

ELABORACION DE DATOS DE RADIACION SOLAR DE LA ZONA DE SAN MIGUEL  
PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Raúl Estol, Susana Gross, Oscar Muñoz, Alfredo Rapallini  
Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales  
Departamento de Energía No Convencional  
Av. Mitre 3100 - 1663 San Miguel - Bs. As.

Resumen

Durante los años 1970, 1971, 1972 y 1973, en el Observatorio Nacional de Física Cósmica de San Miguel, actualmente Centro Espacial San Miguel, CNIE, se realizaron mediciones de rutina de radiación solar global, difusa y reflejada. Se utilizaron piranómetros termoeléctricos tipo Moll-Gorzinsky (Kipp & Zonen) y registradores galvanométricos. La lectura de los registros, su reducción, planillado y elaboración parcial fue realizada por personal de la División Energía Solar de la CNIE. En el presente trabajo se describe la forma de presentación de los datos mensuales, horarios y diarios de los tres parámetros citados. También se discuten los métodos de medición y calibración usados y los errores probables en las diferentes series de datos.

SOLAR RADIATION DATA PROCESSING OF SAN MIGUEL - BUENOS AIRES

Abstract

Routine measurements of solar radiation (global, diffuse and reflected) were performed during the years 1970, 1971, 1972 and 1973 at the Observatorio Nacional de Física Cósmica de San Miguel, now Centro Espacial San Miguel - C.N.I.E. Thermoelectric pyranometers of Moll-Gorzinsky type (Kipp & Zonen) and galvanometric strip chart recorders were used. The data reduction and processing was made by members of the Solar Energy Division of C.N.I.E. In the present paper we describe the format chosen to deliver the hourly, daily and monthly data obtained. We also discuss the measurement methods, the procedures used for the calibration of the pyranometers and the probable errors in the different data series.

### Introducción:

El diseño y operación de dispositivos solares requiere el conocimiento de la radiación solar disponible. Según las características del sistema son necesarios los datos medios mensuales, diarios y aún horarios.

En diversas localidades se cuenta solamente con datos meteorológicos *de tipo convencional*; algunas pocas estaciones meteorológicas miden radiación solar global en plano horizontal y casi ninguna mide radiación difusa y/o reflejada.

Por estas razones y por necesidades de trabajo inherentes al grupo, se decidió durante el año 1978 comenzar la elaboración de registros de radiación existentes en el actual Centro Espacial San Miguel (C.N.I.E.) ex-Observatorio Nacional de Física Cósmica de San Miguel.

Estos registros fueron obtenidos por personal del ex-grupo de Radiación Solar y Meteorología (ONFCSM-CNEGH) quienes instalaron toda la estructura de medición.

La ubicación geográfica del Centro Espacial San Miguel es:  
-  $34^{\circ} 33' 20''$  de latitud Sur y  $58^{\circ} 43' 20''$  de longitud Oeste, a unos 30 km al oeste de la ciudad de Buenos Aires.

Es ésta una zona de urbanización baja y desarrollo industrial moderado.

### Descripción del instrumental:

Los piranómetros que se usaron para el registro de la radiación global en plano horizontal, la difusa y la reflejada, fueron del tipo Moll & Gorzinsky ( termopilas) marca Kipp & Zonen.

Fueron montados en los soportes del campo ( fig.1) a dos metros de altura, uno horizontal, otro invertido y otro bajo banda sombreadora ( fig.2).

