

ESTIMACION DE LOS PROMEDIOS DIARIOS Y MENSUALES DE LA RADIACION DIFUSA SOBRE UN PLANO HORIZONTAL EN ALAJUELA, COSTA RICA

Jaime Wright Gilmore

Departamento de Física

Universidad Nacional

Heredia, Costa Rica

RESUMEN

La separación de la radiación solar global, en las componentes directa y difusa, sobre una superficie horizontal, es requerida en simulaciones de sistemas solares. Muchos modelos han sido desarrollados para ese propósito. El objetivo de este estudio es establecer, a partir de datos recolectados en Alajuela, Costa Rica, durante el período 1983-1985, correlaciones diarias medias mensuales, entre: (a) la fracción difusa y el índice de claridad; (b) la fracción difusa y la heliofanía relativa; (c) la fracción difusa y el índice de claridad combinado con la heliofanía relativa. Al hacer comparaciones con las ecuaciones comúnmente utilizadas, se encontró que la correlación de Page concuerda bien con los valores diarios medios mensuales de la fracción difusa y el índice de claridad. Se encontró, asimismo, que la correlación más precisa para Alajuela, Costa Rica, es la que une los valores diarios medios mensuales de la fracción difusa y el índice de claridad combinado con la heliofanía relativa.

ABSTRACT

Separating the global solar radiation on a horizontal surface into direct and diffuse components is required in the simulation of solar energy

systems. Many models have been developed for this purpose. The aim of this study is to establish, from the data collected over the period 1983-1985 in Alajuela, Costa Rica, monthly mean daily correlations between: (a) diffuse fraction and clearness index; (b) diffuse fraction and fractional sunshine duration; (c) diffuse fraction and clearness index combined with fractional sunshine duration. Comparison with the most commonly use equation, Page's correlation, gives good agreement for daily monthly average of the relationship between diffuse fraction and clearness index. A correlation connecting monthly mean daily diffuse radiation together with the clearness index and percent possible sunshine is found to be the most accurate one for Alajuela, Costa Rica.

INTRODUCCION

El conocimiento cuantitativo de la radiación solar incidente en superficies inclinadas, es requerido en la mayoría de las aplicaciones de la energía solar. En la ausencia de mediciones de radiación solar en una superficie apropiadamente inclinada, ésta puede ser estimada por uno de varios métodos, los cuales requieren usualmente valores de las componentes directa y difusa de la radiación global en un plano horizontal.

Actualmente la radiación global es medida en la mayoría de las estaciones actinométricas del país; no así la componente difusa. Solamente la Estación Experimental Fabio Baudrit de la Universidad de Costa Rica, en Alajuela, posee datos de este tipo a partir de 1981.

Con el objetivo de obtener información concerniente a la radiación difusa para aplicaciones prácticas en varias localidades, varios modelos teóricos (Barbaro *et al.*, 1979 e Ideriah, 1981) han sido desarrollados para el cálculo de la radiación difusa en función de los constituyentes atmosféricos.

Dichos modelos requieren métodos de cálculo muy complejos. La radiación difusa ha sido correlacionada con parámetros medidos, comúnmente, en las estaciones actinométricas o por cantidades que requieren métodos de cálculos menos rigurosos. Generalmente son utilizados en la literatura dos tipos de correlaciones: (a) La fracción difusa K_d (definida por el cociente entre la radiación difusa y la global) como una función del índice de claridad K_T (definido por el cociente entre la radiación global y la extraterrestre). (b) La fracción difusa K_d como una función de la heliofanía relativa S/S_o (definida por el cociente entre el número de horas de sol reales S y posibles S_o).

Relaciones para la estimación de las componentes directa y difusa de la radiación global diaria media mensual sobre una superficie horizontal, han sido previamente desarrollados por Liu y Jordan (1960), Page (1964), Collares-Pereira y Rabl (1979), e Iqbal (1978).

Con el objeto de establecer relaciones entre la fracción difusa y la heliofanía relativa, varios autores han llevado a cabo estudios similares. Estudios recientes de Sears *et al.* (1981), Iqbal (1979), Benson *et al.* (1984) y Rao *et al.* (1984) han utilizado la heliofanía relativa para estimar la fracción difusa de la radiación global.

