

RADIACIÓN NOCTURNA: CAMPAÑAS EN CACHI

Erico Frigerio¹

Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta

Tel. : (0387) 4255424, (0387) 4255489.

Email: frigerio@unsa.edu.ar

RESUMEN. Se han realizado dos campañas de medidas de radiación nocturna en Cachi, Valles Calchaquies, con el propósito de conocer mejor el potencial de enfriamiento en esa zona. La primera, realizada en la última primavera, estuvo afectada por imprecisiones provocadas por el equipamiento usado. La segunda no tuvo estos problemas y mostró un buen acuerdo con lo pronosticado por una correlación desarrollada previamente. Se dan las características de la emisividad para las dos épocas y los valores máximos esperados de potencia utilizable por un equipo.

Palabras clave: Radiación nocturna, Enfriamiento pasivo, medidas, características.

INTRODUCCIÓN

Para saber cuál es la capacidad de enfriamiento pasivo por irradiación a cielo se requiere del conocimiento de cuanto radiación infrarroja proviene de la atmósfera. Esta depende del clima y de la altura geográfica. Una atmósfera húmeda y cálida es un gran emisor radiativo por lo que se tiene poca capacidad de enfriar. A mayor altura, menor cantidad de atmósfera y mayor posibilidad de enfriamiento.

En publicaciones anteriores (Frigerio, 2000) se publicó una correlación que permitía obtener la emisividad de cielo claro en función de la temperatura de rocío y de la altura. La fórmula fue obtenida con medidas en distintas localidades y su forma es:

$$\varepsilon = \varepsilon(0,z) + 0,41.(t_r/100) + 0,51.(t_r/100)^2, \quad (1)$$

con $\varepsilon(0,z)$ una constante diferente para cada altura. Por ejemplo, para Cachi (valle, 2280 m s.n.m.) $\varepsilon(0,z) = 0,705$. Esta relación es válida sólo para promedios nocturnos y la dispersión de valores estaba en un 4 %.

Sin embargo, de este lugar se tenían muy pocas medidas por lo que se procuró obtener nuevas medidas que aseguraran lo publicado o, eventualmente, lo corrigieran. Para ello se viajó allí en dos oportunidades, una en primavera y otra en otoño.

Se midieron la radiación infrarroja con un pirgeómetro y las temperaturas de bulbo seco y húmedo con un psicrómetro alimentado por una batería de 12 V.

MEDIDAS DE RADIACIÓN NOCTURNA

Campaña de primavera.

Las medidas realizadas en primavera están afectadas por dos problemas serios. En la medida de radiación, la pila original de alimentación del circuito de compensación del pirgeómetro es de 1,35 V y ya no se fabrica más por ser de mercurio. Se las reemplazó por otras alcalinas de 1,5 V del mismo tamaño. Se adaptó el circuito al voltaje pero apareció una nueva dificultad: la constante de aparato medida variaba con la carga de la fuente entre $4,34 \cdot 10^{-6}$ y $4,7 \cdot 10^{-6}$ V/(W/m²), es decir un 8 %. Se descubrió posteriormente que el origen residía en la estabilidad de las pilas usadas por lo que se las reemplazó. Mientras tanto, la campaña de primavera se realizó usando las que presentaban problemas.

Una segunda dificultad se presentó con la batería usada para el ventilador del psicrómetro que estaba defectuosa. Si bien era nueva, su carga soportó periodos de 30 hs. aproximadamente. Tanto el primer día que llegó con carga plena y el último día en que se la hizo cargar tienen buenas medidas de temperaturas ambientales. Esto afectó especialmente al valor de la temperatura de bulbo húmedo y con ello a la temperatura de rocío y a la emisividad pronosticada.

A pesar de estas fuentes de error, las medidas son indicativas del comportamiento del cielo en la época.

En esta campaña se contó con cielos despejados los tres primeros días, salvo algunas nubes altas en la tarde del tercero. El cuarto día aparecieron nubes altas durante el día y se prolongó hasta pasadas las 22 hs., como se aprecia en la figura 1.

