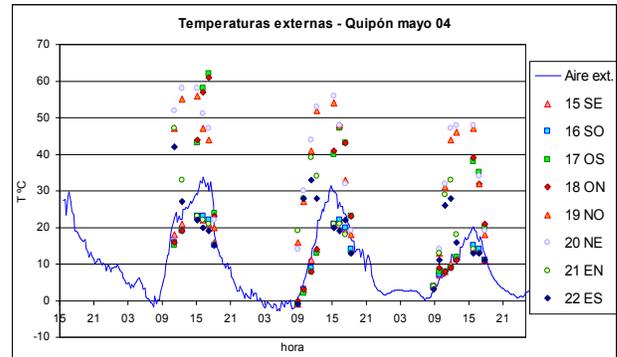


Figura 7. temperaturas externas, mayo 04.

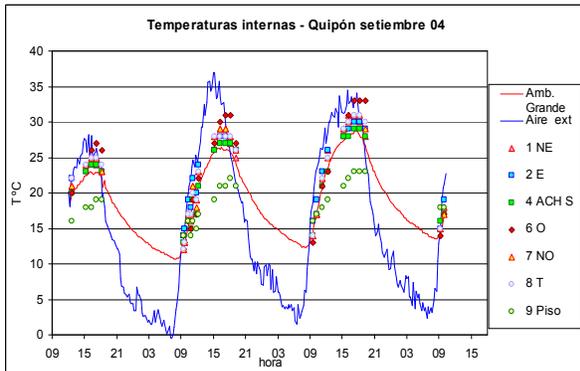


Figura 8. Temperaturas internas, septiembre 04.

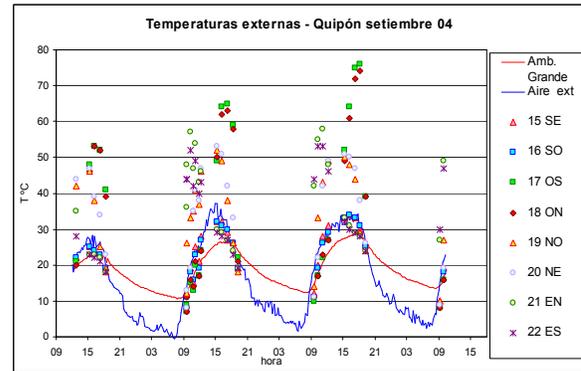


Figura 9. Temperaturas externas, septiembre 04.

## ENERGÍA CONVECTIVA DISIPADA EN LA VIVIENDA

La energía disipada por convección se calculó de dos maneras diferentes, una empleando los valores de temperatura de aire y velocidad del viento medidos cerca de cada superficie con los termoanemómetros, Q0, y otra con los valores medidos en el puesto de referencia, Q3.

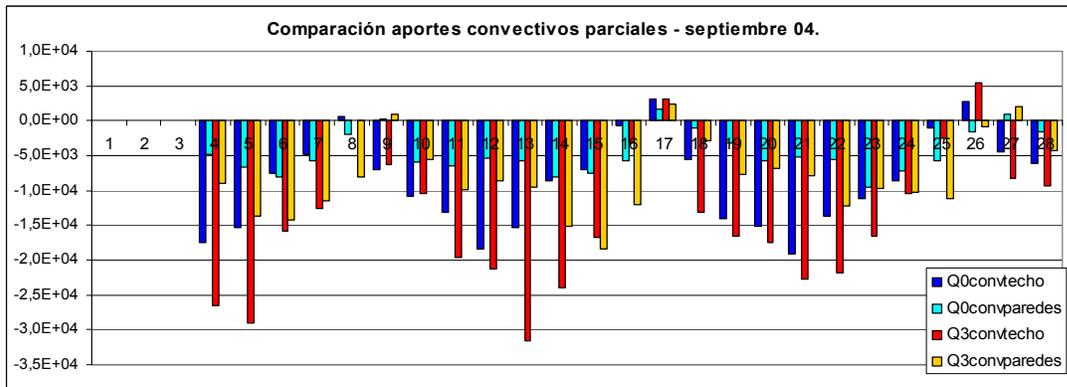


Figura 10. Energía disipada por convección, según medidas sobre la vivienda, Q0 y en el puesto de referencia Q3, Septiembre de 04.