El objetivo de la presente investigación, es establecer relaciones para la estimación de la fracción difusa de la radiación solar global, utilizando el índice de claridad y la heliofanía relativa como predictores. Para lograr este propósito, se utilizan datos de radiación global, radiación difusa y horas de brillo solar durante el período 1983-1985 en Alajuela, Costa Rica.

CORRELACIONES PARA LA ESTIMACION DE LOS VALORES DIARIOS MEDIOS MENSUALES DE LA RADIACION DIFUSA EN UN PLANO HORIZONTAL

La utilización del índice de claridad o de la heliofanía relativa para estimar la fracción difusa de la radiación global diaria media mensual sobre una superficie horizontal, provee un método simple para la determinación de las proporciones relativas de la radiación directa y difusa, en una estación donde existen solamente datos de radiación global o de brillo solar.

Se dan tres tipos de estas correlaciones para la estimación de la radiación difusa horizontal. El primero de estos tipos expresa los valores diarios medios mensuales de la fracción difusa, $K_d = H_d/H$, en función de los valores diarios medios mensuales del índice de claridad, $K_T = H/H_o$. Donde H_d , H , y H_o representan respectivamente, los valores diarios medios mensuales de la radiación difusa, global y extraterrestre en un plano horizontal. El segundo tipo expresa la fracción difusa K_d en función de la heliofanía relativa, $F_s = S/S_o$. Donde S y S_o representan, respectivamente, el número de horas de sol reales y posibles. El tercer tipo de estas correlaciones expresa K_d en función K_T combinado con F_s .

Varias correlaciones han sido desarrolladas por muchos investigadores para calcular la componente difusa, y se ha encontrado que los coeficientes de estas correlaciones difieren según el lugar donde se realizaron las observaciones. Ejemplos de algunas correlaciones que se suponen tienen aplicabilidad universal, se darán a continuación.

CORRELACION ENTRE LA FRACCION DIFUSA Y EL INDICE DE CLARIDAD DEL CIELO

El parámetro K_T , usualmente, sirve como un indicador del índice de claridad relativo de la atmósfera, el cual es afectado, principalmente, por la cantidad de polvo atmosférico y por la cantidad de agua precipitable. En un día nuboso, la radiación global recibida es un indicador de la cantidad de nubosidad. Por lo tanto debería ser, además, un indicador de la cantidad de radiación difusa. Para una localidad en particular, el parámetro K_T es un indicador de la claridad del cielo. Correspondientemente, el parámetro K_d es un indicador de la cantidad de radiación difusa.

