

RELACIONES ENTRE LAS COMPONENTES DIFUSA Y GLOBAL

DE LA RADIACION SOLAR (\*)

H. GROSSI GALLEGOS, R. LOPARDO, G. ATIENZA y G. VIDALES

Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales  
Departamento de Energía No Convencional  
Avda. Mitre 3100 - C.P. 1663 San Miguel  
Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

Se estudia la validez local de la relación que entre los valores diarios de radiación solar difusa y global establecieron Liu y Jordan, tratando a su vez de encontrar relaciones similares entre los valores horarios de las mismas magnitudes, diferenciadas por altura solar.

1. INTRODUCCION

Para el diseño de todo sistema de utilización de la energía solar, como así también para los estudios de factibilidad de acondicionamiento solar de edificios, son necesarios datos sobre la disponibilidad de este recurso. Existen métodos aproximados para estimar los valores medios de la radiación global en base a la heliofanía (1,2), como así también para separar las componentes directa y difusa que inciden sobre un plano horizontal (3, 4) y sobre planos inclinados (5) a partir de la radiación global sobre plano horizontal.

Desde 1960 se han venido usando extensamente las relaciones deducidas por Liu y Jordan (3) pero en realidad, como lo hicieran notar Ruth y Chant (6), no se puede asegurar su universalidad, si bien el trabajo de Collares-Pereira y Rabl así lo asegura (7).

Como no han sido publicadas hasta el momento correlaciones similares para nuestro país, el propósito de este trabajo es estudiar la validez de las mismas utilizando para tal fin los datos de radiación global y difusa obtenidos en San Miguel, Buenos Aires, desde diciembre de 1970 hasta octubre de 1973 (8), como así también establecer relaciones entre datos en

base horaria, similares a las presentadas por Bugler (9) e Iqbal (10).

2. TRATAMIENTO DE LA INFORMACION

Los datos de radiación solar difusa en plano horizontal fueron obtenidos impidiendo la incidencia de la componente directa mediante el uso de una banda sombreadora, orientada perpendicularmente al eje polar y formando un ángulo igual a la latitud local.

Un problema inherente a esta banda es que, además de impedir la llegada de la radiación directa al solarímetro, oculta parte del cielo. Por lo tanto, se debe agregar una cantidad adicional de energía para determinar correctamente la radiación difusa.

Considerando una distribución isotrópica de la radiación difusa en la bóveda celeste y la ausencia de reflexiones en la superficie interior de la banda sombreadora, Drummond (11) dedujo una ecuación para determinar la fracción de cielo obstruido por la banda:

$$\frac{X}{T} = \frac{2b}{\pi r} \cos^3 \delta (\omega_s \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s) \quad (1)$$

en donde r=radio de la banda, b=ancho de la banda,  $\omega_s$ =ángulo horario de puesta de Sol,  $\phi$ =latitud del lugar y  $\delta$ =declinación. Esta ecuación, para el instrumental de San Miguel con r=20 cm, b=6 cm y  $\phi=34^\circ 33'S$ , está representada en la Fig. 1.

El factor de corrección f puede ser expresado entonces como

$$f = \frac{1}{1 - \frac{X}{T}} \quad (2)$$

\*) Trabajo parcialmente financiado con fondos de la SECyT.

Este factor varía para San Miguel entre un mínimo de 1,069 en el mes de junio y un máximo de 1,218 en febrero, con un valor promedio de 1,16.

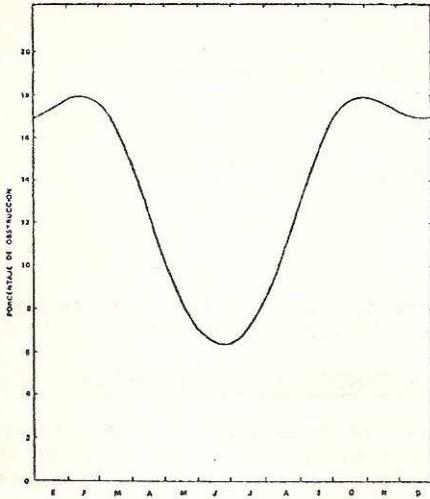


Figura 1

### 3. CORRELACION ENTRE VALORES DIARIOS DE RADIACION DIFUSA Y GLOBAL

Tal como lo hicieron Liu y Jordan, se usa como parámetro de correlación el índice de claridad (llamado por los citados autores índice de nubosidad), esto es, el cociente entre la radiación global diaria sobre una superficie horizontal  $H$  y la radiación que incidiría sobre la misma superficie en ausencia de atmósfera,  $H_0$ , de tal manera que