En la figura 10 se observa que en el mes de septiembre la energía disipada por el viento en paredes y techo es mayor si se la calcula a partir de las medidas realizadas en el puesto de referencia que si se lo hace empleando los valores medidos cerca de las superficies. Un resultado similar se obtuvo en el mes de mayo.

## CÁLCULO DE LOS FACTORES DE CORRECCIÓN

A los efectos de obtener un factor de corrección a los coeficientes  $h_{pr}$  obtenidos en el puesto de referencia que reflejen mejor la energía térmica convectiva  $Q_0$  realmente disipada en cada superficie de la vivienda, se calculó un coeficiente equivalente  $h'$  tal que se cumple la siguiente relación:

$$Q_0 = h_{real}A(T_{cs} - T_s) = h'A(T_{pr} - T_s) \quad (1)$$

donde  $A$  es el área de la superficie,  $h_{real}$  es el coeficiente medido sobre ella, y  $T_{cs}$  la temperatura del aire medida cerca de la superficie,  $T_s$  es la temperatura de superficie,  $h'$  es el coeficiente equivalente buscado y  $T_{pr}$  es la temperatura del aire medida en el puesto de referencia.

El factor de corrección se calculó con la siguiente expresión:

$$FC\% = \frac{(h' - h_{pr}) * 100}{h_{pr}} \quad (2)$$

En el cálculo se presentan problemas cuando la diferencia de temperaturas ( $T_{pr} - T_s$ ) es muy pequeña, del orden del error de la medida, lo que produce factores de corrección anormalmente altos [De Paul, 1999]. En las figuras 11 y 12 que muestran los factores de corrección sobre cada superficie, se eliminaron esos valores muy grandes para poder visualizar los valores relativos de las restantes medidas que, de lo contrario, serían indistinguibles. Se observa que los valores obtenidos son muy altos sobre todas las superficies; si bien parecería que existe alguna correlación entre la variación del factor de corrección sobre las paredes Sur y Oeste por un lado, y Norte y Este por otro, los datos son insuficientes como para distinguir claramente alguna regularidad.

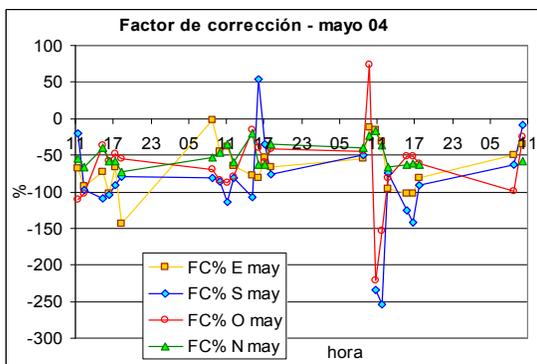


Figura 1. Factor de corrección, mayo 04.

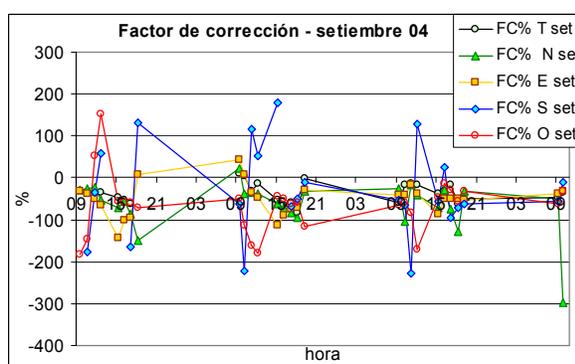


Figura 12. Factor de corrección, setiembre 04.

Se analizó si existía alguna correlación entre los factores de corrección FC% con la velocidad y la dirección del viento medidos en el puesto de referencia. Los resultados se muestran en la Tabla 1 y ponen de manifiesto una baja correlación con la velocidad del viento sobre la pared Este, inversa, y Sur en setiembre, y con la pared Norte, inversa, en mayo. Más bajos son los coeficientes de correlación con la dirección del viento, siendo en ambos casos más importante el correspondiente a la pared Norte. Es claro que se requiere una estadística más extensa para detectar alguna regularidad, si la hubiera.