Método de Liu y Jordan

Una correlación entre H/H_o y H_d/H fue

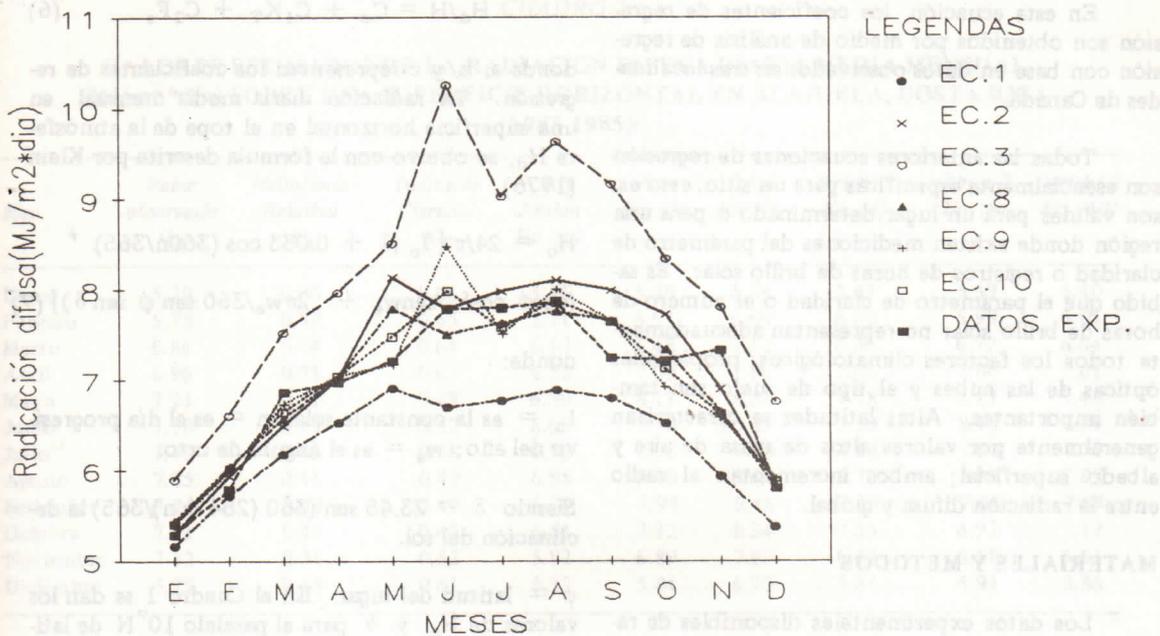


FIGURA 1. Valores experimentales y calculados de la radiación difusa en un plano horizontal en Alajuela, Costa Rica, para el período 1983-1985.

desarrollada previamente por Liu y Jordan (1960); y se expresa algebraicamente como:

$$H_d/H_o = 1.39 - 4.027 K_T + 5.531 K_T^2 - 3.108 K_T^3 \quad (1)$$

donde: $0.3 < K_T < 0.7$

Un aspecto importante de esta aproximación de Liu y Jordan (1960), es que está basada en datos de radiación global de varias estaciones. La radiación difusa, sin embargo, está basada en datos de una sola estación. Por lo tanto, los resultados no llegan a correlación universal. Esto lleva a pensar que correlaciones individuales son necesarias para diferentes climas o regiones geográficas.

Método de Page

Page (1964) propuso desarrollar una correlación basada en análisis de regresión directa, utilizando datos tomados entre las latitudes 40°N y 40°S, y recomendó la siguiente ecuación:

$$H_d/H = 1.00 - 1.13 K_T \quad (2)$$

Correlación de la fracción difusa con la heliofanía relativa

La heliofanía relativa podría utilizarse como un estimador de la fracción difusa. Esto es razonable, porque más del 90 % de la variabilidad en los valores diarios de K_T , se pueden explicar por cambios en la heliofanía relativa (Black et al., 1954; Rao et al., 1983). Por lo tanto, se puede deducir una ventaja con la utilización de la heliofanía relativa en vez del índice de claridad, en lugares donde existe más disponibilidad de datos de brillo solar.

Para cielos completamente cubiertos de nubes, no son significativos los registros de horas de brillo solar; bajo esa condición, toda la radiación recibida en la superficie terrestre será de naturaleza difusa. Por otra parte, para días completamente despejados, es significativo los registros de un número determinado de horas de brillo solar, y la radiación difusa será mínima.

Método de Iqbal

Una correlación lineal fue propuesta por Iqbal (1979), tal que:

$$H_d/H = 0.791 - 0.635^* F_s \quad (3)$$

En esta ecuación, los coeficientes de regresión son obtenidos por medio de análisis de regresión con base en datos observados en tres localidades de Canadá.

Todas las anteriores ecuaciones de regresión son esencialmente específicas para un sitio; esto es, son válidas para un lugar determinado o para una región donde existen mediciones del parámetro de claridad o registros de horas de brillo solar. Es sabido que el parámetro de claridad o el número de horas de brillo solar no representan adecuadamente todos los factores climatológicos; propiedades ópticas de las nubes y el tipo de suelo son también importantes. Altas latitudes se caracterizan generalmente por valores altos de masa de aire y albedo superficial; ambos incrementan el radio entre la radiación difusa y global.

