

# Variables Ambientales para la Aplicación de la Energía Solar en San Luis

A. FASULO, C. ESTEBAN, D. PERELLO Y R. SOLARES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS  
CHACABUCO Y PEDERNERA - (5700) SAN LUIS - Fax: 0652-30224.  
e-mail: solar@unsl.edu.ar

## Resumen

Se determina para San Luis una base de datos para aplicaciones en energía solar. La base está constituida por datos experimentales climáticos, incluyendo la radiación solar global diaria desde 1981 a 1984. Se completaron dos décadas 1970 - 1990 mediante la conversión de la heliofanía en radiación.

Se determinan los grados días de calefacción y enfriamiento para distintas temperaturas base y necesidades.

## Abstract

This work presents a data base for solar energy applications in San Luis City. This base consist of the climatic experimental data, including the daily solar radiation from 1981 to 1984. By means of conversion of the bright sunshine huors into solar radiation, we have extended the base to two decades (from 1970 to 1990).

The degre-day index for heating and cooling are determined for diferents reference temperatures and needs.

## Tratamiento de Datos de Radiación

Una de las variables requeridas en muchas aplicaciones de la energía solar, tales como diseños de edificios, calefacción, refrigeración, etc., es la radiación solar global sobre superficie horizontal. En el Laboratorio de Energía Solar de la U.N.S.L. este dato es obtenido integrando gráficamente los registros de radiación captada por solarímetros.

Existen métodos para calcular rápidamente, en forma teórica, la energía radiante a partir de datos de: fecha, coordenadas y condiciones atmosféricas del lugar. Uno de estos es el de parametrización, donde la transmitancia total de la atmósfera se asume como el producto de las transmitancias de la radiación solar de cada uno de los constituyentes atmosféricos. De los métodos presentados por Iqbal<sup>1</sup> se escogió el Modelo C para analizar su validez y luego aplicarlo a San Luis. Se compararon los valores

calculados con los datos experimentales existentes y se ajustaron los parámetros atmosféricos con los datos registrados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Luego se determinaron los coeficientes de Ångstrom-Page.

Finalmente se completaron 20 años de datos de radiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal convirtiendo los datos de heliofanía, provistos por SMN.

## Elección del Modelo de Parametrización.

Para calcular la transmitancia total de la atmósfera, se integra la transmitancia para cada constituyente atmosférico sobre todo el espectro. Se define entonces la transmitancia de la irradiación normal directa,  $\tau$ , como:

$$\tau = I_n / I_{sc} = \left( \sum I_{on\lambda} \tau_\lambda \Delta\lambda \right) / I_{sc} \quad (1)$$

donde:  $I_n$  es la irradiación normal directa,  $I_{on\lambda}$  es

la irradiación espectral extraterrestre,  $I_{sc}$  es la constante solar ( $1367 \text{ W m}^{-2}$ ).

El último miembro de la ecuación anterior es una función del espesor de la capa de Ozono  $l$ , vapor de agua precipitable  $w$ , coeficientes de Ångstrom: cantidad de aerosoles por unidad de volumen  $\beta$ , tamaño medio de estos  $\alpha$ , y de la masa de aire  $m$ .

Los métodos de parametrización desarrollan expresiones algebraicas aproximadas mediante análisis de regresión que ajustan la ecuación (1), de tal forma que

$$\tau = f(l, w, \beta, \alpha, m) \quad (2)$$

donde  $f$  es la función resultante del ajuste, y depende del método de parametrización elegido.

$I_{qbal}$  presenta los modelos de parametrización A, B y C, los cuales varían en las formas algebraicas que toman para las transmitancias de los componentes individuales.

Bird y Hulstrom<sup>2</sup> discuten y comparan algunas características de los modelos nombrados anteriormente y otros más, se concluye que el Modelo C es el más aproximado. Por lo tanto se escogió este para su aplicación en el presente trabajo.

### Cálculo de la Radiación Global Diaria

Se elaboró un programa de computación que evalúa la intensidad de la irradiación global sobre superficie horizontal  $I$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) a intervalos regulares de tiempo y luego mediante una integración numérica evalúa la radiación global diaria.

Los datos que el programa requiere son: latitud ( $\Phi$ ), altitud ( $z$ ), ángulo de declinación ( $\delta$ ), coeficiente de excentricidad ( $E$ ), exponente ( $\alpha$ ) y coeficiente de turbiedad ( $\beta$ ) de la fórmula de Ångstrom, albedo terrestre ( $\rho$ ), ozono ( $l$ ), humedad media ( $hm$ ) y temperatura media ( $T_m$ )

### Verificación del Modelo de Parametrización

Para analizar la validez del método se

contrastaron datos experimentales con valores calculados. Como datos experimentales de radiación se tomó los registros de la estación San Juan de la Red Solarimétrica<sup>3</sup> por considerarlos muy confiables. Se seleccionó para el 2º semestre de 1984 y 1º semestre de 1985 aquellos días que presentaban un valor de heliofania mayor de 80%.

