

RADIACION NOCTURNA: PRIMERAS MEDICIONES

Erico Frigerio y Luis Saravia*

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

RESUMEN.

Con motivo del comienzo del estudio del fenómeno conocido como Radiación Nocturna y su dependencia con los diferentes parámetros, en especial la altura, se describió en la Reunión de Trabajo anterior de ASA DES' el código computacional conocido como LOWTRAN-5 a ser utilizado como base del tratamiento de datos meteorológicos para evaluar el recurso. Este código se encuentra actualmente en funcionamiento, pudiéndose a partir de sus resultados obtener la emisividad atmosférica global y otros datos de interés, así como gráficos de diversa índole como el de la intensidad de radiación emitida por la atmósfera en función de la longitud de onda, quedando como parámetro el ángulo cenital.

Por otro lado y como continuación de este estudio, se ha comenzado un programa de mediciones. A estos efectos se ha adquirido un pirgeómetro marca Eppley, con cúpula de silicio, el cual se encuentra instalado actualmente en el predio universitario de la UNSa.

En este trabajo se dan las características del instrumento usado y el resultado de las primeras mediciones realizadas en la localidad de Salta. Se comparan, además, éstas con los cálculos realizados mediante el código computacional mencionado usando los perfiles de globo-sondeo hechos por la estación meteorológica local.

INTRODUCCION.

El intercambio de radiación infrarroja entre superficies a nivel del suelo y el cielo se trata usualmente de manera muy superficial debido a la dificultad de encontrar buenos datos de emisividad aparente de cielo.

El hecho que se pueda diseñar aparatos enfriadores pasivos usando la temperatura radiante efectiva de cielo, hace que sea importante disponer de medidas seguras de radiación infrarroja proveniente de la atmósfera.

La importancia del efecto de radiación nocturna en la zona de La Puna, queda reflejada en las mediciones que se hicieron en una vivienda de la localidad de Abra Pampa y representadas en la figura 1. Se puede observar que, de noche, la temperatura del lado externo del techo puede llegar a -25°C aproximadamente, mientras que del lado interno es de alrededor de 15°C , dando un salto térmico de -40°C .

* Investigador del CONICET
Instituto UNSa.- CONICET

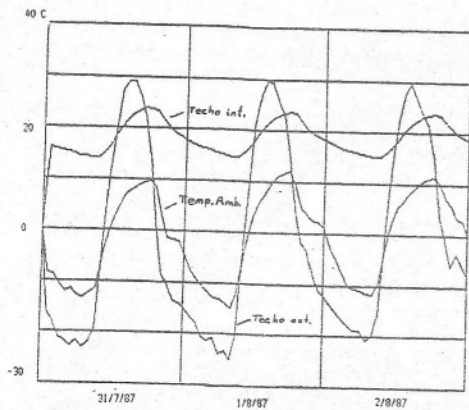


Fig. 1: temperaturas Vivienda Abra-pampa.

Se comparan éstas con los cálculos realizados mediante el uso del modelo computacional utilizando los datos de radio-sondeo, cedidos por la estación local del Servicio Meteorológico Nacional, y con la correlación desarrollada por Martín y Berdahl (3).

INSTRUMENTAL.

Para comenzar un programa de mediciones de radiación nocturna, analizar su dependencia con los parámetros meteorológicos y comparar distintas correlaciones y cálculos, se ha instalado en el predio universitario de la Universidad Nacional de Salta un equipamiento consistente en un pirgeómetro, un higrómetro y un sistema automático de adquisición de datos.

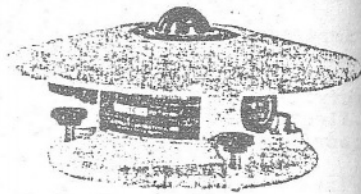
El higrómetro tiene un sensor de humedad relativa de tipo resistivo, un termistor que registra la temperatura ambiente y la electrónica correspondiente.

El pirgeómetro es el modelo PIR de Eppley. En la figura 2 se puede apreciar al aparato.

El domo es de silicio y tiene depositada sobre su superficie interior una película que actúa como filtro interferométrico. Con ello la transmisión, debido al efecto compuesto del domo y el filtro, presenta una transición abrupta entre $4 \mu\text{m}$ y $5 \mu\text{m}$ desde opacidad total a transparencia máxima. La transmitancia tiene un máximo de 0,50 y decrece luego con las longitudes de onda crecientes hasta 0,30-0,40 cerca de los $50 \mu\text{m}$. No presenta una transmisión significativa de la luz solar, por lo que se puede realizar mediciones diurnas de radiación infrarroja.

