

MAXIMAS INTENSIDADES SOLARES GLOBALES EN EL SOLSTICIO DE VERANO DE 1995 EN COLPITAS, DESIERTO DE ATACAMA, CHILE.

R. D. Piacentini^{1,2,3}, R. Abalone^{1,2}, M. Rivas⁴, E. Rojas⁴ y R. Schmidt⁴

¹ Instituto de Física Rosario (CONICET - UNR) 27 de febrero 210 bis, 2000 Rosario, Argentina.

² Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. (UNR) Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina

³ Observatorio Astronómico de Rosario, C.C. 606, 2000 Rosario, Argentina.

⁴ Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

RESUMEN

Se presentan resultados de las intensidades solares globales registradas en altura (Colpitas, 4100 m) en el desierto de Atacama, Chile, en días de cielo claro cercanos al solsticio de verano de 1995.

Los resultados obtenidos se comparan con los calculados a partir del modelo C de Iqbal que predice la irradiancia global sobre plano horizontal para diferentes horas del día (diferentes ángulos zenitales), incluyendo los parámetros característicos del punto geográfico y de la época del año considerados. El acuerdo entre ambos es razonablemente bueno para los días investigados. Uno de los detalles más significativos, es el alto valor del máximo de la irradiancia solar sobre el plano horizontal que llega a 1262 W/m², siendo inferior en sólo 10.5% al de la irradiancia solar extraterrestre, en el solsticio de verano del hemisferio sur.

INTRODUCCION

Las intensidades solares globales vienen siendo registradas desde hace varias décadas en prácticamente toda la Tierra, con medidores terrestres y más recientemente, satelitales. De este modo, se han logrado obtener mapas de los promedios diarios de cada mes, que muestran grandes variaciones por efecto de la posición geográfica, cubierta de nubes, altura, tipo de atmósfera y posibles contaminantes [1,2]. En particular, Grossi Gallegos, Atienza y García [3] produjeron interesantes mapas mensuales con curvas de igual radiación solar para el cono Sur americano. Realizando un análisis de los distintos mapas, se comprueba que en esta última región, las máximas intensidades solares se dan alrededor del solsticio de verano (diciembre) en la zona del desierto de Atacama, en el norte de Chile.

Teniendo en cuenta estos datos, se decidió realizar una investigación detallada de las irradiancias solares globales (directa + difusa), para días de cielo claro cercanos al solsticio de verano, tanto a través de mediciones como de cálculos teóricos. Estudios similares se han realizado y continúan efectuándose en esta y en otras regiones, tanto para las radiaciones globales como para las ultravioletas y otras cantidades relacionadas [4,5,6].

MEDICIONES

Se efectuaron mediciones de la irradiancia solar global (directa + difusa) mediante una estación automática ubicada en Colpitas, desierto de Atacama, extremo Norte de Chile.

Se analizaron en particular los días de cielo claro cercanos al solsticio de verano (15, 16 y 22 de diciembre de 1995), como se muestra en la Fig. 1. Registros en días parcialmente nublados cercanos a los considerados en el presente trabajo, muestran un comportamiento similar al de la Fig. 1, cuando las nubes están relativamente alejadas del Sol. Cuando las nubes ocultan al Sol, se observan en general las típicas reducciones de las intensidades, excepto en algunas situaciones particulares en las cuales el efecto "espejo de borde de nube" incrementa dichas intensidades. Un análisis más detallado de estos días y de las máximas intensidades solares globales correspondientes, será tema de futuros trabajos.

Es interesante constatar que las máximas variaciones porcentuales entre las mediciones se dan a media mañana y no superan el 10%. Hacia el mediodía solar y durante toda la tarde, estas variaciones se van reduciendo. Este fenómeno se puede deber esencialmente a que la turbidez atmosférica cambia a lo largo del día, ya que es el parámetro que se modifica en mayor proporción en sólo algunas horas y por consiguiente, que afecta en mayor medida a las irradiancias solares.

El aumento abrupto de la intensidad solar alrededor de las 8 hs. es producido por elevaciones sobre el nivel del lugar en la dirección de la salida del Sol, que lo oculta hasta que su altura angular sobrepasa la de estas elevaciones.

MODELIZACION

El modelo utilizado en el presente trabajo está basado en estudios realizados por Bird y Hulstrom [7], donde comparan elementos individuales de varios modelos con el modelo más riguroso llamado SOLTRAN. Sobre la base de esta comparación, desarrollaron nuevas ecuaciones para transmitancias de los constituyentes atmosféricos individuales.