Para el cálculo teórico los valores de  $\delta$ ,  $E$ ,  $\rho$ ,  $l$ , se extrajeron de tablas de  $I_{qbal}$ . Los datos de  $hm$  y  $T_m$  se obtuvieron del SMN.

Del análisis de los datos obtenidos surge que el coeficiente de correlación entre los datos calculados y experimentales es 0.9889 lo que indica un estrecho acuerdo de la teoría con los hechos experimentales para un valor de  $\beta=0.02$ ,  $\alpha=1$  y  $\rho=0.3$ . Esto sugiere la aplicación con éxito del Modelo C de Parametrización para obtener la radiación total para días claros en la zona de San Luis que posee características algo similares a las de San Juan.

### Ajuste de Parámetros Atmosféricos

De los datos experimentales de radiación que se dispone en el Laboratorio de Energía Solar de la U.N.S.L., se seleccionaron los días claros correspondientes a los años 1981. Para estos se hizo el cálculo teórico variando los parámetros  $\beta$  y  $\rho$ .

Los valores tomados para  $\beta$  fueron: 0.02, 0.05, 0.1 y 0.15. Para  $\rho$  se tomaron los valores: 0.3, 0.2 y 0.15.

De este análisis surge que los parámetros que mejor ajustan son:  $\beta=0.15$  y  $\rho=0.15$

Se tomaron a continuación los días claros del año 1982, haciéndose el cálculo tomando los parámetros seleccionados, observándose un muy buen ajuste con los datos experimentales.

Por lo tanto se asume que para San Luis los valores medios de los parámetros atmosféricos son:  $\alpha=1.3$ ,  $\beta=0.15$ ,  $\rho=0.15$ ,  $l$  el correspondiente al mes según [1], y  $T_m$  y  $hm$  los otorgados por el S.M.N.

## Conversión de Heliofanía a Radiación

Para convertir los datos de heliofanía a radiación se utilizó la correlación de Ångstrom-Page [1]:

$$H / H_o = a + b \cdot Hel \quad (3)$$

donde: H es la radiación diaria global media mensual (horizontal),  $H_o$  idem anterior sin atmósfera, Hel es la heliofanía en fracciones de uno.

De <sup>1</sup> se tiene que  $H_o$  se puede calcular como la radiación sin atmósfera para la declinación característica del mes Hdc. Para los años 1981 a 1984 se dispone de registros de radiación media mensual y de heliofanía, los que se utilizaron, junto con el valor de Hdc, para encontrar los coeficientes de la ecuación (3). El resultado fué:

$$a = 0.24 \quad y \quad b = 0.44. \quad (4)$$

Luego los datos de heliofanía del S.M.N. para los años 1971 hasta 1990, fueron convertidos en radiación. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 1

## Tratamiento de Datos Climáticos

Siguiendo las normas existentes <sup>4,5</sup> se confeccionó una tabla de frecuencias de temperaturas mes a mes, para cada una de las horas registradas por el SMN en las décadas 1971 - 90 y a partir de esta se determinaron los grados días de calefacción y enfriamiento para distintas temperaturas base: 18°C, 10°C, 8°C y 24°C, para aplicar la primera y cuarta a viviendas y la segunda y tercera en invernaderos caleccionados.

Dado que los edificios públicos solo requieren calefacción durante el día, definimos los grados días de calefacción diurna GDCD como la necesidad de calefacción entre las horas en que se usa el edificio. Hemos tomado entre las 8hs y las 20hs. Los GDCD 18 los podemos entonces obtener a partir de la base de datos elaborados.

Para el caso considerado 8hs a 20hs es:

$$GDCD 18^{\circ}C = (1/8) GDC_{8hs} + (1/4) GDC_{14hs} + (1/8) GDC_{20hs} \quad (5)$$

Como se podrá ver en la Tabla 1 este requerimiento es mucho menor que para una vivienda que se ocupa las 24 horas del día, tal como es el caso de oficinas públicas, escuelas, etc.

Para el caso de casas dormitorios definimos los grados días de calefacción nocturna.

$$GDCN18^{\circ}C = 1/8 GDC_{20hs} + 1/4 GDC_{2hs} + 1/4 GDC_{8hs} \quad (6)$$

Con igual criterio podemos definir los grados días de enfriamiento diurno, base 24 °C por:

$$GDED24^{\circ}C = 1/8 GDE24_{8hs} + 1/4 GDE24_{14hs} + 1/8 GDE24_{20hs} \quad (7)$$

## Conclusiones

Se dispone de una base de datos climáticos con radiación solar establecida a partir del registro de datos experimentales y extendida a dos décadas para la Ciudad de San Luis.