MATERIALES Y METODOS

Los datos experimentales disponibles de radiación global H , difusa H_d y horas de brillo solar S , fueron recolectados por la Universidad de Costa Rica en la Finca Experimental Fabio Baudrit en Alajuela, Costa Rica (latitud 10° , $01'$ N, longitud $83^\circ 15'$ W, altitud 840 metros), durante el período 1983-1985. Son utilizados con el método de los mínimos cuadrados para encontrar los coeficientes de regresión de las siguientes ecuaciones:

$$H_d/H = a_0 + a_1 K_T \quad (4)$$

$$H_d/H = b_0 + b_1 F_s \quad (5)$$

$$H_d/H = C_0 + C_1 K_T + C_2 F_s \quad (6)$$

donde a , b , y c representan los coeficientes de regresión. La radiación diaria media mensual en una superficie horizontal en el tope de la atmósfera H_o , se obtuvo con la fórmula descrita por Klein (1976).

$$H_o = 24/\pi [I_o (1 + 0.033 \cos (360n/365) * (\cos\phi \cos\delta \sin w_e + 2\pi w_e/360 \sin\phi \sin\delta))] \quad (7)$$

donde:

I_o = es la constante solar; n = es el día progresivo del año; w_e = es el ángulo de orto.

Siendo $\delta = 23.45 \sin (360 (284 + n)/365)$ la declinación del sol.

ϕ = latitud del lugar. En el Cuadro 1 se dan los valores de H_o y δ para el paralelo 10° N de latitud.

RESULTADOS

Los valores regionales de los coeficientes de regresión a , b y c , conjuntamente con el coeficiente de correlación (r) de las ecuaciones (4 a 6), se dan a continuación:

$$H_d/H = 0.9081 - 0.9814 * K_T \quad (8)$$

$$r = 0.97$$

CUADRO 1

VALORES MEDIOS MENSUALES RECOMENDADOS POR KLEIN (1976), PARA LA RADIACION DIARIA EN UNA SUPERFICIE HORIZONTAL EN EL TOPE DE LA ATMOSFERA, LATITUD 10° N (CONSTANTE SOLAR $1.94 \text{ cal/cm}^2 * \text{min}$) EN UNIDADES DE $\text{MJ/m}^2 * \text{día}$

Mes	Número de mes	Día del mes	Día del año	Declinación del Sol	Radiación Solar
Enero	1	17	17	-21	31.65
Febrero	2	16	47	-13	34.20
Marzo	3	16	75	-2	36.50
Abril	4	15	105	9	37.47
Mayo	5	15	132	19	37.17
Junio	6	11	162	23	36.59
Julio	7	17	198	21	36.67
Agosto	8	16	228	13	37.09
Setiembre	9	15	258	2	36.67
Octubre	10	15	288	-10	34.70
Noviembre	11	14	318	-19	32.15
Diciembre	12	10	344	-23	30.72

CUADRO 2

VALORES ESTIMADOS DE LA RADIACION DIFUSA DIARIA MEDIA MENSUAL
(MJ/m²*día) SOBRE UNA SUPERFICIE HORIZONTAL EN ALAJUELA, COSTA RICA
(1983-1985)

Mes	Valor observado H _d	Heliofanía Relativa F _s	Índice de Claridad K _T	Liu y Jordan Ec. (1)	Page Ec. (2)	Iqbal Ec. (3)	Wright 1 Ec. (8)	Wright 2 Ec. (9)	Wright 3 Ec. (10)
Enero	5.29	0.80	0.66	5.16	5.29	5.89	5.43	5.39	5.40
Febrero	5.78	0.78	0.65	5.71	5.93	6.60	6.03	5.99	6.01
Marzo	6.86	0.74	0.64	6.17	6.48	7.52	6.56	6.72	6.64
Abril	6.96	0.71	0.62	6.52	7.00	7.96	7.01	7.04	7.03
Mayo	7.21	0.51	0.49	6.90	8.13	8.51	7.78	7.17	7.48
Junio	7.78	0.39	0.52	6.69	7.78	10.25	7.50	8.48	7.99
Julio	7.79	0.43	0.48	6.76	7.98	9.03	7.62	7.52	7.57
Agosto	7.85	0.41	0.49	6.88	8.10	9.63	7.75	7.99	7.87
Setiembre	7.24	0.44	0.49	6.79	7.99	9.16	7.65	7.64	7.64
Octubre	7.21	0.41	0.45	6.51	7.72	8.34	7.33	6.92	7.12
Noviembre	7.32	0.51	0.52	5.92	6.89	7.80	6.64	6.58	6.61
Diciembre	5.79	0.68	0.61	5.37	5.84	6.75	5.81	5.91	5.86

