

## CALCULO DE TEMPERATURA DE CIELO EN ABRA PAMPA

I. De Paul, G. Lesino, E. Frigerio y V. Javi

INENCO, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177 - 4400 Salta.

### RESUMEN

Uno de los problemas que se plantean en el acondicionamiento térmico de edificios es lograr el refrescamiento de los ambientes en forma pasiva. Se propuso el empleo del fenómeno de irradiación nocturna hacia el cielo como un recurso interesante para ser empleado [1], lo cual requiere conocer los valores de temperatura de cielo que se pueden obtener en el lugar.

En este trabajo se presentan los valores de temperatura de cielo encontrados a partir de un balance térmico nocturno realizado sobre el techo de la casa solar de Abra Pampa [2] en los años 1986, 1987 y 1988. En este último período se realizaron medidas de emisividad del cielo, lo que permite comparar los resultados obtenidos mediante el cálculo del balance con los resultantes de la medida del instrumento. Además se comparan con los valores que predicen otros métodos de cálculo tales como la relación empírica propuesta por Martin y Berdahl [4],[5] y el modelo numérico empleado en el programa LOWTRAN-5, elaborado por la NASA.

### BALANCE TERMICO SOBRE LA SUPERFICIE RADIANTE

El techo de la casa solar de Abra Pampa está realizado con chapa galvanizada, pintada con Plavicon, debajo de la cual se encuentra una capa aislante de poliastireno expandido de 10 cm de espesor, 20 kg/m<sup>3</sup> de densidad y conductividad térmica 0.04 W/m °C. El cielorraso es de madera de 1 cm de espesor y conductividad térmica 0.14 W/m °C.

En el balance nocturno sobre la superficie intervienen el calor que llega del interior de la vivienda,  $QI = (TCR - TT)/R$ , donde TCR es la temperatura del cielorraso, TT es la temperatura del techo y R la resistencia térmica del techo; la potencia convectiva suministrada por el viento  $QCONV = H*(TT - TA)$ , donde H es el coeficiente de transferencia convectivo y TA la temperatura ambiente y la potencia irradiada por el techo  $QR = SIG*(EMI*(TT)^4 - (TC)^4)$ , donde SIG es la constante de Stefan-Boltzmann, EMI la emisividad del techo y TC la temperatura de cielo.

En equilibrio debe verificarse  $QI + QCONV = QR$  de donde resulta

$$TC = \sqrt[4]{EMI*TT^4 - H*(TT - TA)/SIG - (TCR - TT)/(R*SIG)} \quad (1)$$

Para medir las temperaturas del cielorraso, techo y ambiente se emplearon termocuplas, registrándose los valores de hora en hora

con un sistema automático de adquisición de datos.

El coeficiente de transferencia convectivo H se determinó a partir de la relación  $H = 2.8 + 3.8 * v$ , donde v es la velocidad del viento en metros por segundo. Para este cálculo se emplearon los valores de velocidad de viento registrados en la localidad de Abra Pampa por el Servicio Meteorológico Nacional, promediados en los intervalos 9.00 a 15.00 hs, 15.00 a 21.00 hs y 21.00 a 9.00 hs. El instrumento empleado es un anemómetro de cazoletas ubicado a 2 m sobre la superficie del suelo.

Debido a que el techo se comporta como una superficie selectiva, se estimó su emitancia de manera indirecta, a partir de medidas de reflectancia directa múltiple, con incidencia a 45 grados, empleando un espectrómetro de infrarrojo; el valor obtenido es  $EMI = 0.9$ .