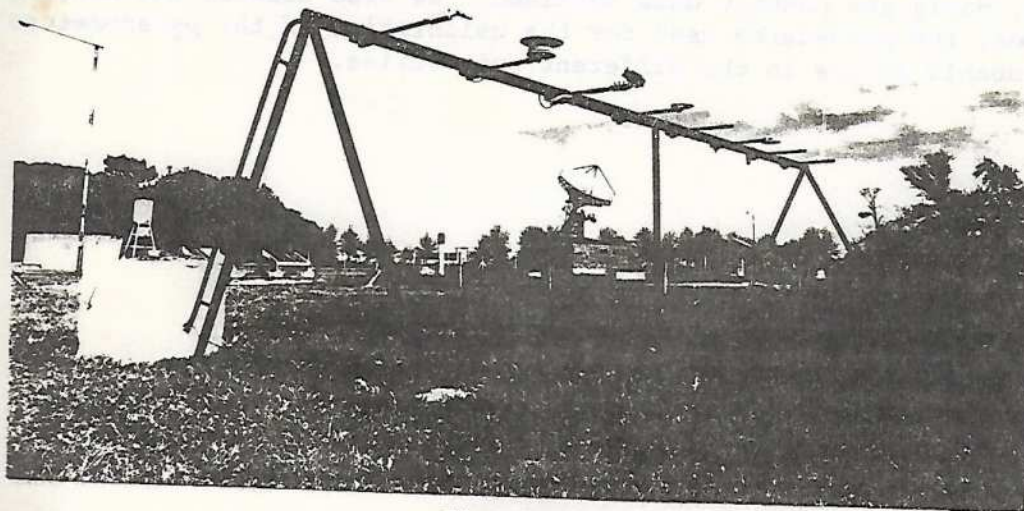


Fig. 1

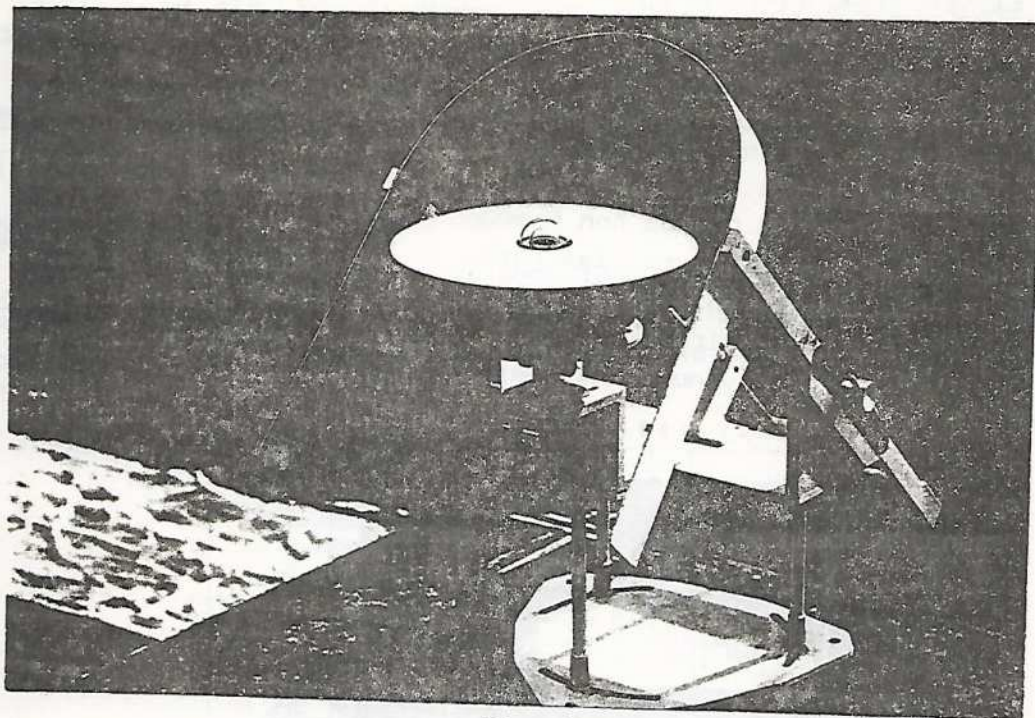


Fig. 2

Fueron calibrados periódicamente por comparación con el pirheliómetro Angström N° 10.313, que a su vez fue contrastado con el Patrón Eppley análogo N° 7.644, usando la unidad de control 3.158.