¹ INENCO, Instituto UNSa - CONICET

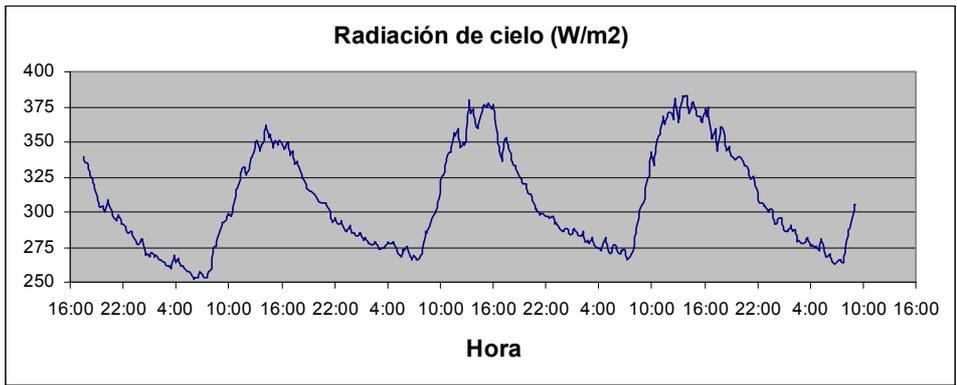


Figura 1. Radiación emitida por la atmósfera. Primavera 2003.

En las gráficas de la figura 2 se muestran las emisividades del período nocturno, su promedio y la línea de tendencia en función de la temperatura de rocío.

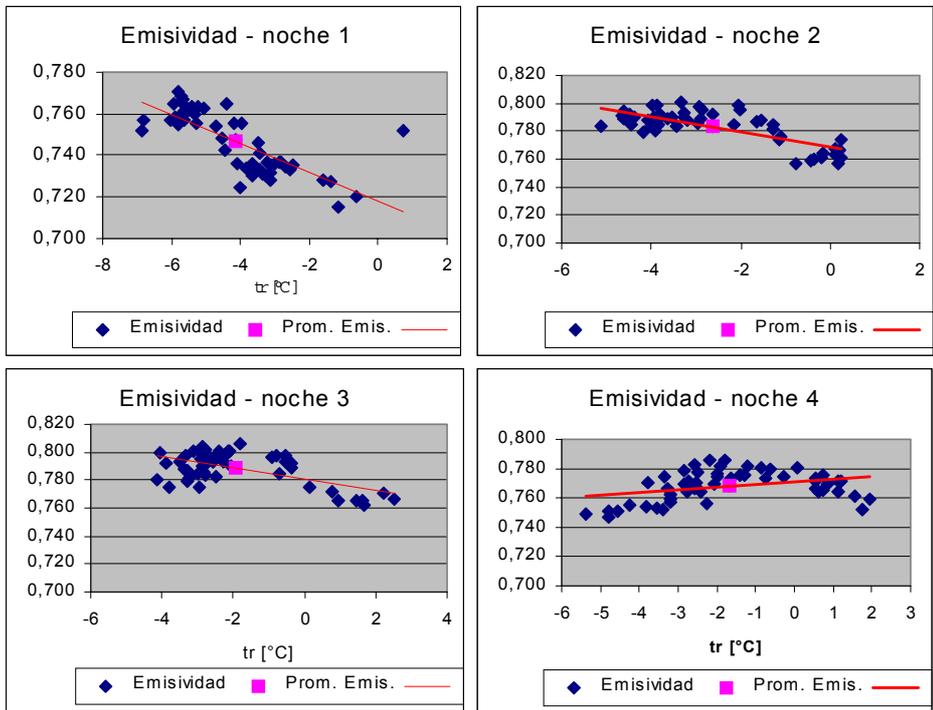


Figura 2. Emisividad nocturna medida en Cachi, promedio y tendencia noche por noche.

Se puede observar que los puntos medidos durante las tres primeras noches se ubican sobre rectas de pendiente negativa y eso delataría una inversión de temperatura en la atmósfera. (Frigerio, 2001). No ocurre lo mismo la cuarta noche.

Campaña de otoño.

La campaña de otoño también abarcó cuatro noches, las dos primeras despejadas y las dos restantes con nubosidad parcial luego de las 23 hs (Figura 3). Los puntos faltantes son de periodos en que no se midió.

En las gráficas de la figura 4 se muestran las emisividades del período nocturno, el pronóstico de la ecuación 1 y la línea de tendencia para las dos primeras noches en función de la temperatura de rocío.

