

MEDICION Y ANALISIS DE LA RADIACION SOLAR TOTAL INCIDENTE EN LA CIUDAD DE SANTA FE (ARGENTINA)

Enrique D. Albizzati¹, Germán H. Rossetti², Orlando M. Alfano³

Depto. de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química - U.N. del Litoral.
Santiago del Estero 2654 - (3000) Santa Fe - Argentina. Fax : (042) 553727

Inst. de Desarrollo Tecnológico para la Ind. Qca. (INTEC), U. N. Litoral y CONICET.
Güemes 3450 - (3000) Santa Fe - Argentina. Fax : (042) 550944

Resumen

Se presentan mediciones efectuadas en Santa Fe, de la radiación solar total en el plano horizontal durante un período de diez años. Los valores de la radiación promedio diario para cada mes, se comparan con las mediciones realizadas en otras estaciones cercanas a esta ciudad. Luego, mediante el modelo de Bird y Riordan (1986), se computa la radiación solar total incidente bajo la hipótesis de cielo sin nubes, y los resultados se relacionan con los valores que se han medido con variadas condiciones climáticas en dicho lapso.

Introducción

El conocimiento de la radiación solar incidente a nivel local es un requisito incluídible para la predicción de la performance y para el dimensionamiento de los dispositivos tecnológicos usados en la conversión y acumulación de la energía solar.

Debe observarse que en ciertos casos se necesita contar con una información más o menos detallada sobre la radiación, donde eventualmente deben distinguirse las componentes directa y difusa, y la variación espectral y temporal de las mismas. Sin embargo, un buen número de metodologías habitualmente empleadas con el objetivo arriba citado pueden aplicarse utilizando información relativamente limitada, tal como valores promediados en el tiempo o integrados en todo el espectro.

En este trabajo se presentan mediciones de la radiación solar total en el plano horizontal, efectuadas en la Facultad de Ingeniería Química desde marzo de 1982 hasta febrero de 1992, empleando un piranómetro basado en el principio fotovoltaico. De este modo se completan una serie de mediciones realizadas con anterioridad (1,2). La información de la

1 Profesor de la UNL.

2 Becario del CONICET.

3 Profesor de la UNL e Investigador del CONICET.

radiación promediada en forma diaria para cada mes del año, se compara con la obtenida en otras estaciones de medición cercanas a la ciudad de Santa Fe.

Luego, empleando un modelo computacional formulado por otros autores (3) y previamente verificado, se determina la intensidad de radiación solar directa, difusa y global incidente sobre la ciudad de Santa Fe para días típicos de cielo claro. Se computa y se caracteriza la radiación solar incidente bajo la hipótesis de cielo sin nubes en cada mes del año y los resultados obtenidos se comparan con los datos experimentales para el plano horizontal medidos bajo diversas condiciones climáticas en el referido período con el fin de obtener información útil para el diseño de dispositivos de aprovechamiento de la energía solar en la región Centro-Litoral de la República Argentina.

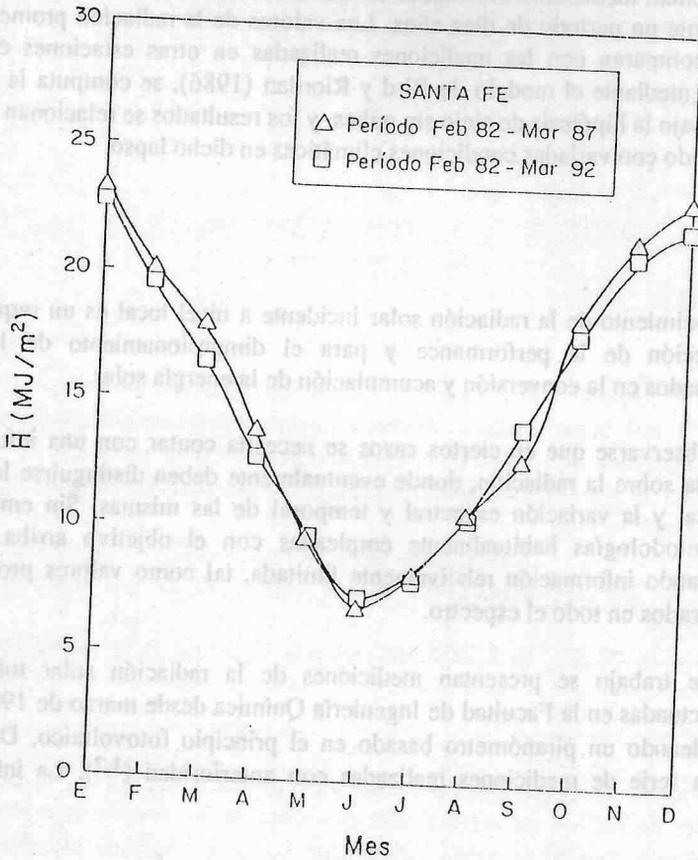


Figura 1: Mediciones de la radiación solar total en la ciudad de Santa Fe. Radiación global promedio diario en cada mes.

