

VARIABLES CLIMÁTICAS DE LA REGIÓN CENTRO SUR DE CÓRDOBA ESTADO DE AVANCE

A. Fasulo*, J. Barral #, A. Adaro #, A. Lema #

Universidad Nacional de Río Cuarto - Ruta Nac. 36 km 601 - 5800 - Río Cuarto - Córdoba Tel. FAX 058-623925 E-mail aadaro@unrccc.edu.ar

* Universidad Nacional de San Luis - Chacabuco y Pedernera
5700 - San Luis - FAX 0652-30224

1. RESUMEN

Se presenta un informe de estado de avance de un trabajo que proveerá una base de datos apropiada para el desarrollo de aplicaciones de energía solar en toda la región. En esta primera etapa se trabajó con la ciudad de Río Cuarto.

Se utilizaron datos experimentales de radiación solar. Mediante un método de parametrización se realizaron cálculos teóricos de radiación solar y se corrigieron datos experimentales de radiación. Se determinaron los coeficientes de la ecuación de Angström-Page. Se convirtió la heliofanía media mensual en radiación media mensual para completar dos décadas.

Se calcularon los grados día de calefacción y los grados día de enfriamiento tomándose distintas temperaturas de base y se procesaron datos climatológicos confeccionándose tablas útiles para el diseño.

2. INTRODUCCION

El objetivo primario de este trabajo es desarrollar una base de datos adaptada para aplicaciones de la energía solar en la región centro-sur de la Provincia de Córdoba.

Tomando Río Cuarto como primer punto geográfico a ser analizado nos encontramos con la escasez de datos de radiación solar, sólo se dispone de registros entre 1984 y 1989 provistos por la cátedra de Climatología y Fenología Agrícola de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, acompañados con determinaciones de heliofanía, temperaturas máximas y mínimas y humedad.

Los datos de radiación requieren correcciones crecientes a partir de 1986 debido a la falta de mantenimiento del equipamiento que en su momento fuera provisto y calibrado por la Red Solarimétrica Nacional.

Con el fin de ampliar esta base se decidió trabajar con los datos disponibles de Heliofanía provistos por el S.M.N. y realizar su conversión a Radiación Solar mediante la ecuación de Angström-Page [1], [5].

Se dispone además:

- (a) Radiación solar diaria y Heliofanía desde septiembre de 1984 hasta junio de 1985, provistos por la misma fuente y publicados por la red solarimétrica con pequeñas correcciones [2].
- (b) Heliofanía, temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento (cuatro determinaciones diarias), desde enero de 1971 hasta diciembre de 1990, provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.)

Con los datos disponibles y los procesados se confeccionaron tablas necesarias para el diseño y aplicaciones en la conservación de la energía y aplicaciones solares diversas.

3. DETERMINACIÓN TEÓRICA DE LA RADIACIÓN SOLAR

Para el cálculo de la radiación solar teórica, $H_{teór.}$, se utilizó el método "C" según la clasificación efectuada por Iqbal [3]. Este método se basa, como los otros existentes, en el cálculo de la radiación directa más la difusa para lo cual toma en cuenta los coeficientes de transmitancia a través de: capa de ozono (τ_0), gases uniformemente mezclados (τ_g), vapor de agua presente en la atmósfera (τ_w), aerosoles (τ_a) y dispersión Rayleigh (τ_r).

Para la determinación de la radiación difusa se adoptó un albedo $\rho_g = 0.2$.

Para determinar τ_a el método requiere el conocimiento del tamaño de los aerosoles (coeficiente α) y cantidad de aerosoles (coeficiente β), que normalmente se determinan en forma experimental mediante un espectrómetro dual, formando parte de los datos meteorológicos. Adoptamos, como lo aconseja Iqbal $\alpha = 1.3$ y β lo podríamos determinar en función de la visibilidad.

El procedimiento que se siguió fue: asumiendo que los datos de radiación, $H_{exp.}$, publicados por la Red Solarimétrica Nacional son correctos y como el coeficiente β introduce variaciones en los resultados teóricos, $H_{teór.}$, se procede a calcular series de valores de radiación teórica con distintos valores de β . El valor de β que mejor ajuste a una curva a 45° y ordenada al origen nula entre $H_{exp.}$ vs. $H_{teór.}$ es tomado como valor de β . Para Río Cuarto este valor medio para el periodo de setiembre '84 - junio '85 fue de 0.0791 correspondiente a una visibilidad de 40 km.