#### MEDIDAS CON PIRGEOMETRO

El pirgeómetro empleado permite medir radiancias en el rango de 4 a 50 micrones. La radiancia es proporcional a la señal de salida del instrumento  $Rad = K * V$  midiendo V en voltios. En equilibrio se verifica  $K * V = SIG * (TC)^4 = \epsilon * SIG * (TA)^4$  donde  $\epsilon$  es la emisividad de la atmósfera. Por lo tanto, la temperatura de cielo medida es

$$TPIR = \sqrt[4]{K * V / SIG} \quad (2)$$

#### FORMULA EMPIRICA

La radiancia proveniente de la atmósfera es fuertemente dependiente de su contenido de agua y temperatura. Martin y Berdahl proponen la siguiente expresión para la emisividad de la atmósfera en función de la temperatura de rocío TR:

$$\epsilon MB = .711 + .56 * (TR/100) + .73 * (TR/100)^2$$

con los siguientes términos correctivos para tener en cuenta la altura del lugar y la hora del día:

$$E_p = .00012 * (P - 1000) \quad \text{con } P \text{ presión en mb.}$$

$$E_h = .013 * \cos(2 * t/24) \quad \text{con } t \text{ en horas.}$$

Dado que las condiciones atmosféricas predominantes en Abra Pampa corresponden a un modelo de cielo claro, no se realizan en este trabajo las correcciones propuestas para tener en cuenta la presencia de nubes. Con esto la temperatura de cielo resulta

$$TMB = \sqrt[4]{\epsilon MB * TA} \quad (3)$$

La temperatura de rocío se determinó a partir de los valores de humedad relativa registrados por el Servicio Meteorológico Nacional.

#### MODELO NUMERICO

Por último se calculó la emisividad de la atmósfera empleando el programa LOWTRAN-5, que calcula radiancias teniendo en cuenta los procesos de absorción, emisión y dispersión debidos a los distintos componentes de la atmósfera. Dado que no se cuenta con estos perfiles en Abra Pampa, se confeccionaron perfiles adecuados a la zona a partir de los medidos en el aeropuerto Salta por el S.M.N. Con este perfil aproximado se calculó la emisividad y la temperatura de cielo.

$$TLT = \sqrt[4]{\epsilon L T * (TA)} \quad (4)$$

#### RESULTADOS Y DISCUSION

Se realizaron cuatro series de medidas en épocas características del año, en verano, otoño, invierno y primavera, con intervalo de una hora. Como se realizó un balance nocturno sobre el techo se consideraron las medidas realizadas entre las horas 21 y 7 de la mañana siguiente.

Del análisis de las temperaturas medidas se observa que la potencia suministrada a la superficie exterior del techo por conducción desde el interior de la vivienda es aproximadamente constante, (fig.1) por lo que las variaciones en la temperatura de cielo calculada a partir del balance están determinadas prácticamente por la relación entre la potencia suministrada por convección debida al viento y la potencia radiada hacia el cielo. Se observa que la temperatura de techo sigue aproximadamente el comportamiento de la temperatura ambiente (fig. 2).

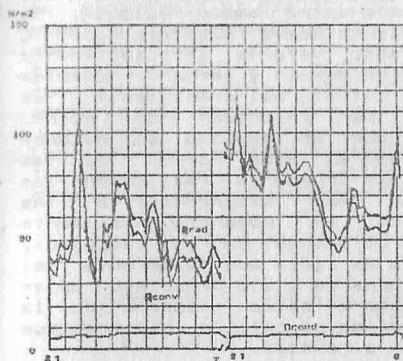


Fig. 1: Balance térmico. Potencias de conducción, convección y radiación. Abra Pampa, Setiembre de 1985.

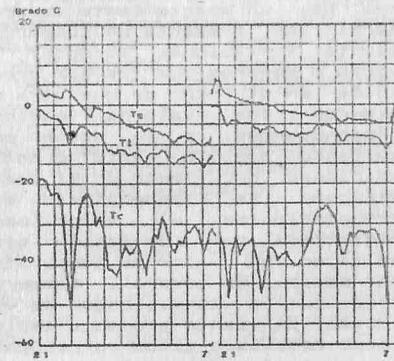


Fig. 2: Temperaturas ambiente, techo y cielo del balance. Abra Pampa, Setiembre de 1985.

En las figuras 3 y 4 se comparan los valores de temperatura de cielo obtenidas en julio y diciembre del balance térmico TC y de aplicar la fórmula de Martin y Berdahl TMB. Se tomó para TR el valor medio diario correspondiente, por lo tanto la emisividad resulta una constante en cada día y la temperatura de cielo es proporcional a la temperatura ambiente (fórmula 3).