$$H_d/H = 0.6312 - 0.4654 * F \quad (9)$$

$$r = 0,96$$

$$H_d/H = 0.76965 - 0.2327 * F - 0.4907 * K_T \quad (10)$$

$$r = 0.98$$

La ecuación (10) tiene el valor más alto del coeficiente de correlación (0.98). Los coeficientes de regresión de la ecuación (8) son más pequeños que la ecuación (2) de Page. Los coeficientes de regresión de la ecuación (9) son más pequeños que los valores de la ecuación (3) de Iqbal.

La Fig. 1 y el Cuadro 2 presentan los valores estimados y observados de la radiación difusa diaria media mensual sobre un plano horizontal, durante el período 1983-1985 en Alajuela, Costa Rica. En unidades MJ/m²*día. Los valores obtenidos de las ecuaciones (2, 8 a 20) concuerdan bien con los datos experimentales, como se ilustra en la Fig. 1. Siendo la ecuación (10) la más precisa. Los valores experimentales de F son también incluidos en el Cuadro 2.

Los porcentajes de diferencia (e) entre los valores experimentales (H_{de}) y calculados (H_d) de la radiación difusa diaria media mensual, el error de la raíz media cuadrática (RMSE), el error de la desviación media (MBE), el coeficiente de determinación (σ) y el error porcentual medio (MPE) de

las ecuaciones (1 a 3) y (8 a 10), se presentan en el Cuadro 3. Se observa en ese mismo cuadro, que la ecuación (10) presenta los menores valores de RMSE (0.017) y MPE (3.10), y el mayor valor de σ (0.95), como se esperaba.

Los porcentajes de diferencias (e) entre los valores de H_{de} y H_d, presentados en el Cuadro 3, fueron definidos como:

$$e = \left(\frac{H_{de} - H_d}{H_{de}} \right) * 100 \quad (11)$$

El error porcentual medio, demostrado como MPE en el Cuadro 3, fue calculado por la siguiente relación:

$$MPE = \left[\frac{\sum (H_{de} - H_d) * 100}{H_{de}} \right] / N \quad (12)$$

Los signos negativos de los errores individuales no son tomados en cuenta en la sumatoria de la ecuación (12), y todos los errores son sumados mientras se calcula el valor medio.

El error en la raíz media cuadrática (RMSE) fue obtenido de la relación.

$$RMSE = \left[\frac{\sum (H_d - H_{de})^2}{N} \right]^{1/2} \quad (13)$$

CUADRO 3

PORCENTAJE DE DIFERENCIA ENTRE LOS VALORES ESTIMADOS Y OBSERVADOS DE LA RADIACION DIFUSA, Y UNA COMPARACION DEL ERROR DE LA RAIZ MEDIA CUADRATICA (RMSE), EL ERROR DE LA DESVIACION MEDIA (MBE), EL ERROR PORCENTUAL MEDIO (MPE) Y EL COEFICIENTE DE DETERMINACION (σ)

Mes	Liu y Jordan Ec. (1)	Page Ec. (2)	Iqbal Ec. (3)	Wright 1 Ec. (8)	Wright 2 Ec. (9)	Wright 3 Ec. (10)
Enero	- 0.82	1.68	13.20	4.15	3.60	3.85
Febrero	- 1.63	2.11	13.73	3.92	3.15	3.53
Marzo	- 9.15	- 4.55	10.72	- 3.45	1.07	- 2.27
Abril	- 7.11	- 0.20	- 13.38	- 0.12	0.28	0.07
Mayo	- 5.22	11.58	16.79	6.80	- 1.54	2.63
Junio	- 13.53	0.59	32.52	- 2.98	9.67	3.35
Julio	- 13.85	1.69	15.10	- 2.88	4.21	3.54
Agosto	- 11.84	3.79	23.41	- 0.65	2.41	0.88
Setiembre	- 5.22	11.58	27.90	6.80	6.60	6.71
Octubre	- 9.86	6.85	15.36	1.41	4.27	- 1.43
Noviembre	- 19.42	- 6.27	6.17	- 9.60	- 10.49	- 10.04
Diciembre	- 7.69	0.23	15.87	- 0.18	1.55	0.67
RMSE	0.042	0.023	0.072	0.018	0.021	0.017
MBE	- 0.035	0.01	0.064	2.76E-5	4.19E-4	2.23E-4
σ	0.77	0.93	0.53	0.94	0.92	0.95
MPE	8.80	4.30	17.00	3.60	3.80	3.10