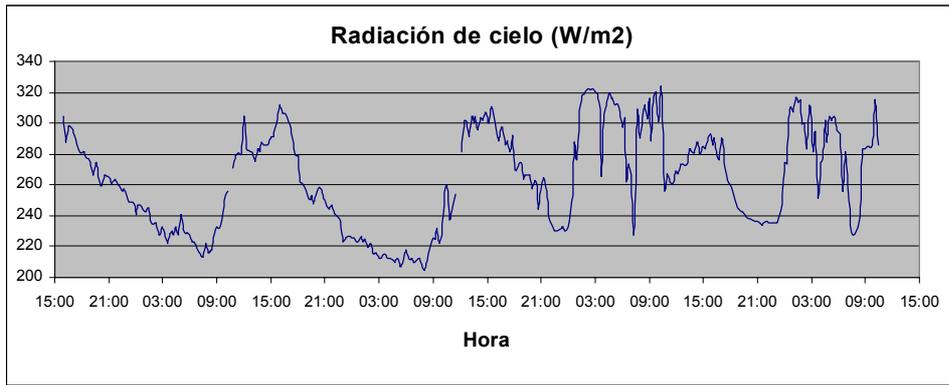


Figura 3. Radiación emitida por la atmósfera. Otoño 2004.

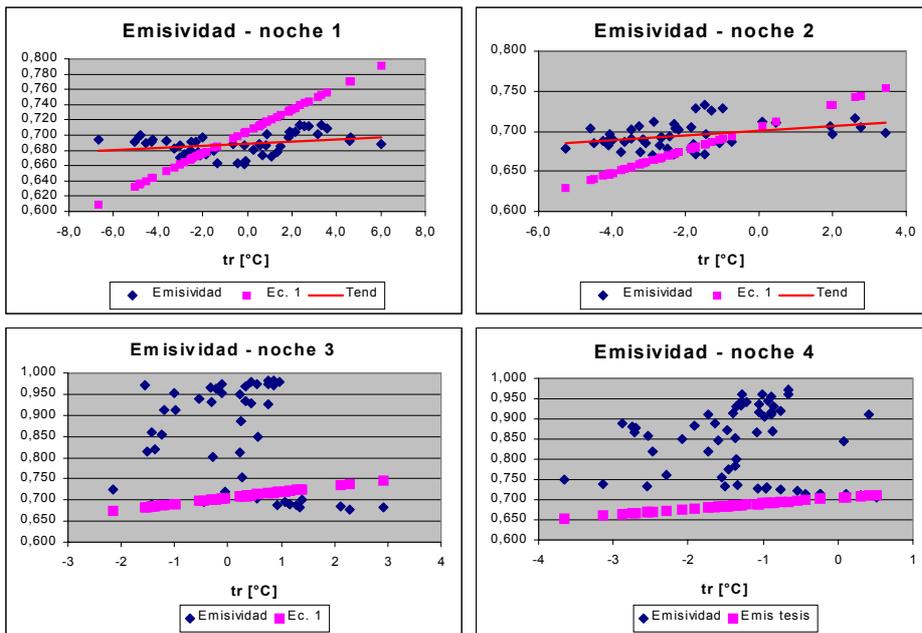


Figura 4. Emisividad nocturna medida en Cachi, pronóstico y tendencia noche por noche.

Se puede observar en las dos gráficas últimas el apartamiento del comportamiento de cielo claro dado por la ecuación 1 debido a la nubosidad presente. Por otra parte, a diferencia de los datos de primavera, no pareciera haber inversión térmica.

Resultados generales

Los resultados del promedio nocturno por noche para las dos campañas se dan en la tabla 1. Se ha incluido el pronóstico dado por la ecuación 1 y la diferencia con el promedio de la medida.

Noche	Estado	tr promedio	Emis. prom.	Ec. 1 prom.	Diferencia %
<i>Campaña de primavera:</i>					
1	Despejado	-4,15	0,747	0,689	7,7
2	Despejado	-2,62	0,783	0,695	11,3
3	Despejado	-1,92	0,789	0,697	11,6
4	Despejado	-1,67	0,768	0,698	9,1
<i>Campaña de otoño:</i>					
1	Despejado	-0,49	0,689	0,698	-1,4
2	Despejado	-2,06	0,694	0,676	2,6
3	Nublado parcial	0,20	0,837	0,708	15,4
4	Nublado parcial	-1,20	0,832	0,688	17,3

Tabla 1. Resumen de resultados de las mediciones de radiación nocturna.