$$K_t = H / H_0 \quad (3)$$

La radiación sin atmósfera fue calculada por la expresión

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left[ 1 + 0,033 \cos \left( \frac{2\pi n}{365} \right) \right] \times (\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin \phi \sin \delta), \quad (4)$$

en donde  $I_{sc} = 1353 \text{ Wm}^{-2}$  es la constante solar,  $n$  el ordinal del día,  $\omega_s$  el ángulo horario de puesta de Sol,  $\phi$  la latitud del lugar y  $\delta$  la declinación, calculada por

$$\delta = 23,45 \sin \left( \frac{284+n}{365} \cdot 360 \right). \quad (5)$$

En primer lugar, y siguiendo el procedimiento del trabajo citado (3), se calcularon los cocientes de difusa y global diarias experimentales. Luego se obtuvieron los promedios de ambos valores dentro de intervalos

de índices de claridad de 0,05. Esto se hizo para cada mes de los diferentes años estudiados con el fin de apreciar efectos estacionales, pero la dispersión es tal que no permite sacar conclusiones (Fig.2a), y para todo el conjunto de valores (Fig.2b).

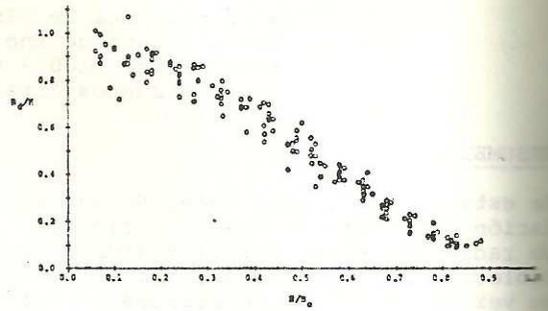


Figura 2a

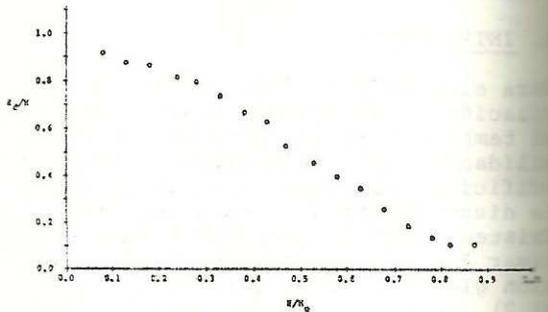


Figura 2b

Aproximando la relación por cuadrados mínimos a un polinomio de cuarto grado se obtuvo la siguiente expresión

$$H_d/H_0 = 0,9379 - 0,2599K_t - 0,2569K_t^2 - 3,4714K_t^3 + 3,2718K_t^4 \quad (6)$$

En la Fig.3 se han volcado estos resultados junto con los obtenidos con pirheliómetros y banda sombreadora, corrigiendo su efecto, por Choudhury (13) en una estación de la India, Stanhill (14) en una estación de Israel, Ruth y Chant (5) en cuatro estaciones del Canadá, Liu y Jordan (3) en una estación de los EEUU (sin corrección por banda sombreadora, pero modificada extrapolando sus datos y los obtenidos con pirheliómetros en cinco estaciones de los EEUU y analizados por Collares-Pereira y Rabl (7). Se hizo algo similar para el cociente  $H_d/H_0$  en función del índice de claridad. Los resultados se pueden observar en las Fig. 4a y 4b.