La comparación y ajuste se realizó seleccionando días de alta radiación y alta heliofanía, procurando asegurar una jornada sin nubes y garantizar la correlación del cálculo teórico.

La determinación de $H_{teór.}$ se efectuó calculando la intensidad de radiación (I) hora por hora en cada uno de los días seleccionados e integrando luego en el tiempo esos valores a lo largo de cada día a fin de obtener la radiación global diaria. Para ello se diseñó un programa de cálculo mediante PC y se requirió de un utilitario para la integración numérica.

4. CORRECCIÓN DE LOS DATOS DE RADIACIÓN

Observando los datos del periodo posterior a junio de 1985 nos encontramos que los mismos requerían correcciones de magnitud creciente a medida que se avanza en el tiempo (por apartamiento progresivo de la calibración inicial del instrumento utilizado).

Para realizar las correcciones se compararon los datos experimentales de radiación (a razón de no menos de tres por mes) con los teóricos y en función de la tendencia y magnitud de las desviaciones se dividió el período total analizado en subperíodos de similares desviaciones cada uno, adoptándose para cada subperíodo la misma corrección. Para la determinación de la longitud del subperíodo se tomó en cuenta la similitud en la magnitud de la desviación del conjunto respecto a los valores teóricos. Antes de agosto de 1985 se observan datos experimentales por encima de los datos teóricos. Entre agosto y setiembre se considerara que se produce una transición a partir de la cual la tendencia comienza a ser de valores por debajo de los teóricos.

Para los subperíodos resultantes se ajustaron los valores experimentales de modo que minimizaran su desviación respecto de los valores teóricos [4].

Los datos de radiación corregidos se incorporan a las tablas de datos climáticos mensuales determinándose los valores medios mensuales.

5. DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN MEDIA MENSUAL A PARTIR DE LA HELIOFANÍA RELATIVA MEDIA MENSUAL

Los datos de radiación media mensual corregidos, H_{exp} , del período 1985-1990 con los medios mensuales de heliofanía, He , correspondientes son llevados a la ecuación de Angström-Page para determinar sus coeficientes.

$$H_{exp}/H_0 = A + B (He/He_{m\acute{a}x}) \quad (1)$$

Donde $He_{m\acute{a}x}$ es al valor máximo de la heliofanía en el mes y H_0 se determinó calculando la radiación global extraterrestre para el día característico de cada mes, resultando para Río Cuarto:

$$A = 0.28 \quad y \quad B = 0.46$$

Por último se completan las tablas de datos climáticos para el período 1971-1984 incorporando los valores de radiación media mensual obtenidos para los casos en que la heliofanía media mensual está registrada.

6. PROCESAMIENTO DE DATOS CLIMÁTICOS

La información provista por el S.M.N. durante la década 81-90 de la ciudad de Río Cuarto esta compuesta por cuatro datos diarios de Temperatura, Humedad, Dirección y Velocidad del Viento correspondientes a las horas 2:00, 8:00, 14:00 y 20:00, además de los valores de Heliofanía.

Dichos datos fueron procesados para encontrar valores medios mensuales de Temperatura, Humedad y Velocidad del Viento, incluyendo valores máximos y mínimos, absolutos y medios mensuales.

Se cuenta además con datos de Temperaturas Máximas y Mínimas, Heliofanía y Radiación Global provista por la Cátedra de Meteorología de la U.N.R.C., valores que fueron usados conjuntamente a los del S.M.N. para construir Tablas por mes (similares a las publicadas por C.N.I.E.) para el período 70-90. En dichas tablas se encuentran valores diarios y medios mensuales de Radiación Experimental Corregida, Radiación Teórica para algunos días claros seleccionados, Heliofanía, Temperatura Máxima y Mínima, Velocidad del Viento y Humedad Relativa ambiente. La tabla 1 muestra un ejemplo.