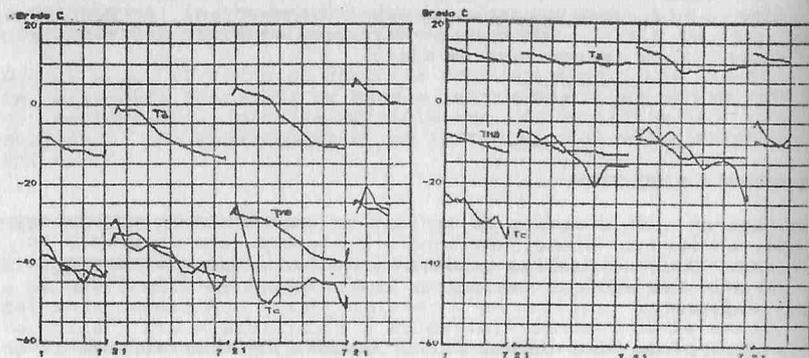


Fig. 3: Temperaturas de cielo segun balance y Martin y Berdahl. Julio '87.

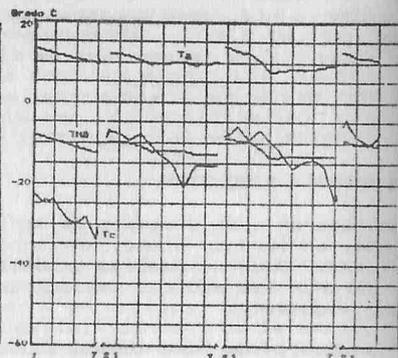


Fig. 4: Temperaturas de cielo segun balance y Martin y Berdahl. Dic. '86.

Se observa en estas figuras que hay periodos en los cuales las temperaturas TC y TMB prácticamente coinciden, mientras que en otros hay un apartamiento apreciable entre ambos valores. En general TMB presenta un comportamiento suave mientras que TC presenta variaciones abruptas, dando valores apreciablemente mayores o menores que los que predicen Martin y Berdahl. Esto se origina en el hecho de que para el cálculo del coeficiente H se emplearon los valores medios de velocidad de viento correspondientes a la noche en que se realiza el balance resultando por lo tanto constante en cada noche. Si las condiciones de viento en el instante en que se realizaron las mediciones de temperatura eran muy diferentes a las correspondientes al valor medio, la potencia realmente suministrada por convección será diferente de la calculada, resultando un valor de temperatura de cielo muy diferente del valor medio. En general, temperaturas de cielo demasiado bajas corresponden a condiciones de viento en calma respecto de la velocidad de viento promedio empleada en el cálculo, mientras que valores demasiado altos corresponden a ráfagas.

Del análisis de los gráficos se puede concluir que cuando las condiciones climáticas varían poco respecto de los promedios empleados en el cálculo, hay buena coincidencia entre los valores obtenidos del balance y la fórmula de Martin y Berdahl.

En las figuras 5 y 6 se compara la temperatura determinada con las medidas del pirgeómetro TPIR con TC y TMB. Se observa que TPIR presenta un comportamiento bastante suave, determinando un valor medio similar a los correspondientes a los otros cálculos.

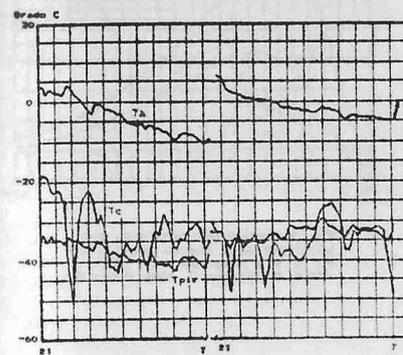


Fig. 5: Temperaturas de cielo segun balance y pirgeometro. Abra Pampa. Setiembre de 1986.

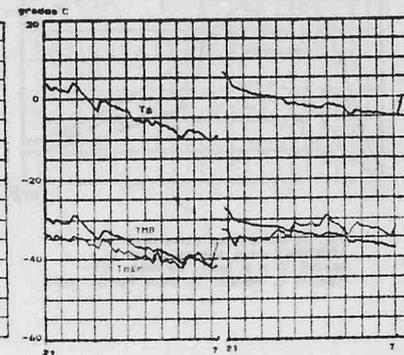


Fig. 6: Temperatura de cielo segun Martin y Berdahl y pirgeometro. Abra Pampa. Setiembre de 1986.