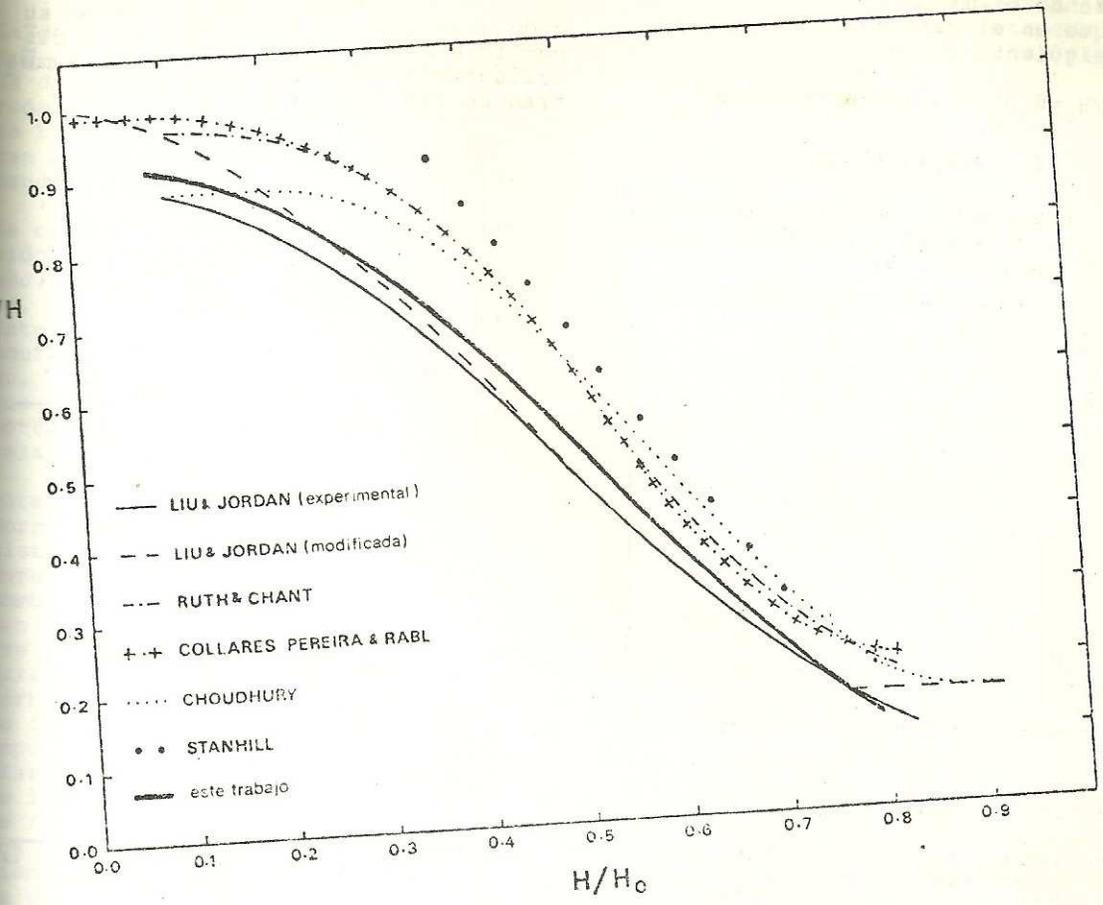


Figura 3

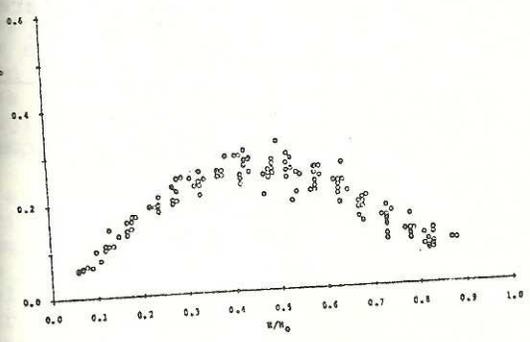


Figura 4a

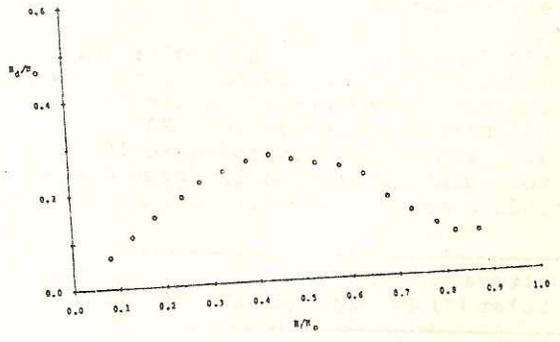


Figura 4b

Utilizando el mismo tipo de aproximación que en el caso anterior se llega a la siguiente expresión

$$H_d/H_0 = 0,0037 + 0,6234K_t + 2,0423K_t^2 - 6,5089K_t^3 + 3,9743K_t^4 \quad (7)$$

Estos resultados, junto con los de Liu y Jordan (3) y Ruth y Chant (6) se han volcado en la Fig. 5.