La constante resultante de este contraste es  $6.97 \pm 0.01 \mu\text{mV/ly/min}$ . Está referido a la escala pirheliométrica internacional (I.P.S.) de 1956. Su unidad de control Eppley N° 400 consta de un miliamperímetro de precisión de cuatro rangos, un detector de cero electrónico y los circuitos necesarios para comparar dos pirheliómetros. Con cielo claro se puede obtener una repetibilidad del 0,1 % ( según certificado de calibración ) ( fig.3 )

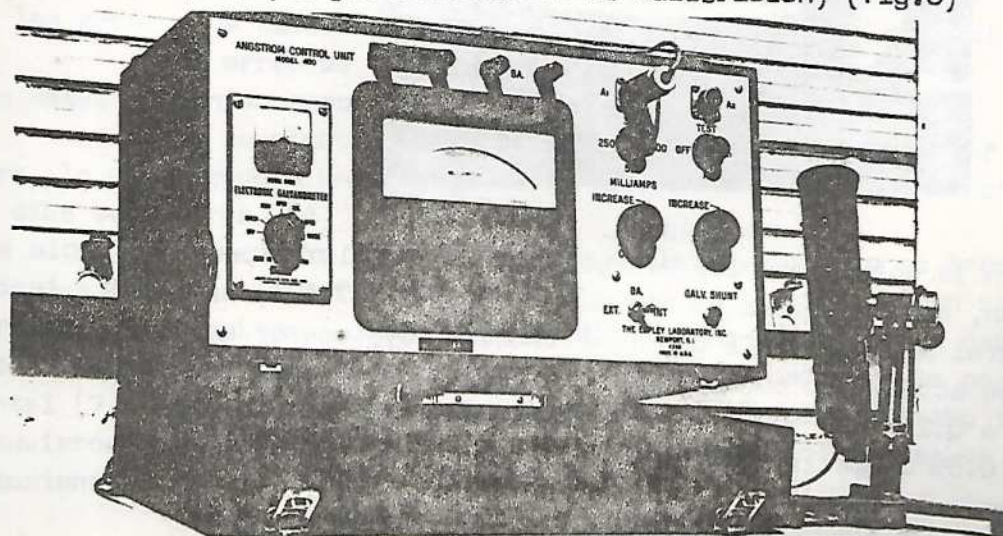


Fig. 3

El método de calibración de los piranómetros fue el recomendado por el IGY (1) ( International Geophysical Year) en " Radiation Instruments and Measurements", es decir, sombreado por disco.

Se procura sombrear el sensor, su cúpula y su base metálica ( para evitar reflexiones) desde una distancia tal que se cubra el mismo ángulo sólido que constituye la abertura del pirheliómetro patrón ( aprox. 5°).

Se opera en días claros con humedad menor que el 70% y alturas solares mayores que 50°. Se prefieren las horas de la mañana por haber menos polución ambiental y mayor estabilidad térmica en la atmósfera.

La salida de los piranómetros se graficó sobre papel en registradores multicanales de tipo galvanométrico marca HSB ( Hartman&Braun, Frankfort Main) (Fig.4).

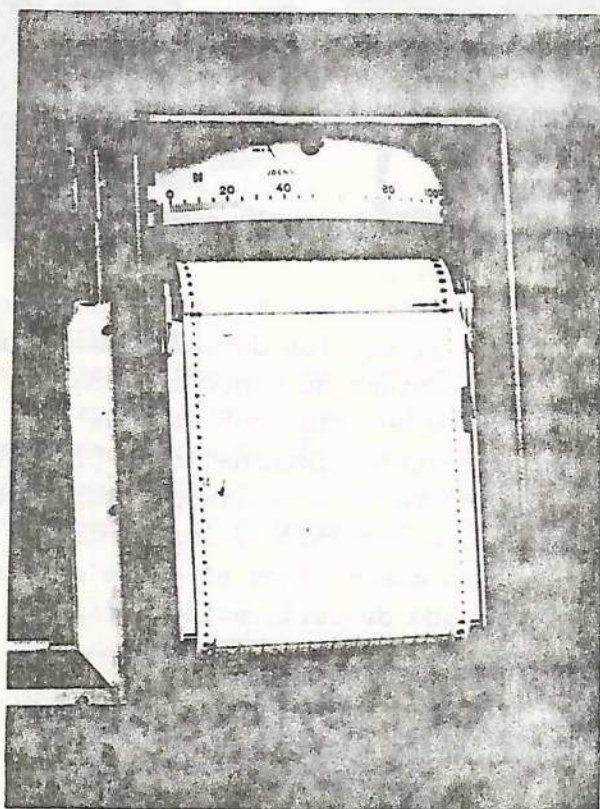


Fig. 4

En la actualidad las calibraciones se realizan por referencia a un nuevo patrón, el radiómetro de cavidad Kendall N° 67.605, asociado a la unidad de control N° 17.610. Es un pirheliómetro cuyo sensor es una cavidad ennegrecida que actúa como cuerpo negro. Algunas de sus características son:

- rango: 0.02 a 0.2  $w/cm^2$
- precisión  $\pm 0.5\%$  de la lectura
- cte. de tiempo: 10 seg
- sensibilidad: mayor que 20 mV por  $w/cm^2$
- ángulo de abertura: 5° (sólido; abertura circular)

La descripción detallada y algunas experiencias hechas con este radiómetro se pueden leer en la bibliografía (12) (13) (14) (15).

En cuanto al Centro de Calibraciones que se tiene en este momento en el Centro Espacial San Miguel y las actividades que en él se desempeñan, ver (10) (12).

#### Elaboración de los datos

Los registros de los años 1970, 1971, 1972 y 1973 fueron leídos hora a hora por el método de la ordenada media horaria.

Se utilizaron reglas compensadoras de la alinealidad del registro. (Fig. 5)

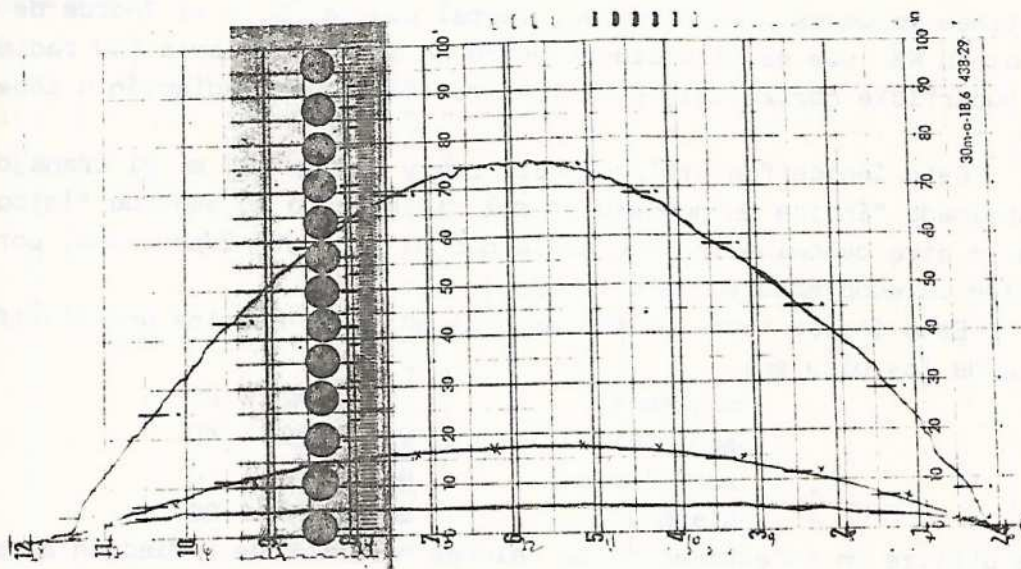


Fig. 5

El procedimiento es tedioso y el volumen de registros de 3.120 curvas, exige que sean leídos por varias personas, esto aumenta la disposición de los errores de estimación de la ordenada. Este es, en promedio del 5%.

El error de calibración de los instrumentos es del 3% con lo cual los datos tienen un error no menor que el 8%.

No se efectuó corrección de los datos de difusa por banda sombreada, lo cual provoca una subvaluación media del 2% (cf. Bibliografía Canadá) en días semiclaros. (4) (8) (9) (1)

Este error es nulo en días nublados. Tampoco se efectuó corrección de los datos de reflejada por variación de la calibración al operar el piranómetro invertido. Los Kipp&Zonen disminuyen su respuesta por efectos térmicos convectivos dentro de la cúpula en un 2% respecto de la posición horizontal (7). Este tipo de calibración se efectúa en banco óptico y cuando se obtuvieron los registros, no se contaba con estas facilidades en San Miguel. Resumiendo:

Los datos de difusa pueden estar subvaluados en un 2% en días semiclaros y ser correctos en días nublados.