Se observa una apreciable diferencia (8 a 12 %) entre los valores medidos y pronosticados en la campaña de primavera, no así con los correspondientes valores de cielo despejado de la campaña de otoño, donde el acuerdo es muy bueno. Los valores de emisividad medidos a fines de invierno en oportunidades anteriores (Frigerio, tesis 2000) fueron del orden de 0,69, parecidos a los de otoño. Para noches nubladas la diferencia existente sólo es un indicativo del apartamiento de cielo claro.

Si definimos como potencia disponible a

$$Potencia\ disponible = emisividad\ superficie * \sigma * T_{amb}^4 - radiación\ nocturna \quad (2)$$

esta cantidad dará una idea de la máxima potencia que podrá emitir una superficie para enfriar. La tabla siguiente muestra los valores dados por aplicación de la ecuación 2 para una superficie con una emisividad de 0,95. Este es un valor alto de emisividad que se lo puede conseguir con ciertas pinturas antiselectivas (Wolfe y Zissis, 1993; Frigerio, 2002). A fines comparativos, las mediciones que se poseían daban una potencia disponible entre 90 y 100 W/m², como lo medido en la primer noche de otoño.

Potencia disponible = 0,95*sigma*t _{amb} ⁴ - rad. noct.		
	Primavera	Otoño
1 noche:	69,5 W/m ²	97 W/m ²
2 noche:	56,3 W/m ²	82 W/m ²
3 noche:	54,4 W/m ²	39 W/m ²
4 noche:	64,3 W/m ²	36 W/m ²

Tabla 2. Potencia disponible para una emisividad de superficie de 0,95.

RESUMEN.

El tratamiento de los datos muestra que, si bien las medidas de primavera están afectadas de errores serios, las diferencias con el pronóstico para la primera y cuarta noche se mantienen dentro de la imprecisión que se tenía de la constante del pirgeómetro. Por otra parte, no son medidas oscilantes por lo que realmente son indicativas aunque no se pueda precisar su valor dentro del 12 %. Es así que se puede decir que seguramente hubo inversiones de temperatura en el perfil atmosférico.

Las medidas de otoño sugieren que la ecuación 1 es correcta para predecir en Cachi la emisividad de cielo claro, al menos en esta época del año.

Por lo sucedido, se deberán realizar más mediciones.

Las potencias disponibles para cielo claro son un poco menores a las obtenidas en otras ocasiones. A pesar de ello, los 36 W/m² de una noche parcialmente nublada significan un poco más de 1 MJ en 8 horas, suficiente para hacer unos 3 kg de hielo si no hubiera pérdidas de calor. En una experiencia paralela, en esa noche se logró hacer un poco más de un kilo de hielo.

BIBLIOGRAFÍA

- Wolfe W. y Zissis G. (1993). The Infrared Handbook. IRIA Series to Infrared and Electro-Optics. 4a. edición. Environmental Research Institute of Michigan.
- Lozano R. y Frigerio E.. (1999). Sistema de refrigeración por convección natural: nuevos ensayos. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 3, N° 1, pp 3.21-3.24.
- Frigerio E..(2000). La Radiación Nocturna Como Fuente Fría: Su Caracterización y Uso. Trabajo de Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta.
- Frigerio E..(2000) Emisividad en el N.O.A. Dependencia con la altura. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 4, N° 2, pp 11.07-11.12, Resistencia.
- Frigerio E..(2001) Inferencia de la estructura atmosférica de otras localidades a partir de las medidas de globosondeo y emisividad realizadas en salta. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 5, N° 2, pp 11.07-11.12, Mendoza.
- E. Frigerio. (2002).Ensayo De Mejoras Propuestas Para Un Equipo De Enfriamiento Con Butano. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 6, N° 2, pp 8.13-8.18, Buenos Aires.

ABSTRACT. Two series of measures were made in order to improve the knowledge of the cooling potential in Cachi, province of Salta. The first, made in last spring, was affected by imprecision due to the equipment used. The second series didn't have those problems and showed a good agreement with the forecast given by a correlation previously obtained. The emissivity characteristics for the two periods and the maximum useful power values expected for passive cooling equipment are given.

Keywords: Nocturnal radiation, Passive cooling, Measures, Characteristics.