El aparato posee además un circuito compensador de los efectos del calentamiento de la masa y la cúpula, (Figura 3), por lo que la señal que se registra es el flujo neto de radiación que le llega.

Fig. 2: Radiómetro de infrarrojo de precisión EPPLEY (pirgeómetro)



Este tipo de comprobaciones son la que justifican un estudio de la radiación nocturna y su dependencia con diferentes parámetros, en especial la altura.

En la reunión anterior de ASADE se describió un modelo computacional, LOWTRAN-5 (1,2), el cual será utilizado como base del tratamiento de datos meteorológicos para evaluar el recurso.

Por otro lado, se comenzó un programa de mediciones, habiéndose adquirido recientemente para ello un pirgeómetro que mide en la región de $4 \mu\text{m}$ a $50 \mu\text{m}$.

En este trabajo se presenta al instrumental utilizado y el resultado de las primeras mediciones.

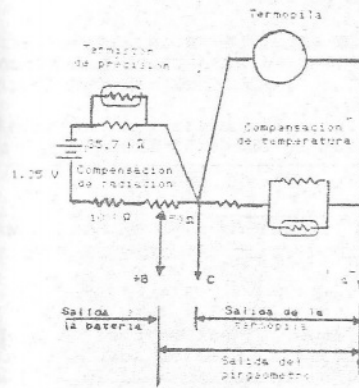


Fig. 3: Esquema del circuito del Pirgeómetro.

La medida consiste en un promedio de treinta lecturas para cada variable.

Las medidas realizadas hasta el presente muestran que, con un cielo claro, la radiación es del orden de 320 a 350 W/m^2 dependiendo de la humedad, mientras que para cielos perfectamente cubiertos con nubes bajas de radiación sube notablemente hasta valores cercanos a 500 W/m^2 .

En las figuras 4 y 5 se muestran los registros de dos días consecutivos.

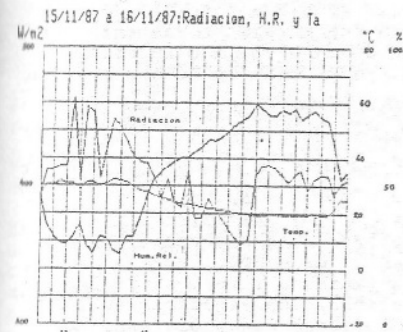


Fig. 4: Medidas en la UNSa.

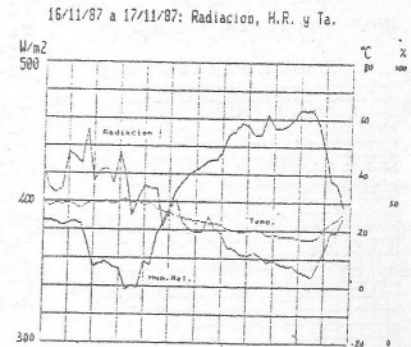


Fig. 5: Medidas en la UNSa.

El día 15, entre las 10 y las 12 horas aproximadamente, se observan variaciones de radiación debido a la nubosidad reinante. Entre las 22 horas y la 1 del día siguiente se despejó y la radiación es mucho menor. El mismo efecto puede notarse en la segunda de estas figuras, si bien fue un día menos nuboso que el anterior.

El sistema de adquisición de datos es de la serie 570 de Keithley. Este aparato se conecta a una computadora de tipo personal, la cual controla al mismo mediante programas de software.

La velocidad de muestreo de un solo canal es de 31,4 medidas por segundo y las medidas obtenidas las devuelve como variable BASIC, la cual puede ser luego manipulada como se desee dentro del programa.

MEDIDAS REALIZADAS.

La puesta a punto del equipamiento es reciente por lo que se disponen de pocos días de medición.

El programa actual de medición, registra las medidas de radiación, temperatura ambiente y humedad relativa cada media hora. La medida consiste en un promedio de treinta lecturas para cada variable.

PRIMERAS COMPARACIONES.

Mediante los datos proporcionados por la estación Salta del Servicio Meteorológico Nacional (tabla 1, figura 6), se hizo cálculos usando el código computacional LOWTRAN-5.