Los datos de reflejada pueden estar subvaluados en un 2% en días claros y semiclaros y ser correctos en días nublados.

La magnitud exacta de estas correcciones se estudiará en un futuro trabajo a realizar en el Centro Espacial San Miguel.

### Presentación:

La época en que se tomaron los registros y el instrumental utilizado sugirieron la conveniencia de utilizar un esquema de presentación análogo al del Monthly Radiation Summary de Canadá (2). Este tipo de planilla está constituido como tabla de doble entrada; en la primera columna de la izquierda se lee el ordinal del día; en la primera fila el ordinal de la hora. Las dos últimas columnas presentan la integral diaria (G) y el índice de claridad del cielo K%, que es el cociente entre la integral diaria (de radiación global en superficie horizontal) y la integral diaria de radiación a tope de atmósfera.

Este índice fue utilizado por Liu y Jordán (3) en el trabajo citado y denominado "índice de nubosidad" del cielo, pero su sentido físico se aclara con la otra denominación que es la que el uso está imponiendo, por lo cual, también la adoptamos en este trabajo.

Este índice tiene múltiples aplicaciones. Permite una clasificación simple de los días en:

nublados:	$0 \leq K\% < 20$
seminublados:	$20 \leq K\% < 40$
semiclaros:	$40 \leq K\% < 60$
claros:	$60 \leq K\% < 80$

también se utiliza en la estimación de valores horarios de radiación a partir de los valores diarios y en el cálculo de valores diarios de radiación a partir de datos de heliofanía relativa, nubosidad, etc.

Los valores de radiación total en superficie horizontal a tope de atmósfera se calcularon como es usual:

$$G_0 = \frac{24}{\pi} I_c \left[ 1 + 0.034 \left( \frac{2\pi n}{365} \right) \right] (\cos \vartheta \cos \varphi \operatorname{sen} \omega + \omega_s \operatorname{sen} \vartheta \operatorname{sen} \delta)$$

$$\varphi = 23.45 \operatorname{sen} \left[ 360 \frac{284 + n}{365} \right]$$

$$\omega_s = \arccos (-\operatorname{tg} \vartheta \operatorname{tg} \delta)$$

(Duffie J. et al (16))

El tiempo que se usa en todos los cálculos es el "tiempo solar verdadero", que es el que resulta de corregir la hora oficial del país o región por la longitud geográfica y la ecuación del tiempo (variaciones en la posición del sol debidas a la excentricidad de la órbita terrestre). A cada hora de tiempo le corresponden 15° de longitud geográfica (1).

También se presenta en las planillas la radiación horaria media mensual (al pie de cada columna) lo cual da una idea inmediata del día medio mensual.

Aparecen también otros datos complementarios como son: ubicación geográfica de la estación, tipo de instrumento usado como sensor y leyendas explicativas.

El planillado es realizado por computadora (se utiliza la computadora de mesa HP 9815). La máquina realiza todos los cálculos pertinentes y distribuye los datos de acuerdo a la matriz descripta. (Fig. 6)

LAT 34 33 S  
LON 58 44 W  
ALTURA mm 28

RADIACION SOLAR GLOBAL/INDICADA/PROPORCIONADA en langley a la hora que finaliza  
SAN MIGUEL-ARGENTINA PIRANOMETRO KIPP CN6 MES. Agosto de 1978

DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	SUMA	Kt (%)
1	0	0	0	0	0	0	0	10	27	46	58	69	71	68	42	18	8	1	0	0	0	0	0	0	420	67
2	0	0	0	0	0	0	2	18	36	52	61	71	72	67	56	38	20	2	0	0	0	0	0	0	496	79
3	0	0	0	0	0	0	2	18	36	51	63	68	67	61	51	12	33	2	0	0	0	0	0	0	463	73
4	0	0	0	0	0	0	2	13	25	23	27	37	51	33	28	18	11	2	0	0	0	0	0	0	271	42
5	0	0	0	0	0	0	6	22	42	57	70	77	78	68	58	41	19	2	0	0	0	0	0	0	540	83
6	0	0	0	0	0	0	4	20	42	58	71	79	79	73	61	42	22	3	0	0	0	0	0	0	512	84
7	0	0	0	0	0	0	4	23	34	48	57	70	79	73	47	19	21	3	0	0	0	0	0	0	494	77
8	0	0	0	0	0	0	2	7	14	19	20	25	29	25	27	24	12	2	0	0	0	0	0	0	276	31
9	0	0	0	0	0	0	2	17	37	53	68	75	75	68	50	31	10	2	0	0	0	0	0	0	416	72
10	0	0	0	0	0	0	4	21	52	57	72	71	54	57	49	34	17	2	0	0	0	0	0	0	491	72
11	0	0	0	0	0	0	2	16	37	55	70	76	57	37	22	39	19	4	0	0	0	0	0	0	433	51
12	0	0	0	0	0	0	2	12	24	33	29	32	35	37	51	12	19	2	0	0	0	0	0	0	110	45
13	0	0	0	0	0	0	3	22	42	59	64	71	74	70	55	30	22	5	0	0	0	0	0	0	521	77
14	0	0	0	0	0	0	3	21	42	60	72	80	81	75	67	42	24	3	0	0	0	0	0	0	564	81
15	0	0	0	0	0	0	2	16	33	50	72	72	78	66	56	29	15	2	0	0	0	0	0	0	501	71
16	0	0	0	0	0	0	2	17	37	56	64	76	65	37	34	17	10	2	0	0	0	0	0	0	429	59
17	0	0	0	0	0	0	2	4	16	18	13	10	15	15	11	10	5	1	0	0	0	0	0	0	122	17
18	0	0	0	0	0	0	5	24	42	59	76	81	83	66	36	36	12	9	0	0	0	0	0	0	522	77
19	0	0	0	0	0	0	3	23	45	60	76	86	88	78	61	47	25	7	0	0	0	0	0	0	595	82
20	0	0	0	0	0	0	4	22	45	62	74	81	81	71	51	29	18	5	0	0	0	0	0	0	595	81
21	0	0	0	0	0	0	4	23	46	65	76	81	81	74	62	44	17	5	0	0	0	0	0	0	579	77
22	0	0	0	0	0	0	5	23	42	58	74	79	79	74	62	46	28	8	0	0	0	0	0	0	579	77
23	0	0	0	0	0	0	5	24	44	61	74	81	81	75	64	47	27	8	0	0	0	0	0	0	591	78
24	0	0	0	0	0	0	5	23	42	59	71	78	71	43	17	13	19	7	0	0	0	0	0	0	612	80
25	0	0	0	0	0	0	6	27	46	63	76	83	84	77	65	48	27	9	0	0	0	0	0	0	459	61
26	0	0	0	0	0	0	5	23	42	59	71	78	71	43	17	13	19	7	0	0	0	0	0	0	295	36
27	0	0	0	0	0	0	2	5	17	29	27	31	57	67	37	14	6	2	0	0	0	0	0	0	575	73
28	0	0	0	0	0	0	7	28	51	65	79	84	75	56	47	46	29	9	0	0	0	0	0	0	193	25
29	0	0	0	0	0	0	2	4	11	24	50	42	17	12	10	10	9	2	0	0	0	0	0	0	453	57
30	0	0	0	0	0	0	3	8	21	34	46	67	81	79	60	33	14	6	2	0	0	0	0	0	642	80
31	0	0	0	0	0	0	6	22	45	62	77	86	88	83	69	54	35	14	0	0	0	0	0	0		
TOTAL	0	0	0	0	0	0	101	533	1072	1506	1837	2020	2028	1792	1418	1002	565	134	2	0	0	0	0	0	14010	0
MEDIA	0	0	0	0	0	0	3	18	36	50	61	67	68	60	47	33	19	4	0	0	0	0	0	0	467	

Fig. 6

Se ha utilizado como unidad de medida de radiación el Ly/min, aunque en este momento se recomienda usar el Sistema Internacional de Unidades, los datos de aquellos años están publicados en el viejo sistema ( es decir, usando el Ly/min y la I.P.S. 1956), por lo cual optamos por el mismo sistema a fin de facilitar las comparaciones.