Mediciones de la Radiación Solar Total en el Plano Horizontal

La radiación solar total directa y difusa en todo el espectro se midió en la ciudad de Santa Fe haciendo uso de un piranómetro fotovoltaico solar 118 que posee una serie de elementos adicionales destinados a mejorar la respuesta de las celdas de silicio convencionales. El equipo está acoplado a un integrador electrónico donde pueden leerse valores instantáneos y acumulados de la radiación solar total.

Los datos de la radiación diaria promedio en cada mes recopilados desde el 1° de marzo de 1982 hasta el 28 de febrero de 1992 se muestran en la Figura 1, considerando al efecto períodos de cinco años (Mar 82-Feb 87) y diez años (Mar 82-Feb 92). Se observan marcadas diferencias a lo largo del año, imputables a las condiciones climáticas y a la localización geográfica de la ciudad, y una moderada variación en los valores de cada mes al comparar ambos períodos.

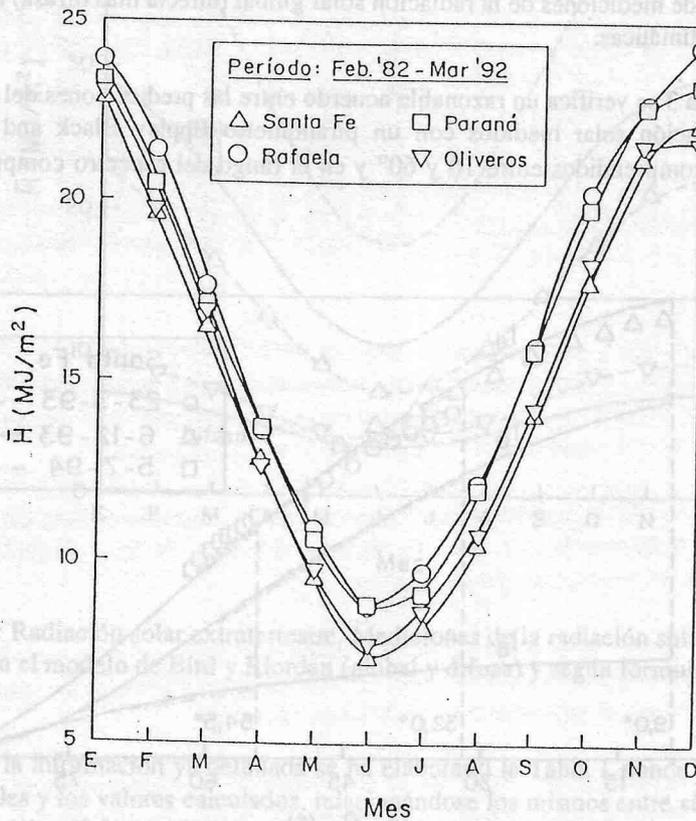


Figura 2 : Mediciones de la radiación solar total en la región Centro-Litoral.
Radiación global promedio diario en cada mes.

Con el fin de obtener información representativa de la radiación solar incidente en la región Centro-Litoral, en la Figura 2 se han graficado las mediciones efectuadas en las estaciones de medición del INTA situadas en las cercanías de la ciudad de Santa Fe (Paraná, Rafaela y Oliveros), durante idéntico período de diez años. Los datos indican una tendencia análoga en todos los casos, pero se comprueba que los valores de Rafaela y Paraná son superiores a los de Santa Fe y Oliveros en todos los meses del año. Esto puede justificarse a partir de que la humedad relativa ambiente es normalmente inferior en las primeras ciudades citadas, con respecto a las últimas lo que aumenta la intensidad de la radiación solar incidente a lo largo del año.

Evaluación de la radiación solar total en días de cielo claro

La evaluación de la radiación solar en el plano horizontal para la ciudad de Santa Fe y en días de cielo claro se efectuó con el modelo de Bird y Riordan (1986). Este modelo fue verificado a través de mediciones de la radiación solar global (directa más difusa) abarcando las cuatro estaciones climáticas.

En la Figura 3 se verifica un razonable acuerdo entre las predicciones del modelo y los valores de la radiación solar medidos con un piranómetro Eppley Black and White, para ángulos cenitales comprendidos entre 10 y 60° y en el rango del espectro comprendido entre 0,3 y 2,8 μm.