Por último, en las figuras 7 y 8 se muestran los resultados obtenidos empleando el programa LOWTRAN. Se hicieron coincidir los valores correspondientes a la altura 3484 m con los medidos en Abra Pampa el día 31/7/87 y el 25/12/86. En las figuras se muestran las radiancias de la atmósfera tomadas a 0 y 90 grados respecto del cenit, la radiancia de un cuerpo negro a temperatura TA y la radiancia de la atmósfera considerada un cuerpo negro a temperatura TLT, donde este valor se determinó a partir de la fórmula 4.

Los valores promedio de temperatura de cielo correspondientes a los meses de julio, setiembre y diciembre calculados con los diferentes métodos se muestran en la tabla siguiente:

	TC	TMB	TPIR	TLT
Julio	-39.6	-36.1	--	-39.9
Setiembre	-33.6	-33.6	-35.5	-31.3
Diciembre	-15.8	-11.6	--	-20.9

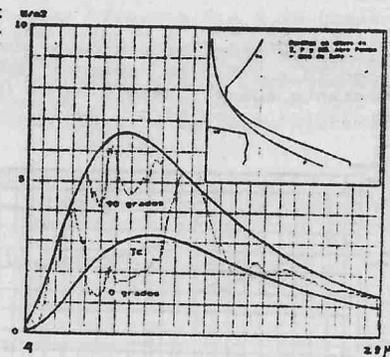


Fig. 7: Radiancias calculadas con LOWTRAN para cuerpo negro a  $T_s=2.9$  C y a temp. de cielo  $T_{LT}=-34.23$  C. Modelo 8: Abra Pampa. Julio

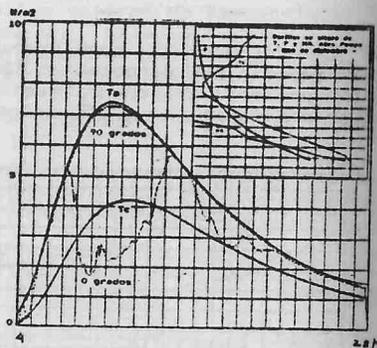


Fig. 8: Radiancias calculadas con LOWTRAN para cuerpo negro a  $T_s=9.3$  C y a temp. de cielo  $T_{LT}=-20.9$  C. Modelo 2: Abra Pampa. Dic.

Como conclusión podemos expresar que los resultados presentados permiten estimar que en Abra Pampa se pueden esperar temperaturas de cielo entre  $-35^{\circ}\text{C}$  y  $-40^{\circ}\text{C}$  en julio,  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $-20^{\circ}\text{C}$  en diciembre, como valores extremos a lo largo del año. Para obtener resultados más precisos se requiere realizar un programa de medidas más completo de los parámetros que intervienen en el cálculo; en particular, realizar medidas simultáneas de temperaturas de superficie, ambiente, rocío y velocidad de viento.

#### AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro reconocimiento al Ing. Norberto Bonini y a la Srta. Mónica Parentis, quienes tuvieron la gentileza de realizar las medidas de reflectancia.

#### REFERENCIAS

- [1] Man, climate and architecture. Givoni, B.
- [2] Non conventional seed storage facility for genetic conservation. L. Saravia y G. Lesino. Para el IBPGR, 1983.
- [3] Anteproyecto y análisis térmico de una vivienda con uso de energía solar para La Puna. G. Lesino, R. Ovejero, L. Saravia, R. Requena.
- [4] Summary of results from the spectral and angular sky radiation measurement program. M. Martin, P. Berdahl. Solar Energy vol 33, 3/4, 1984.
- [5] Characteristics of infrared sky radiation in the United

States. M. Martin, P. Berdahl. Solar Energy vol 33, 3/4, 1984.

- [6] Estudio de la radiación nocturna como fuente fría: primeros cálculos. E. Frigerio, L. Saravia. Actas 7a. Reunión de ASADES, 1986.