7. DETERMINACIÓN DE GRADOS DÍAS DE CALEFACCIÓN Y ENFRIAMIENTO

Los Grados Días de Calefacción (GDC) y Enfriamiento (GDE) indican la necesidad de energía para lograr las condiciones deseadas en un determinado ambiente. Los Grados Días se calculan como la diferencia entre la Temperatura Exterior y la Temperatura que se tome como base por día. La forma de cálculo que se empleó es a partir de las siguientes expresiones[4],[5]:

$$GDC = \sum_{\text{días}} \sum_{\text{horas}} \frac{(T_{base} - T_{ext})}{24} \quad y \quad GDE = \sum_{\text{días}} \sum_{\text{horas}} \frac{(T_{ext} - T_{base})}{24} \quad (3)$$

En nuestro caso sólo se dispone de cuatro valores de Temperaturas por día, por lo que el procedimiento que se usó fue el siguiente: se particionó el intervalo de temperaturas entre

el valor Máximo y el Mínimo en valores enteros y sobre ella se sacó la frecuencia (normalizada), las que fueron multiplicadas por la diferencia de temperatura entre la exterior y la de base, realizando luego la sumatoria de todos los valores para obtener lo GD en forma directa.

En primera instancia se realizó el cálculo de los GDC en forma directa tomando como Tbase a 18°C para los meses invernales, valores éstos que fueron comparados con los calculados por el Método de Erbs [6]. Los resultados se pueden ver en la tabla II, donde además incluimos el cálculo de los GDC para Tbase 10°C y 8°C, útiles para el uso en invernaderos calefaccionados.

8. GRADOS DÍAS DE CALEFACCIÓN DIURNOS (GDCD)

En muchos casos los GDC no son representativos de las necesidades de calefacción tal como ocurre en los edificios públicos usados exclusivamente durante el día como, escuelas, bancos, etc. En los cuales por ejemplo se enciende la calefacción a las 6 de la mañana y se la mantiene hasta las 20 hs. De manera que para tener un valor realista de las necesidades definiremos los grados días de calefacción diurna, GDCD, como la fracción de los GDC tomada en las horas en que la calefacción es usada. Este procedimiento es consistente con el definido por (3) pues:

$$\begin{aligned} \text{GDC} &= \sum_{\text{días}} \sum_{\text{horas}} \frac{(T_b - T_h)}{24} = \sum_{\text{días}} \frac{[4T_b - (T_2 + T_4 + T_{14} + T_{20})]}{4} = \\ &= 1/4 \text{GDC}]_2 + 1/4 \text{GDC}]_8 + 1/4 \text{GDC}]_{14} + 1/4 \text{GDC}]_{20} \end{aligned}$$

dado que sólo se dispone de cuatro datos diarios de temperatura. Donde: GDC]₂ son los grados días calculados tomando la temperatura de la hora 2. En consecuencia se calculan los GDC (directo) para cada una de las horas en las que se disponen datos; cada valor es representativo de un rango de 6 horas, 3 antes y 3 después de la hora tomada. Para el caso planteado de calefacción entre las 6 y las 20 hs, se calculan los GDCD con la expresión (4).

$$\text{GDCD} = 5/24 \text{GDC}]_8 + 6/24 \text{GDC}]_{14} + 3/24 \text{GDC}]_{20} \quad (4)$$

En la Tabla II tenemos calculados lo GDCD base 18°C. Verificando la validez del primer cálculo, en su comparación con el Método de Erbs, se lo adoptó para el cálculo de los GDC tomando como Tbase a 8 y 10°C útiles para el diseño de invernaderos.

Por otra parte la metodología empleada puede ser extendida para el cálculo de los GDC y GDCD para mayores temperaturas.

Se calcularon entonces los GDC para 35,40 y 60°C, válidos para el secado de granos en los meses de verano. Estos valores se obtuvieron en primer término considerando a la instalación como si funcionara las 24 hs, dando por resultado valores muy elevados. Pero si se toman valores diurnos, sólo 6 horas en torno de las 14 hs., período en el cual son altos los valores de radiación y en donde se haría funcionar el secador los valores se reducen notablemente.

También se calculó los GDE para la época de verano con idéntica metodología que en los casos anteriores, tomando con Tbase a 24 y 26 °C, dando por resultado los indicados en la Tabla III

Finalmente los datos estadísticos climáticos se completan con un conjunto de elementos básicos que incluyen todas las variables a tener en cuenta para el diseño de aplicaciones solares. Tabla IV.

9. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los valores obtenidos para los coeficientes de Angström - Page no se apartan significativamente de los valores más frecuentes obtenidos por diversos autores internacionales [7]. Los datos más próximos a Río Cuarto disponibles son los correspondientes a San Luis que son $A=0.24$ y $B=0.44$.