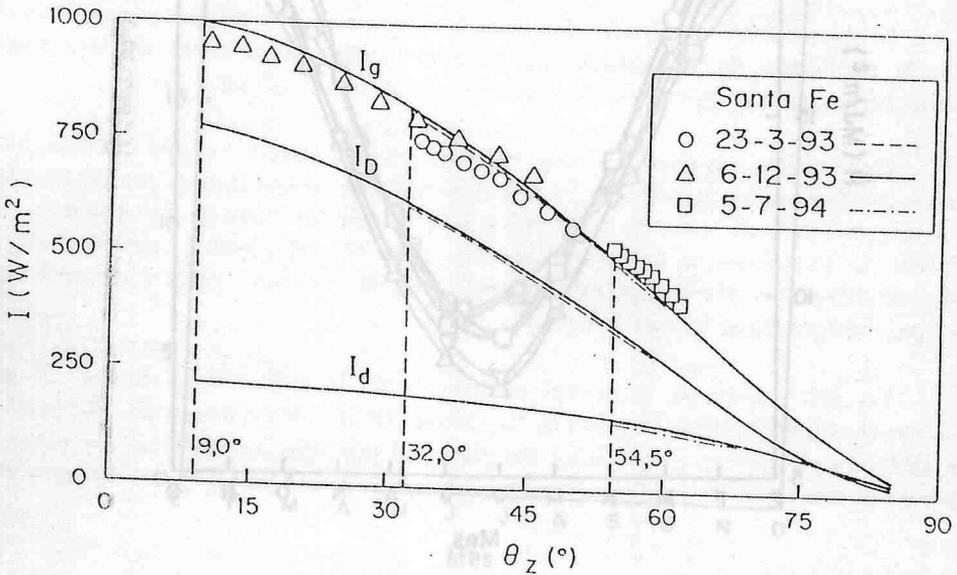


Figura 3 : Comparación entre valores de la radiación solar total medidos, y calculados según el modelo de Bird y Riordan. Radiación global (Ig), radiación directa (ID) y radiación difusa (Id).

El modelo permite analizar la dependencia de la radiación solar directa, difusa y global con la longitud de onda, con el ángulo cenital y con la inclinación de la superficie receptora. En este trabajo se ha aplicado para calcular y caracterizar la radiación solar promedio diario en cada mes suponiendo cielo sin nubosidad. La Figura 4 muestra los valores de la radiación solar extraterrestre y los resultados obtenidos con el modelo para la radiación solar global y la radiación solar difusa. También se vuelcan las mediciones de la radiación solar global, y valores de la radiación solar difusa calculados según la fórmula de Page (4,5).

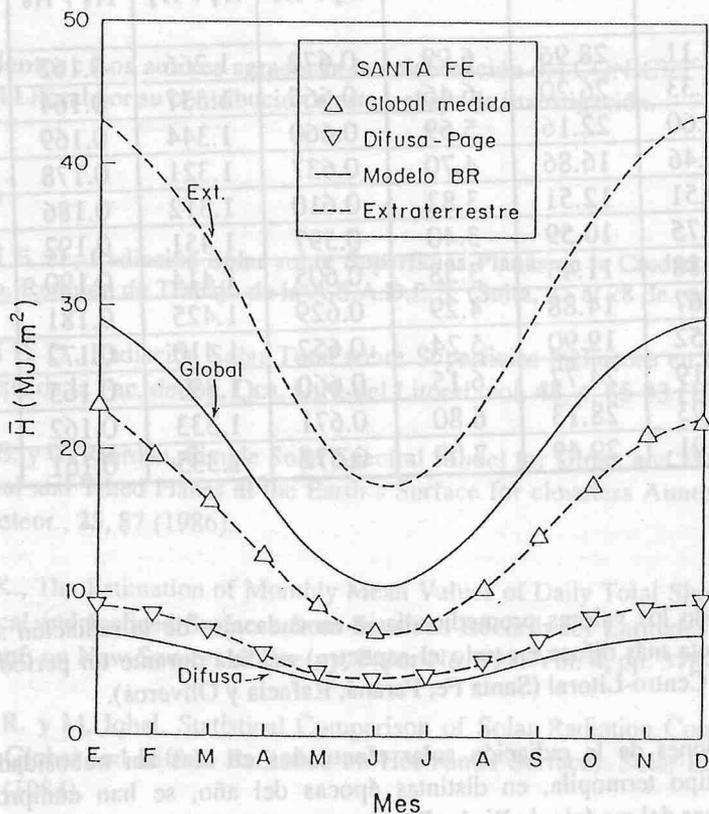


Figura 4 : Radiación solar extraterrestre. Mediciones de la radiación solar total (global), y cálculo con el modelo de Bird y Riordan (global y difusa) y según fórmula de Page (difusa).