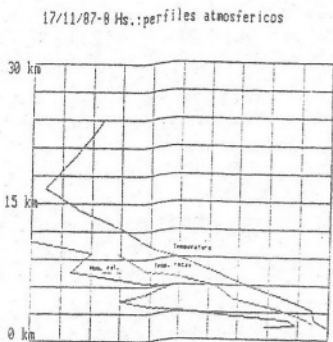


Fig. 6: Perfil meteorológico registrado por radio-sondeo.

TABLA 1: PERFILES OBTENIDOS POR RADIO-SONDEO

	HORA 8.30	DIA 18	MES 12	AÑO 1987	
	ALTURA	PRESION	TEMPERATURA	HUM. REL.	TEMP. ROCIO
1	1220.00	873.00	20.70	77.0	15.40
2	1452.00	850.00	21.10	75.0	15.50
3	1974.00	800.00	19.00	73.0	13.70
4	3122.00	700.00	15.90	68.0	3.70
5	4420.00	600.00	8.00	48.0	-4.40
6	5830.00	500.00	-4.50	33.0	-23.70
7	7279.00	400.00	-18.10	8.0	-37.00
8	9527.00	300.00	-33.90	3.0	-60.70
9	12265.00	220.00	-41.20	.0	
10	15265.00	200.00	-53.20	.0	
11	18477.00	180.00	-61.80	.0	
12	21867.00	150.00	-72.20	.0	
13	25472.00	70.00	-67.90	.0	
14	29336.00	50.00	-64.60	.0	
15	23478.00	40.00	-63.00	.0	
16	23885.00	30.00	-59.40	.0	
17	26472.00	20.00	-49.20	.0	
18	25329.00	15.00	-50.20	.0	

La figura 7 muestra el resultado espectral para dos ángulos cenitales y superpuestas las radiaciones de cuerpo negro correspondientes a la temperatura ambiente y la de cielo calculada.

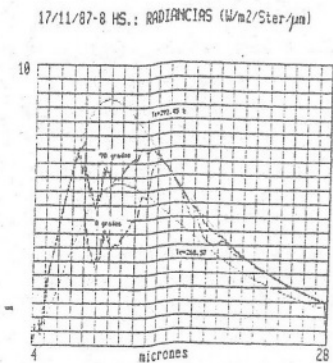


Fig. 7: Cálculo con LOWTRAN-5.

El cálculo arrojó por resultado una radiación infrarroja proveniente de cielo de 300 W/m**2, muy inferior a los 378 W/m**2 medidos en ese momento.

Una causa posible de esta discrepancia es la de que el modelo sólo calcula hasta los 28 μm. Una estimación manual da para el cálculo de radiación entre los 28 y los 50 μm un valor aproximado al 10% del cálculo anterior. Para realizar esta estimación se supuso radiación de cuerpo negro a la temperatura ambiente ya que se carece de datos de absorción espectral en esa región. De todos modos el resultado sigue siendo muy bajo con respecto a las medidas.

Por otro lado, se usó las correlaciones de Berdahl y Fromberg (4) y las de Martin y Berdahl (3).

Los primeros introdujeron en el año 1982 una correlación de emisividad para cielos claros con la temperatura de rocío, basados en medidas realizadas en tres localidades de EE.UU. Esta es de una forma muy simple:

$$\epsilon = 0,741 + 0,00062 * tr$$

con tr en grados centígrados. El problema de esta correlación es de que no tiene en cuenta el efecto de las nubes ni de la altura sobre el nivel del mar del lugar.

Posteriormente, Martin y Berdahl, en un estudio más cuidadoso, introdujeron una nueva correlación para cielos claros de la forma

$$\epsilon_0 = 0,711 + 0,56(tr/100) + 0,73(tr/100)**2$$

y dan un método para evaluar el aumento de emisividad para días nublados. La emisividad se calcula en este caso de la siguiente manera:

$$\epsilon = \epsilon_0 + (1 - \epsilon_0)n \epsilon_c^r$$

donde n es la fracción de nubes, ε es la emisividad de las nubes y r un factor que depende de la temperatura en la base de la nube. Para evaluar este último, usaron el LOWTRAN-5 con los modelos que éste posee y obtuvieron así la forma de este factor.