El cálculo teórico de H nos conduce a valores de β bajos, esto da una visibilidad de 40 km para los días claros, la cual es elevada para la zona.

10. CONCLUSIONES

Se dispone de una base de datos apropiada para iniciar aplicaciones de la energía solar en Río Cuarto.

11. REFERENCIAS

- [1] DUFFIE AND BECKMAN "Solar Engineering of Thermal Processes". Ed. John Wiley and Sons, 1991
- [2] Publicación Semestral de la Red Solarimétrica Nacional. 2° Semestre de 1984 - 1° Semestre 1985.
- [3] IQBAL "An Introduction to Solar Radiation". Ed. Academic Press - 1981.
- [4] Análisis de Datos Meteorológicos del Noroeste Argentino y su relación con el uso de sistemas de climatización natural. INENCO - Salta.
- [5] Relevamiento y Evaluación de los Recursos Climáticos en la provincia de Mendoza para su utilización en el diseño de construcciones Bioclimáticas. Estado de Avance. Alfredo Esteves. Acta de la 15° Reunión de Trabajo de Asades 92.
- [6] Degree - Days for Variable base Temperatures. D. G. Erbs, W. A. Beckman and S. A. Klein. Solar Energy Laboratory. University of Wisconsin. Madison
- [7] The Historical Evolution of the Angström - Page Formula and Its Modifications. Review and Bibliography
J. A. Martínez Lozano et Al. Agricultural and Forest Meteorology 33 (1984) 109-128.
- [8] Variables Ambientales para la aplicación de la Energía Solar en San Luis.
A. Fasulo, C. Esteban, D. Perello y R Solares. Comunicación Personal.

12. TABLAS

TABLA I: Octubre de 1988

Día	Radiación Exp. [MJ/m ²] [1]	Radiación Teórica [MJ/m ²]	Heliofanía [%] [1]-[2]	Temp. Máxima [°C] [1]	Temp. Mínima [°C] [1]	Temp. Media [°C] [2]	Vel. de Viento [nudos] [2]	Hum. Rel. [%] [1]-[2]
1	3.70		0	15.4	12.4	13.78	10.5	86.3
2	14.14		56	15.0	7.5	9.95	15.0	76.5
3	23.58	24.83	88	21.2	5.2	13.65	13.5	44.8
4	19.06		90	21.9	9.9	15.53	12.5	37.0
5	21.09		86	26.5	2.5	16.43	4.5	40.0
6	22.27		74	30.0	11.7	20.95	8.5	39.0
7	19.43		71	26.0	12.4	19.55	5.3	52.8
8	14.21		45	22.7	11.1	15.73	4.5	74.3
9	15.59		41	20.4	7.8	14.00	8.5	77.8
10	9.11		24	21.5	8.9	15.90	14.3	80.3
11	23.83	25.71	86	27.6	9.7	20.55	4.5	63.0
12	22.21		84	28.0	11.3	20.60	5.3	58.0
13	22.90		82	29.2	12.0	20.70	17.0	50.0
14	22.16		89	26.6	14.7	19.28	11.0	58.3
15	24.51		79	18.6	2.3	11.93	2.5	45.8
16	23.39		81	24.3	5.6	15.60	7.3	36.5
17	23.88		81	26.2	11.0	18.78	9.8	40.5
18	20.22		68	24.8	14.0	19.20	15.0	37.0
19	22.13		73	22.8	6.2	16.45	8.5	40.8
20	24.66		78	21.8	5.9	13.95	2.5	44.3
21	20.06		58	28.0	11.0	18.90	11.0	52.0
22	14.55		42	23.0	12.9	17.73	6.0	75.5
23	23.49		88	25.2	10.4	19.53	9.0	49.0
24	15.96		55	27.5	14.6	18.33	13.5	62.8
25	27.79		89	18.1	6.6	12.43	6.5	61.0
26	26.46	28.65	91	22.6	3.5	14.58	2.0	42.5
27	25.60		85	31.0	4.9	20.60	6.5	38.0
28	24.10		71	36.6	12.5	25.73	10.3	32.3
29	23.45		75	20.8	13.4	17.15	17.8	36.3
30	25.21		90	21.8	6.4	14.85	7.0	46.3
31	27.00	29.48	93	22.6	4.2	15.70	3.8	42.0
VM *	21.07		71.4	24.1	9.1	17.03	8.8	51.9

* Valores Medios Mensuales

Fuente de datos: [1] U.N.R.C. [2] S.M.N.