y el error en la desviación media (MBE) fue obtenido de la relación:

$$MBE = [\sum (H_d - H_{de})] / N \quad (14)$$

donde H_d y H_{de} representan, respectivamente, los valores estimados y observados de la radiación difusa, N es el número total de observaciones. Cuanto menor sea el RMSE, más precisa es la estimación. Un valor positivo de MBE indica una sobreestimación y uno negativo indica una subestimación.

La precisión de los datos estimados con la ecuación (10) es mayor cuando se compara con las otras ecuaciones. Los valores estimados concuerdan excelentemente con los observados para todos los meses del año en Alajuela. El porcentaje de error de los valores estimados u observados de la radiación difusa se encuentran dentro del rango ± 10 %. Pero en la mayoría de los meses del año el error es mucho menor del ± 10 %. Un estudio comparativo del MPE, MBE RMSE y σ de los seis modelos soportan el anterior argumento. Los va-

lores porcentuales del MPE en la predicción de H_d de las ecuaciones (1) a (3) y (8) a (10) ilustrados en el Cuadro 3, son respectivamente: 8.8, 4.3, 17.0, 3.6, 3.8 y 3.1, correspondiendo a la ecuación (10) el menor valor de MPE (3.1).

Los valores porcentuales del MBE de las ecuaciones (1) a (3) y (8) a (10) para Alajuela, son respectivamente: -3.5, 1.0, 6.4, 2.78E-3, 4.2E-2 y 2.2E-2. La ecuación (1) subestima la radiación difusa, las ecuaciones (2) y (3) sobreestiman la radiación difusa. Las ecuaciones (8 a 10) presentan valores porcentuales del error de la desviación media muy pequeños, por lo que no se puede hablar de una subestimación o de una sobreestimación, ya que los valores porcentuales del MBE tienden prácticamente a cero. Lo cual mejora la precisión de estas tres últimas ecuaciones en la estimación de la radiación difusa en Alajuela.

El valor porcentual del σ de las ecuaciones (2) y (8) a (10), son mayores del 90 %, correspondiendo a la ecuación (10) el mayor valor

(95 %) y a la ecuación (9) el menor valor (92 %). La ecuación (3) presenta el menor valor porcentual de σ (53 %) de todas las ecuaciones analizadas en este estudio.

Los valores porcentuales del RMSE de las ecuaciones (1) a (3) y (8) a (10) son respectivamente: 4.2, 2.3, 7.2, 1.8, 2.1 y 1.7, demostrándose así que el menor error corresponde a la ecuación (10). Esto respalda la superioridad de la ecuación (10) sobre las demás, en la estimación de la radiación difusa diaria media mensual en Alajuela.

En general, existe una buena concordancia entre los datos experimentales y estimados de la radiación difusa. Las ecuaciones de Page (ec. (2)), Wright 1 (ec. (8)), Wright 2 (ec. (9)) y Wright 3 (ec. (10)) dan los mejores resultados. Sin embargo, la precisión de los datos estimados de las ecuaciones de Liu y Jordan (ec. (1)) e Iqbal (ec. (3)) son muy bajas. Esto podría ser debido a las condiciones climáticas del lugar donde se obtuvieron los datos de radiación global, radiación difusa y heliofanía, para derivar los coeficientes de estas ecuaciones, los cuales difieren mucho a las condiciones climáticas de Alajuela.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En lugares que no presentan registros de da-

tos de radiación difusa, existen diferentes formas posibles para la predicción de H_d . Del análisis hecho a las seis correlaciones desarrolladas para la estimación de la radiación difusa diaria mensual sobre una superficie horizontal en Alajuela, se encontró que las correlaciones del tipo $K_d = f(K_T, F_s)$, dan mejores resultados que los obtenidos con correlaciones del tipo $K_d = f(K_T)$ o con correlaciones del tipo $K_d = f(F_s)$. La ecuación (10) de la forma:

$$H_d/H = 0.76965 - 0.4907 * K_T - 0.2327 * F_s$$

se recomienda para el cálculo de la radiación difusa en Alajuela con un porcentaje de error no mayor del ± 10 por ciento.