## Bibliografía

- 1- M. Iqbal, An Introduction to Solar Radiation, Academic Press, 1983
- 2- Bird y Hulstron, Direct insolation Models, Sol. Energy Eng. 103, 182-192, 1981.
- 3- Red Solarimétrica (San Juan)
- 4- Análisis de datos meteorológicos del Noroeste Argentino y su relación con el uso de sistemas de climatización natural. S.E.D.U.V. - Comunicación personal.
- 5- A. Esteves, Relevamiento y evaluación de los recursos climáticos en la provincia de Mendoza para su utilización en el diseño de construcciones bioclimáticas. Actas 12ª Reunión de ASADES, 391-398, 1987.

**TABLA 1 BASE DE DATOS CLIMATICOS DE SAN LUIS PARA APLICACIONES EN ENERGIA SOLAR**

T: Temperatura media (°C); TminA: Temp. mínima absoluta; TMIN: Temp. mín. media; TmaxA: Temp. máxima abs.; TMAX: Temp. máx. media; HUM%: Humedad media porcentual; HminA: Hum. mín. absoluta; HMIN: Hum. mín. media; HMAX: Hum. máx. media; V: Velocidad media del viento en Km/hr; DIR: Dirección predominante del viento; HEL%: Heliófanía %; H: Radiación solar Global horizontal en valores medios mensuales, extendida a dos décadas (1970-90); GDC18: Grados días de calefacción base 18 C; GDC10: Idem base 10 C; GDC8: Idem base 8 C; GDCD18: Grados días de calef. diurnos base 18 C; GDE24: Grados días de enfr. base 24 C.; GDCD18: Grados día de calef. diurna base 18 C; GDCN18: Grados día de calef. nocturna base 18 C; GDED24: Grados día de enfriamiento diurno base 24 C.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC.	TOT/MED
T	24.40	23.10	20.20	16.30	12.80	09.80	09.30	11.60	14.50	18.70	21.40	23.60	15.82
TminA	8.00	8.50	4.60	-0.40	-3.9	-7.10	-6.30	-3.10	-1.70	1.40	3.50	5.90	-7.10
TmaxA	38.20	38.00	37.20	32.00	28.80	28.80	29.70	29.70	33.60	36.50	38.30	40.50	40.50
TMIN	19.80	18.90	16.50	12.60	9.00	5.60	5.10	7.40	10.30	14.30	16.70	19.00	12.93
TMAX	29.40	28.00	25.50	22.10	19.00	15.90	15.70	17.90	20.30	24.10	26.60	28.60	22.76
HUM%	53.60	56.80	64.10	65.40	64.00	61.60	60.50	52.40	48.80	48.10	47.40	51.40	56.18
HminA	12.00	11.00	13.00	11.00	11.00	11.00	7.00	10.00	12.00	8.00	9.00	8.00	7.00
HMIN	38.90	41.60	46.70	46.20	44.20	43.20	41.80	35.60	34.15	33.90	33.90	37.70	39.82
HMAX	69.00	71.20	78.10	79.30	78.30	75.80	74.90	66.20	61.90	61.90	61.90	66.40	70.41
V	17.50	16.80	15.40	13.90	14.50	14.00	15.40	17.30	19.40	20.70	21.90	19.50	17.19
DIR	SE/N	SE/N	SE/N	SE/N	SE/N	SE/N	SE/N	SE/N	SE/N	SE/N	SE/N	SE/N	SE/N
HEL%	74.60	73.40	67.30	65.40	64.30	64.00	64.50	67.50	67.60	73.20	71.60	72.60	68.83
H	24.60	22.12	17.54	13.57	10.36	8.62	9.40	12.20	15.81	20.52	23.23	24.87	16.90
GDC18	5.40	7.50	30.60	92.1	177	255	276	216	139	61.5	29.00	11.9	1.301
GDC10	-----	-----	-----	9.40	23.20	46.60	74.20	48.00	13.40	-----	-----	-----	-----
GDC8*	-----	-----	-----	4.00	10.00	33.60	45.30	26.80	5.60	-----	-----	-----	-----
GDCD18	1.50	1.80	8.00	32.1	64.4	99.9	109	81.8	48.5	18.40	8.00	3.10	476
GDE24	68.5	43.0	23.5	6.70	1.30	0.30	0.30	1.70	6.30	18.5	37.8	62.4	270
GDCD18	-----	-----	-----	32.1	64.40	99.9	109	81.8	48.5	-----	-----	-----	435
GDCN18	-----	-----	-----	60	113	155	167	134	90.3	-----	-----	-----	720
GDED24	54.8	36.4	21.9	-----	-----	-----	-----	-----	-----	17.00	32.4	49.8	212