Tabla II. Grados Días de Calefacción para los meses invernales.

	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.
GDC 18 Erbs	73.18	167.67	256.43	281.88	220.42	147.42
GDC 18 Directo	78.85	167.20	225.50	247.70	195.1	156.30
GDCD 18	35.77	91.88	113.40	114.32	96.41	43.34
GDC 10 Directo	4.37	23.55	55.70	74.30	51.47	19.87
GDC 8 Directo	1.67	10.32	30.45	42.70	25.87	7.70

Tabla III: Grados días de Calefacción y Enfriamiento para los meses de verano.

	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.
GDC 35	530.82	434.70	381.02	353.42	344.75	459.5
GDC 45	840.50	734.40	690.42	663.00	626.45	769.47
GDC 60	1305.12	1184.40	1155.42	1128.00	1049.45	1234.47
GDC 35*	92.25	65.17	59.92	52.92	52.42	69.92
GDC 45*	169.68	139.60	136.82	130.00	122.62	147.35
GDC 60*	285.92	252.10	253.07	246.25	228.37	263.60
GDE 24	15.02	27.47	44.15	52.17	38.67	22.52
GDC 26	8.50	15.87	25.97	37.67	22.15	12.00

* Valores calculados para un secador que funciona solo 6 horas., en torno de las 14 hs.

Tabla IV: Datos Estadísticos Climáticos

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
TM	23.23	22.4	19.8	16.4	12.8	9.5	8.95	11.18	13.3	17.49	20.14	22.35
STD	4.63	4.72	4.86	4.95	5.1	5	5.12	5.62	5.6	5.35	5.38	4.88
VAR	21.44	22.34	23.62	24.52	26.4	25.5	26.22	31.69	31.7	28.59	29	23.85
TMAM	35.42	34.75	33.13	29.5	26.94	24.01	22.41	28.12	30.92	34.33	35.3	35.98
TMAA	39	37.4	37.4	32.7	31.5	27.5	27.9	34.4	32.4	37	38.5	39.6
TMIM	11.06	9.35	9.35	2.88	-0.6	-3.1	-3.67	-2.49	-0.63	3.01	5.69	10.2
TMIA	7	6.9	6.9	-3.5	-3	-6.2	-7	-4.5	-4	0.4	3	7.2
VELV	4.32	4.45	4.26	4	3.83	3.42	4.58	4.54	5.50	5.55	5.64	5.24
VMAX	32.92	16.97	22.63	15.43	15.43	21.09	22.63	22.63	19.03	19.03	20.57	20.57
DIRV	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
HREL	67.81	69.43	75.08	75.38	71.45	71.5	71.29	63.81	62.4	61.7	64.35	65.62
HREMI	16	21	17	16	14	12	8.91	0	8	8	15	14
He %	65.7	62.2	56.4	56.4	52.8	52.6	48.8	55.8	53.9	55	59	58.3
H	25228	22294	17816	13857	10188	8829	9066	12370	15904	19743	23183	24130

- TM = Temperatura Media [°C] (S.M.N. 81 - 90)
 STD = Desviación Standard de Temperatura (S.M.N. 81 - 90)
 VAR = Varianza de Temperatura (S.M.N. 81 - 90)
 TMAM = Temperatura Máxima Media (U.N.R.C. 84 - 90)
 TMAA = Temperatura Máxima Absoluta (U.N.R.C. 84 - 90)
 TMIM = Temperatura Mínima Media (U.N.R.C. 84 - 90)
 TMIA = Temperatura Mínima Absoluta (U.N.R.C. 84 - 90)
 VELV = Velocidad del Viento Media [m/s] (S.M.N. 81 - 90)
 VELMAX = Velocidad del Viento Máxima [m/s] (S.M.N. 81 - 90)
 DIRV = Dirección del Viento más frecuente (S.M.N. 81 - 90)
 HREL = Humedad Relativa Media [%] (S.M.N. 81 - 90)
 HREMI = Humedad Relativa Mínima [%] (S.M.N. 81 - 90)
 He = Heliofanía Relativa Valor Medio Mensual (U.N.R.C. 83-93)
 H = Radiación Global Media Mensual [KJ/m²]