Las relaciones empíricas entre los valores diarios medios mensuales de H_d y F_s obtenida en este trabajo, se comparan con las de otros autores. La correlación de Page da los mejores resultados en el RMSE y en la MBE.

Para concluir, parece ser más ventajoso tener dos variables en la ecuación estimadora de la radiación difusa en lugar de una, para mejorar así la precisión de los datos estimados. Esto es importante, cuando se desarrollan correlaciones en lugares con diferentes condiciones climáticas en Costa Rica.

28 de julio de 1989.

INTRODUCCION

La tecnología para convertir productos líquidos derivados de residuos de utilidad ha crecido y diversificado enormemente en los últimos años, debido a la abundancia, bajo costo, naturaleza renovable de los recursos biomásicos así como al alto de los productos derivados del petróleo. De los otros componentes de los residuos - lignina, betula celulosa y celulosa - el componente más importante usado es este último.

La lignina, con un alto valor porcentual, es subutilizada a pesar de que puede ser usada en industrias de plásticos y otros materiales sintéticos. Los productos de lignina pueden ser obtenidos por reacciones como eductores, reactivos secundarios, reactivos de condensación y polímeros (Hayes, 1987). Este producto importante de las plantas de lignina es el constituyente principalmente por sus propiedades físicas y químicas para la mayor parte del con-

LITERATURA CITADA

- Barbaro, S., S. Coppolino, C. Leone y E. Sinagra. 1979. An atmospheric model for computing direct and diffuse solar radiation. *Solar Energy* 22(3): 225-228.
- Benson, R.B., M.V. Paris, J.E. Sherry, y C.G. Justus. 1984. Estimation of daily and monthly direct, diffuse and global solar radiation from sunshine duration measurements. *Solar Energy* 32 (4): 523-535.
- Black, J.N., C.W. Bonython, y J.A. Prescott. 1954. Solar radiation and duration of sunshine. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* 80. 231.
- Collares-Pereira, M. y A. Rabl. 1979. The average distribution of solar radiation-correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Solar Energy* 22, 155.
- Ideriah, F.J.K. 1981. A model for calculating direct and diffuse solar radiation. *Solar Energy* 26 (5): 447-452.
- Iqbal, M. 1978. A study of Canadian diffuse and total solar radiation data. Part I. Monthly average daily horizontal surface. *Solar Energy* (20 (1): 101-105.
- Iqbal, M. 1979. Correlations of average, diffuse, and beam radiation with hours of bright sunshine. *Solar Energy* 23 (2): 169-173.
- Klein, S.A. 1976. Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. *Solar Energy*, 19, 325.
- Liu, B.Y.H., y R.C. Jordan. 1960. The interrelationship and characteristics distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy* 4 (3): 1-19.
- Page, J.K. 1964. 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. Conference on New Sources of Energy. Paper S98, Vol. 4, 378-390.*
- Rao Nagaraja, C. R. y W.A. Bradley. 1983. Estimation of the daily global solar radiation at Corvallis; Oregon (USA), from the hours of bright sunshine, the daily temperature range and relative humidity. *J. Climatology*, 3, 179.
- Rao Nagaraja, C.R., W.A. Bradley, y Tae Young Lee. 1984. The diffuse component of the daily global solar radiation at Corvallis, Oregon (USA). *Solar Energy* 32 (5): 637-641.
- Sears, R.D., R.G. Flocchini, y J.L. Hatfield. 1981. Correlation of total, diffuse and direct solar radiation with percentage of possible for Davis, California. *Solar Energy* 27: 357.