Para el cálculo teórico de la radiación global incidente sobre la superficie terrestre en un plano horizontal, debe modelizarse el comportamiento de la atmósfera. Esta radiación está formada por una componente directa (que se propaga casi en línea recta desde el Sol) y una difusa (que llega a la superficie luego de diferentes procesos y reflexiones en la atmósfera) [7]:

$$I = I_b + I_d \quad (1)$$

La radiación directa sobre un plano horizontal es:

$$I_b = I_n \cos(\theta_z) \quad (2)$$

donde:

- I_b radiación directa sobre un plano horizontal ($W m^{-2}$)
- I_d radiación difusa sobre un plano horizontal ($W m^{-2}$)
- I_n radiación directa sobre un plano normal a la dirección del Sol ($W m^{-2}$)
- θ_z ángulo del zenit (radian)

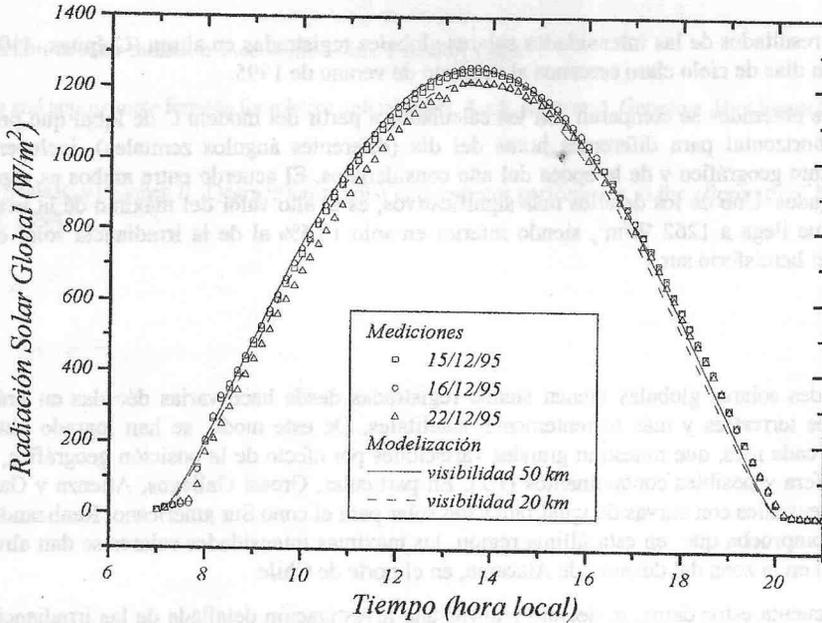


Fig. 1: Intensidades solares globales en días de cielo claro cercanos al solsticio de verano de 1995, medidas en Colpitas, Desierto de Atacama, Chile y calculadas empleando el modelo C de Iqbal (1983)[7]

La componente directa normal se da a partir de la radiación solar extraterrestre, multiplicada por las transmitancias atmosféricas que tienen en cuenta los diferentes procesos de absorción, reflexión, etc. que ocurren en la atmósfera

$$I_n = 0.9751 I_{0n} \tau \quad (3)$$

donde el factor 0.9751 está incluido debido a que el intervalo espectral considerado por SOLTRAN es $0.3-3\mu m$

$I_{0n} = I_{SC} E_0$ irradiancia solar extraterrestre (Wm^{-2}).

$I_{SC} = 1367 W m^{-2}$ constante solar.

E_0 factor de corrección por excentricidad de la órbita de la Tierra (depende de día de año considerado).

τ transmitancia atmosférica global.

La radiación difusa es generada por los efectos del scattering de moléculas de aire y aerosoles. Una porción de la radiación total primaria y de múltiple scattering regresa al espacio, otra es absorbida y otra llega a la superficie de la Tierra. La descripción matemática rigurosa de estos procesos es altamente compleja, por lo tanto se utilizan diferentes modelos de simulación. Una expresión simple para la radiación difusa producida por moléculas de aire y por aerosoles es la presentada por Iqbal [7]. Este modelo considera la radiación difusa compuesta por tres partes:

$$I_d = I_{dr} + I_{da} + I_{dm} \quad (4)$$

donde:

- I_{dr} radiación difusa producida por scattering de Rayleigh, que llega a la tierra luego de un primer paso a través de la atmósfera.
- I_{da} radiación difusa producida por aerosoles, que llega a la tierra luego de un primer paso a través de la atmósfera.
- I_{dm} radiación difusa producida por múltiples reflexiones.