Con la información ya detallada se ha elaborado la Tabla 1 donde se listan los valores experimentales y los valores calculados, relacionándose los mismos entre sí. Se comprueba que la radiación solar global representa entre el 60 y 67% de la radiación solar extraterrestre en días sin nubosidad; a su vez los valores en días claros superan en un porcentaje que va desde el 27 hasta el 45%, a los de la radiación solar global correspondiente a los medidos, efectuados bajo variadas condiciones climáticas. Con respecto a la radiación solar difusa en días de cielo

claro es el 16-19% de la radiación solar extraterrestre, y dicho porcentaje sube al 21-22% cuando se contemplan los valores experimentales.

Tabla 1: Radiación solar total en la ciudad de Santa Fe, promedios diarios en cada mes del año

Mes del año	\bar{H}_0	\bar{H}_s	\bar{H}_d	\bar{H}_s / \bar{H}_0	\bar{H}_s / \bar{H}_s	\bar{H}_d / \bar{H}_0	\bar{H}_d / \bar{H}_d
Ene.	43.11	28.96	6.99	0.672	1.266	0.162	0.764
Feb.	39.33	26.20	6.46	0.666	1.337	0.164	0.756
Mar.	33.60	22.16	5.69	0.660	1.344	0.169	0.775
Abr.	26.46	16.86	4.70	0.637	1.321	0.178	0.810
May.	20.51	12.51	3.82	0.610	1.312	0.186	0.845
Jun.	17.75	10.59	3.40	0.597	1.451	0.192	0.870
Jul.	18.88	11.43	3.58	0.605	1.414	0.190	0.859
Ago.	23.67	14.88	4.29	0.629	1.425	0.181	0.819
Set.	30.52	19.90	5.24	0.652	1.410	0.172	0.777
Oct.	37.19	24.77	6.15	0.660	1.397	0.165	0.753
Nov.	41.93	28.13	6.80	0.671	1.333	0.162	0.747
Dic.	43.91	29.49	7.09	0.672	1.335	0.161	0.743

Conclusiones

- Se han determinado los valores promedio diario en cada mes de la radiación solar total (componente directa más difusa en todo el espectro) medida durante un período de diez años, en la región Centro-Litoral (Santa Fe, Paraná, Rafaela y Oliveros).
- En base a mediciones de la radiación solar efectuados en días sin nubosidad, con un piranómetro del tipo termopila, en distintas épocas del año, se han comprobado las predicciones teóricas del modelo de Bird y Riordan.
- Se ha calculado la radiación solar global, directa y difusa, promedio en cada mes del año en la ciudad de Santa Fe, utilizando el modelo para cielo claro (Bird y Riordan), y una fórmula empírica (Page) que se aplica bajo diversas condiciones climáticas.
- A partir de los valores calculados y medidos, se han obtenido relaciones entre la radiación solar global, directa, difusa y extraterrestre, que pueden ser usadas en el diseño de sistemas para el aprovechamiento de la energía solar.

Nomenclatura

- \overline{H}_0 radiación solar extraterrestre promedio diario mensual (MJ/m^2).
- \overline{H}_g radiación solar global promedio diario mensual (Bird y Riordan) (MJ/m^2).
- \overline{H}_d radiación solar difusa promedio diario mensual (Bird y Riordan) (MJ/m^2).
- \overline{H}_g radiación solar global promedio diario mensual (medida) (MJ/m^2).
- \overline{H}_d radiación solar difusa promedio diario mensual (Page) (MJ/m^2).

Agradecimientos : Los autores agradecen la colaboración del CONICET y de la Universidad Nacional del Litoral por su contribución a este trabajo de investigación.

Referencias

1. Albizzati E. D., Radiación Solar sobre Superficies Planas en la Ciudad de Santa Fe. Actas de la 13a. Reunión de Trabajo de la A.S.A.D.E.S. (Salta, 25 al 28 de octubre de 1988).
2. Albizzati E. D., Radiación Solar Total sobre Superficies Inclinadas en la Ciudad de Santa Fe. Revista de la Fac. de Ing. Qca. U.N. del Litoral, vol. 48, p. 65-83 (1988).
3. Bird R. E. y C. Riordan, Simple Solar Spectral Model for Direct and Diffuse Irradiance on Horizontal and Tilted Planes at the Earth's Surface for cloudless Atmospheres. J. Climate Appl. Meteor., 25, 87 (1986).
4. Page J. K., The Estimation of Monthly Mean Values of Daily Total Short Wave Radiation on Vertical and Inclined Surfaces from Sunshine Records for Latitudes 40°N - 40°S . Proc. U. N. Conf. on New Sources of Energy, Paper No. S98. Vol. 4, pp. 378-390 (1979).
5. Ma C.C.R. y M. Iqbal, Statistical Comparison of Solar Radiation Correlations (Monthly Average Global and Diffuse Radiation on Horizontal Surface). Solar Energy, Vol 33, pp. 143-148 (1984).