Coeficientes de correlación del factor de corrección con la dirección y la velocidad medida en el puesto de referencia.					
	FC% Techo	FC% N	FC% E	FC% S	FC% O
<b>Set 04</b>					
velocidad	0,248	-0,245	-0,600	0,414	0,155
dirección	-0,114	0,334	-0,262	0,189	0,032
direccion predominante	S-SE-SO 48%				
<b>May-04</b>					
velocidad		-0,418	-0,334	0,162	0,202
dirección		0,136	-0,008	0,112	0,077
direccion predominante	S-SO 58%				

Tabla 1. Coeficientes de correlación entre el factor de corrección con la velocidad y dirección del viento medidas en el puesto de referencia.

## CONCLUSIONES

De lo observado se puede concluir lo siguiente.

- Admitiendo que la expresión recomendada para el cálculo de  $h$  es aplicable a valores de velocidad de viento medidos sobre la vivienda, los valores de energía térmica disipada por el viento  $Q_{conv}$  que se obtuvieron tanto en las campañas de mayo como septiembre a partir de medidas realizadas sobre las superficies del refugio son menores que los que se obtienen a partir de las medidas en el puesto de referencia.
- Se propone un método de cálculo de los factores de corrección a partir de las expresiones (1) y (2).
- Se calculó el factor de corrección a los valores de  $h$  obtenidos a partir de las medidas realizadas en el puesto de referencia. Si bien parecería que existe alguna correlación en la variación del factor de corrección sobre las paredes Sur y Oeste por un lado, y Norte y Este por otro, los datos son insuficientes como para distinguir claramente alguna regularidad.
- Los coeficientes de correlación entre los factores de corrección y los valores de velocidad y dirección medidos en el puesto de referencia no brindan resultados concluyentes.
- Se requiere una estadística más extensa para detectar alguna regularidad, si la hubiera.

## AGRADECIMIENTO.

Quiero expresar mi agradecimiento al Ing. Fernando Tilca quién facilitó el anemómetro NRG que permitió realizar las medidas de referencia.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Burmeister. “*Convective heat transfer*”. J. Wiley & Sons. Kansas. EE. UU.(1983)
- Carvalho, J. L., Borges, A. R. J. “Interaction of a surface mounted hot body with a turbulent boundary layer”. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74-76, pp: 475-483, (1998).
- De Paul, I. (1999). “Algunas dificultades en el cálculo de coeficientes de transferencia térmica en el interior de una cavidad cerrada”. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. **Vol. 3**, Tomo 1, ISSN 0329-5184.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*, J. Wiley and Sons, (1980).
- Dunkle, R. V., Solar Water Distillation: the roof type Still and a Multiple Effect Still, *Int. Development in Heat transfer, Conference at Denver, Part 5*, 895, (1961).
- De Paul, I. “Disipación Térmica Convectiva Por Acción del Viento Sobre una Vivienda” Presentado en ASADES 2004.
- De Paul, I., “Comparación de los Coeficientes Convectivos  $h$  Producidos por el Viento Sobre un Refugio en Payogasta”, a ser presentado en ASADES 2005.
- Isachenko, V., Osipova, V., Sukomel, A. “*Heat transfer*”. Mir Publishers. Moscú. (1974).
- J. Marighetti, A. Wittwer, M. De Bórtoli, I. De Paul, N. Salvo, D. Hoyos. “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. (2003). ISSN. 0329-5184.
- Mac Adams, W. H. “*Transmisión de calor*” 3ª. Edición. Mc Graw Hill. México. (1978).
- Molina, V., Salvo, N. “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. (2003). ISSN. 0329-5184.
- Sayigh, A. A. M. *Solar Energy Engineering*, Academic Press, (1977).
- Wittwer, A., Loredou-Souza, A., Camano Schettini, E. “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. (2002). ISSN 0329-5184.

**ABSTRACT.** Measurements performed over the UNSa refugee at Payogasta, with the aim of analysing the characteristics of thermal dissipation by the wind during the months of May and September 2004 showed that the convective heat transfer coefficient over the building could be overestimated if in the relation  $h=5,7+3,8\bullet V$  velocity values measured far of the building are employed. By performing temperature and wind measurements over the building, the convective energy dissipated by the wind was calculated showing larger values if the measurements of the distant station are employed. A method of calculus of correction factors to this relation is proposed. With it, correction factors to the  $h$  values of the reference station were calculated, to fit those obtained over each surface of the refugee, and their correlation with different parameters was analysed.

**Keywords:** Thermal dissipation, wind, convective heat transfer coefficient, correction factor.