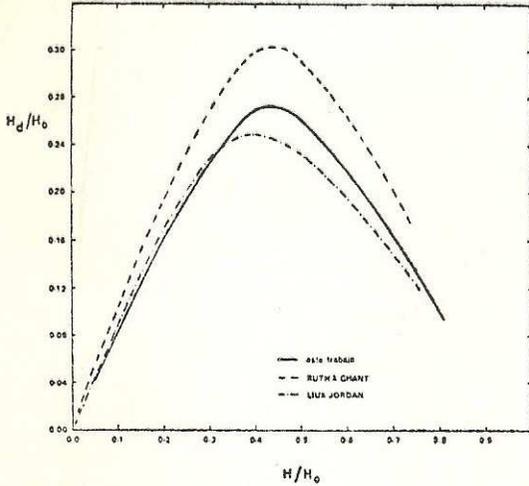


Figura 5

#### 4. CORRELACIONES ENTRE VALORES HORARIOS DE RADIACION DIFUSA Y GLOBAL.

Los datos fueron tratados de manera similar a los diarios, calculándose las relaciones  $I_d/I_0$ , en donde  $I_d$  es la radiación difusa recibida durante una hora en una superficie horizontal e  $I_0$  es la correspondiente al mismo período y a la misma superficie, pero sin atmósfera.

Siguiendo los pasos de Bugler (9) e Iqbal (10) se separaron los datos correspondientes a  $\pm 1^\circ$  de las alturas nominales solares  $\alpha = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 60^\circ$  y  $70^\circ$ , procesándose 1654 datos, distribuidos de la forma que se indica en la Tabla I.

Altura Solar ( $^\circ$ )	10	20	30	40	50	60	70
Nº de datos	180	193	624	296	198	100	63

Tabla I

Se construyeron gráficos de  $I_d/I_0$  en

función de  $I/I_0$ , donde  $I$  es la radiación global horaria sobre la misma superficie horizontal, obteniéndose distribuciones del tipo de las que se muestran en las Fig. 6a y 6b.

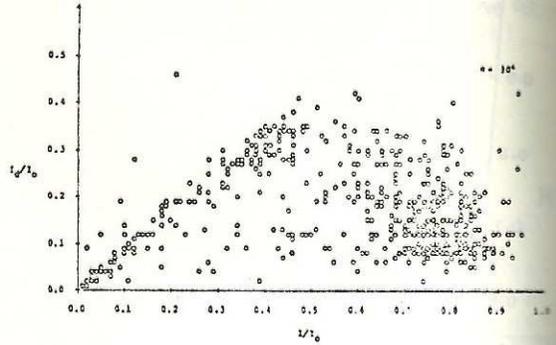


Figura 6a

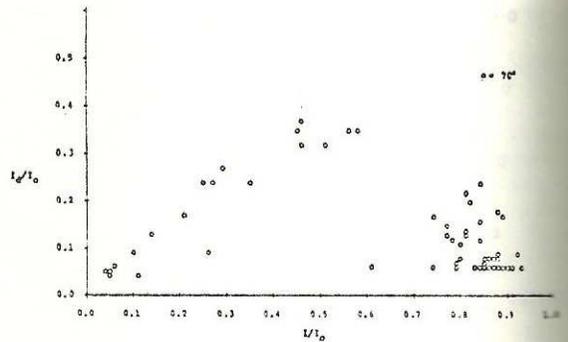


Figura 6b

Para valores de  $I/I_0$  menores que 0,35 (cielo cubierto) la relación es lineal y con baja dispersión, coincidiendo con los trabajos antes citados, pero con diferencia en la pendiente. Las observaciones se pueden resumir en la Fig. 7, en la que se indican los apartamientos notados para diferentes alturas solares a medida que disminuye la nubosidad.

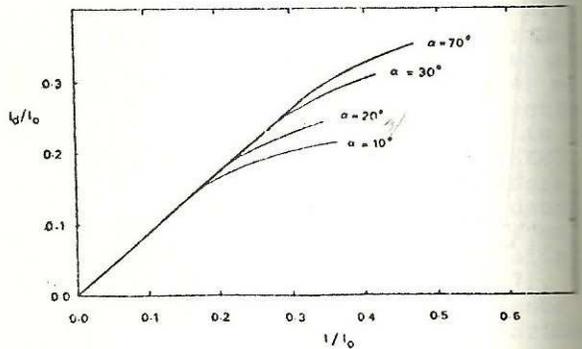


Figura 7

## 5. CONCLUSIONES

La dependencia funcional hallada entre los valores diarios es similar a la de los otros autores, estando ubicada sólo sobre los experimentales de Liu y Jordan, cuyos datos no fueron corregidos por el efecto de la banda sombreadora.