Las expresiones para cada una de estas componentes puede ser encontrada en la bibliografía. En particular, el modelo C desarrollado por Iqbal [7], propone expresiones particulares para las transmitancias y componentes difusas, que incluyen los siguientes parámetros atmosféricos:

- temperatura ambiente
- humedad relativa ambiente
- presión atmosférica
- espesor de la capa de ozono

- coeficiente α de turbidez (fórmula de Amstrong [7])
- visibilidad (relacionada con los coeficientes α y β de la fórmula de Amstrong)

y los siguientes magnitudes referidas al lugar geográfico y a la posición del Sol:

- latitud y longitud del lugar
- día del año
- masa de aire (para una dada hora del día, o ángulo del zenith)

En los cálculos realizados para el presente trabajo se utilizaron los valores indicados en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros característicos para Colpitas, Chile, durante días de cielo claro, cercanos al solsticios de verano.

Parámetro	Valor
temperatura ambiente promedio	15 °C
humedad relativa ambiente promedio	25 %
presión atmosférica	630 hPa
espesor de la capa de ozono	0.26 cm
coeficiente α de turbidez	1.3
visibilidad	50 km
latitud y longitud del lugar	18°23' S - 69°36' W
irradiancia extraterrestre solar para el solsticio de verano del hemisferio sur	1410.7 W m ⁻²

La comparación entre mediciones y cálculos muestra en general un buen acuerdo experiencia-teoría. Dado que los parámetros atmosféricos fueron considerados constantes durante todo el día (capa de ozono, presión, turbidez atmosférica, temperatura y humedad relativa promedios), la curva teórica es simétrica. No se pretendió describir la asimetría observada comparando la mañana y la tarde, por carecer de datos concretos respecto de las posibles variaciones en ambos intervalos de tiempo.

Es de destacar que en la ecuación (1), que da la irradiancia solar global, los coeficientes relacionados con las componentes moleculares del aire (presión y capa de ozono) tienen una influencia individual menor, para una dada ubicación geográfica, que la de los aerosoles, si se consideran los rangos de valores estimados para dichos coeficientes. Lo mismo ocurre con la temperatura y la humedad relativa.

CONCLUSIONES

Del presente trabajo se deducen las siguientes conclusiones:

- Se registraron irradiancias solares muy altas en día de cielo claro en torno al solsticio de verano (15, 16 y 22 de diciembre de 1995), en Colpitas, Desierto de Atacama, Chile, con diferencias porcentuales, respecto de irradiancia solar extraterrestre para el mismo periodo de sólo el 10.5 %. Es de destacar el hecho de que para el presente estudio, se han considerado varios días "cercaos" al solsticio de verano, con el fin de tener una mejor estadística. Las diferencias teóricas por variación del ángulo zenital respecto del valor mínimo en dicho solsticio, son menores al 1% dentro de los 10 días antes o después de esta fecha.

- Los máximos valores registrados al mediodía solar se producen por la combinación de los siguientes efectos: gran altura sobre el nivel del mar (4100 m) lo que determina una baja densidad del aire; región tropical de baja latitud y por consiguiente muy bajo ángulo zenital y alta visibilidad, lo que implica baja concentración de partículas en suspensión (aerosoles).

REFERENCIAS

- [1] Duffie, J. A. y Beckman, W. A. 1980. "Solar Engineering of Thermal Process". Willey Interscience Public.
- [2] Böer, K. W. 1980 "The Terrestrial Solar Spectrum". En el libro Solar Energy Technology Handbook. Editores W. C. Dickinson, P. N. Cherenisinoff, Part A, Cap. 4.
- [3] Grossi Gallegos, H., Atienza, G. y Garcia, M. 1987. "Cartas de Radiación Solar Global Diaria para la Región Meridional de América del Sur". Actas del II Congreso Interamericano de Meteorología y Congreso Argentino de Meteorología, Bs. As., Argentina.
- [4] Albizzati, E., Rossetti, J. y Alfano, O. 1994. "Medición y Análisis de la Radiación Solar Total Incidente en la Ciudad de Santa Fe (Argentina)". Actas de la 17ª Reunión de Trabajo de la Asociación de Energía Solar. Tomo II, p. 527-533.