Por otro lado, han incluido en forma aproximada la dependencia con la altura mediante una corrección aditiva dada por la expresión empírica.

$$\Delta \epsilon_n = 0,00012 (P - 100),$$

donde P es la presión en milibares.

En la tabla 2, se comparan los resultados de emisividad medida y calculada con los distintos métodos.

TABLA 2: Emisividad día 17/11/87-8:30 hs.

Medida	Lowtran-5	Berdahl/Fromberg	Martin/Berdahl
0.86	0.711	0.836	0.793

Por otro lado, se graficaron los datos medidos en el período de 24 horas que va del 16 al 17 de noviembre de 1987.

La figura 8 muestra la humedad y la temperatura ambiente medida, así como la temperatura de rocío calculada por medio de estas dos variables.

En la figura 9 se observan las emisividades obtenidas de la medida y del cálculo para cielos claros siguiendo a Martin y Berdahl. Es de hacer notar que, a pesar de la diferencia de valores, ambas curvas se acompañan en el período de cielo abierto, no así en el de cielo cubierto.

Finalmente, en la figura 10, se muestran las curvas de radiación medida y la calculada para cielos claros por medio del trabajo de los mismos autores, donde se puede apreciar que la tendencia de ambas curvas es la misma.

La discrepancia de valores pueden ser debidas a la falta de una buena calibración del higrómetro.

16/11-9.30 hs a 17/11-9.00 hs.:HR, Ta y Tr

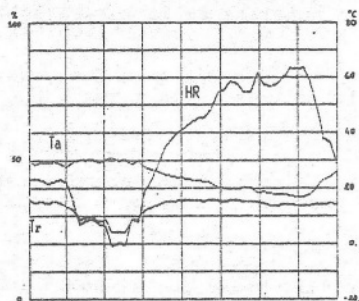


Fig. 8: Medidas de humedad relativa, temperatura ambiente y temperatura de rocío.

16/11-9.30 hs a 17/11-9.00 hs.:emisividades

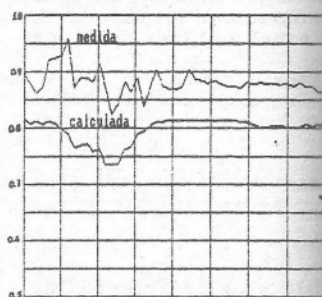


Fig. 9: Emisividades.

16/11-9.30 hs a 17/11-9.00 hs.:Radiacion

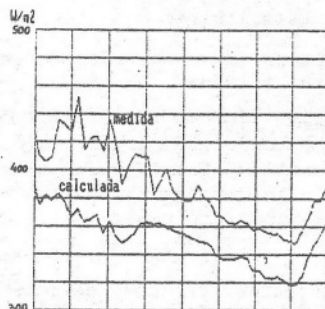


Fig. 10: Radiacion infrarroja atmosferica.

CONCLUSIONES

La dispersión observada en la Tabla 2 es grande, lo cuál justifica una revisión de los métodos de cálculo de la emisividad.

De las figuras 9 y 10 se obtiene que, a pesar de no haberse usado la corrección por nubosidad, las correlaciones de Martin y Berdahl en función de la temperatura de rocío parece buena, requiriendo quizás de algunos ajustes. Pareciera además que así debiera ser, dado que la temperatura de rocío tiene en cuenta la cantidad de agua en la atmósfera y porque este elemento es la principal fuente de emisión infrarroja del cielo.

Por otro lado, de la comparación de las curvas de temperatura de rocío y temperatura ambiente con la radiación (figuras 8 y 10) se puede notar la dependencia de esta última de las dos primeras.

REFERENCIAS.

- 1.- Atmospheric radiance/tranmittance: Computer code LOWTRAN-5. F.X. Kneizys y otros. US Air Force Geoph. Lab. Hanscomb. Massachusetts 1980.
- 2.- Estudio de la radiación nocturna como fuente fría. Primeros cálculos. E. Frigerio y L. Saravia. Presentado XIa. Reunión de Trabajo de ASADES, San Luis, 1986.
- 3.- Characteristics of infrared sky radiation in the United States. M. Martin y P. Berdahl. Solar Energy, Vol. 33, No. 3/4, pp. 321-336, 1984.
- 4.- The thermal radiance of clear skies. P. Berdahl y R. Fromberg. Solar Energy, vol. 29, pp.299-314, 1982.