Desarrollos futuros

Con los presentes datos se realizará un estudio de la incidencia real de los errores citados y se adaptarán los métodos de estimación propuestos por Liv, Jordán, Hottell y Williers (3) a nuestra ubicación geográfica.

Se tendrán en cuenta las modificaciones propuestas por diversos autores a los métodos antedichos (Igbal, Klein, Collares-Pereira et al). (8) (9) (6) (5).

Esto apunta a tener un modelo completo de insolación instantánea media para radiación directa y difusa en superficie horizontal a partir del solo dato de la global diaria (horizontal) que es uno de los pocos parámetros

con que se cuenta habitualmente.

#### Nomenclatura:

Go: radiación a tope de atmósfera

G: radiación solar global (total) sobre superficie horizontal, a nivel del mar

Ic: constante solar

n: N° de día del año (1,....., 365)

$\phi$ : Latitud geográfica

L: Longitud geográfica

$\delta$ : declinación (posición angular del sol al mediodía solar, respecto del plano del ecuador. El norte es positivo)

$\omega$ : ángulo horario. Se cuenta a partir del plano meridiano. El mediodía es 0; cada hora equivale a 15° de longitud; las mañanas se consideran positivas, las tardes negativas.

$\omega_s$ : ángulo de salida o puesta del sol

D: radiación solar difusa

I: radiación solar directa (incidencia normal)

#### Bibliografía

- (1) IGY, Radiation Instruments and Measurements. Part VI.
- (2) Monthly Radiation Summary Environment Canada.
- (3) B.H.Y. Liu y R.C. Jordán  
The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total Solar Radiation - Solar Energy 4, 1 (1960).
- (4) D.W. Ruth and R.E. Chant.  
The relation of diffuse radiation to total radiation in Canada. Solar Energy 18, 153 (1976).
- (5) R. Bruno  
A correction procedure for separating direct and diffuse insolation on a horizontal surface. Solar Energy 20, 97 (1978).
- (6) S.A. Klein  
Calculations of monthly average insolation on tilted surfaces. Solar Energy 19, 35 (1977).
- (7) D.J. Morris  
Calibration of pyranometers in inclined and inverted positions. Solar Energy 16, 53 (1974).
- (8) M. Collares -Pereira et al: The average distribution of Solar Radiation... Solar Energy 22(N°2) 105 (1979).
- (9) M. Iqbal  
A study of Canadian diffuse and total Solar Radiation data I y II. Solar Energy 22 (N°1) 1,(1979).
- (10) R.C.Estol, S.G. Gross, I.Renzini



"Calibración de Instrumental de Radiación Solar en la Argentina" - 2º Congreso Latinoamericano de Energía Solar, Joao Pessoa, Brasil, Febrero de 1978.

- (11) R. Estol, H. Grossi  
"Calibración de Instrumental y ensayo de equipos solares en el Observatorio de Física Cósmica de San Miguel; Actas del Seminario de Energía Solar y Eólica - 1978.
- (12) J.M.Kendall y C.M. Berdehl  
Two blackbody Radiometers of High Accuracy  
Applied Optics, vol. 9., p. 1082; 1970
- (13) J.M.Kendall  
Measurements of Stefan-Boltzmann Constant, Gram solar Irradiance and the solar constant made with PACRAD Radiometer.  
California Institute of technologie, Pasadena 1975.
- (14) J,M,Kendall  
Coritz Type absolute Total Radiation Radiometer  
Reprint N° 1, 11-3-66, Instrument Soc. of America.
- (15) J.M.Kendall  
Primary Absolute Cavity Radiometer  
Technical Report 32 - 1395 NASA.
- (16) John A. Duffie - W.A. Beckman  
Solar Energy Thermal Processes  
John Wiley & Sons N.Y.