La corrección aplicada puede haber sido insuficiente en días claros ya que, dada su característica geométrica, ignora la zona de radiación más intensa cercana al sol; pero esto no ocurre en días cubiertos. Sin embargo, es justamente en ellos en donde los resultados más se alejan del comportamiento esperado, ya que allí la relación debe aproximarse a la unidad.

Para estimar en forma más precisa la corrección se deben comparar los registros obtenidos con banda sombreadora con los obtenidos con un disco sombreador animado de seguimiento, o con los obtenidos por diferencia entre los datos de radiación global y directa, entre un piranómetro y un pirheliómetro. El tiempo transcurrido desde la obtención de estos datos imposibilita realizar estas experiencias en condiciones similares a las de la medición. Por lo tanto, dada la forma en que se redujeron los datos en el trabajo citado (8) y teniendo en cuenta los resultados de la presente elaboración, se concluye que el error de procesado de los mismos ha sido subestimado y que inválida todo tipo de conclusión deducida en base a ellos.

Con respecto a las correlaciones horarias, se obtuvieron relaciones funcionales numéricas para los promedios de  $I_d/I_0$  en función de  $I/I_0$  para las diferentes alturas solares, pero, dada la dispersión observada, se estima que estos resultados carecen de mayor sentido. Por otra parte, las curvas halladas por Iqbal y por Bugler no coinciden entre sí, como tampoco con las del presente trabajo.

A este respecto, es discutible el criterio de asignar una altura solar nominal a un valor horario determinado ya que el tiempo de "permanencia" del Sol en el rango de  $\pm 1^\circ$  de la altura solar nominal varía desde 10 minutos hasta cerca de una hora para diferentes alturas y épocas del año. Por lo tanto, se considera factible hallar la dependencia funcional planteada, que ya se esboza en la Fig. 7,

pero para ello es necesario realizar mediciones más precisas e integradas durante períodos del orden de los 15 minutos y no de una hora.

## 6. AGRADECIMIENTO

Los autores desean agradecer a la Sra. Susana Gross la colaboración prestada en el procesamiento de los datos de radiación solar.

## 7. REFERENCIAS

- (1) A.K. Angström, Solar and terrestrial radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol.50, 121-126 (1924).
- (2) J.K. Page, The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes  $40^\circ\text{N}$ - $40^\circ\text{S}$ . Proc. UN Conf. on New Sources of Energy (1961).
- (3) B.Y.Liu and R.C.Jordan, The interrelationships and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. Solar Energy, vol.4, 1 (1960).
- (4) R.Bruno, A correction procedure for separating direct and diffuse insolation on a horizontal surface. Solar Energy, vol.20, 97(1978).
- (5) S.A.Klein, Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. Solar Energy, vol.19, 35 (1977).
- (6) D.W.Ruth and R.E.Chant, The relationship of diffuse radiation to total radiation in Canada. Solar Energy, vol.18, 153 (1976).
- (7) M.Collares-Pereira and A.Rabl, The average distribution of solar radiation-Correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. Solar Energy, vol.22, 155 (1979).
- (8) R.Estol, S.Gross, O.Muñoz y A.Rapallini, Elaboración de datos de radiación solar de la zona de San Miguel, Buenos Aires. Actas de la 5ta. Reunión de Trabajo de la ASADES, Córdoba, 469 (1980).
- (9) J.W.Bugler, The determination of hourly insolation on an inclined plane using a diffuse irradiance model based on hourly measured global horizontal insolation. Solar Energy, vol.19, 477 (1977).
- (10) M.Iqbal, Prediction of hourly diffuse solar radiation from measured hourly global radiation on a horizontal surface. Solar Energy, vol.24, 491 (1980).

- (11) A.J.Drummond, On the measurement of sky radiation. Arch.Meteor. Geophys. and Bioklim, vol.7, 413 (1956).
- (12) B.A.Le Baron, W.A.Peterson and I.Dirmhirn, Corrections for diffuse irradiance measured with shadow-bands. Solar Energy, vol. 25, 1 (1980).
- (13) N.K.O.Choudhury, Solar radiation at New Delhi. Solar Energy, vol. 7, 44 (1963).
- (14) G.Stanhill, Diffuse sky and cloud radiation in Israel. Solar Energy, vol.10, 96 (1966).