

RADIACIÓN SOLAR DIARIA PROMEDIO MENSUAL SOBRE SUPERFICIES INCLINADAS CALCULADA CON MODELOS ISOTRÓPICOS Y ANISOTRÓPICO

Enrique D. Albizzati

Facultad de Ingeniería Química – Universidad Nacional del Litoral
Santiago del Estero 2654 - 3000 - Santa Fe - Argentina
Fax: (0342) 4571162-Email: albizzati@fiquis.unl.edu.ar

RESUMEN. Se calcula la radiación solar total sobre superficies inclinadas que miran al norte en la ciudad de Santa Fe, como promedio diario para cada mes. Se usan datos de la radiación horizontal y tres modelos: Isotrópico, Klein-Theilacker, y Herzog. Con el modelo de Herzog se predice el máximo absoluto de la radiación anual con un ángulo cercano a 30° (27,5°). Empleando el mismo modelo, entre 0° y 65°, la radiación es muy próxima a la máxima calculada con los restantes modelos. Para las superficies a 30° todos los modelos predicen una marcada diferencia entre los valores de los meses de verano e invierno. Para 60°, Herzog predice una distribución más regular de la radiación en el transcurso de los meses, sin disminuir sustancialmente la cantidad recibida en todo el año. Para dicho ángulo los otros modelos predicen una radiación anual mucho menor y fuertes diferencias entre verano e invierno.

PALABRAS CLAVE: solar, radiación, modelos, anisotropico, colectores.

INTRODUCCIÓN

La cuantificación de la radiación solar incidente sobre superficies inclinadas es importante en Ingeniería para el diseño de sistemas colectores de energía solar, por ejemplo en calentadores de fluidos, secaderos de productos, destiladores de aguas y fotorreactores. Muchos métodos aplicados frecuentemente para el cálculo y el diseño, no requieren de información detallada sobre la radiación solar incidente en las superficies de los colectores, sino que es suficiente disponer de valores promedio diario para cada mes del año, en el lugar de localización de las instalaciones solares. Entre los métodos más tradicionales cabe destacar el conocido f-chart (Beckman et al., 1977), el SRL (solar load ratio) debido a Balcomb y McFarland (1978), y aquellos basados en la utilizabilidad de la energía solar (Collares-Pereira y Rabl, 1979; Klein, 1978).

La radiación total diaria promedio mensual que alcanza la superficie inclinada (H_T) es la suma de la radiación directa, la radiación recibida desde el cielo, y la radiación reflejada por el suelo, que rodea la superficie. H_T se formula como el producto entre la radiación global diaria promedio mensual sobre el plano horizontal (H) y un factor a determinar (R):

$$H_T = R H \quad (1)$$

Para hallar R , el modelo Isotrópico debido a Liu-Jordan (1963) para superficies mirando al ecuador, y extendido por Klein (1977) para otras superficies, considera que la radiación desde el cielo y la reflejada por el suelo son isotrópicas. La hipótesis de isotropía da lugar a la obtención de valores por debajo de los reales para superficies orientadas al ecuador (Klein y Theilacker, 1981).

Hay (1979) ha desarrollado un modelo en el cual la radiación recibida desde el cielo es anisotrópica, ya que tiene una componente circumsolar además de la componente isotrópica. El modelo de Hay mantiene la forma de calcular la radiación difusa y la reflejada propuesta por Liu-Jordan.

Modos alternativos de estimar la componente directa de la radiación, que tienden a corregir las deficiencias del modelo de Liu-Jordan, se deben a Page (1961) y a Klein y Theilacker (1981). El primero presenta una serie limitada de tablas para realizar el cálculo, mientras que Klein y Theilacker desarrollaron el modelo integrando datos de la radiación solar durante el día, disponibles durante varios años, y luego los procesaron para hallar un promedio mensual.

El modelo de Herzog (1985), considera la radiación recibida desde cielo con sus múltiples componentes. La radiación es la suma de una componente circumsolar, la debida al brillo de horizonte y la componente isotrópica antes referida. Herzog corrigió el modelo de Klein y Theilacker con datos experimentales, para tener en cuenta la anisotropía en la componente difusa de la radiación solar recibida desde el cielo, incluyendo un factor de anisotropía promedio diario en cada mes. La determinación del factor fue realizada haciendo uso de valores de la radiación horaria sobre planos inclinados correspondientes a veinte localidades de los Estados Unidos, que están comprendidas aproximadamente entre 29° y 43° de latitud.

En este trabajo se calcula la radiación solar total recibida sobre superficies inclinadas en la ciudad de Santa Fe, en forma de promedio diario para cada mes del año. Las superficies se consideran orientadas hacia el norte geográfico, y con ángulos de inclinación respecto al plano horizontal, que varían entre 0° y 90°.

Para realizar el cálculo se parte de datos de la radiación global diaria promedio mensual medidos en el plano horizontal durante diez años, y luego con una correlación se calcula la componente difusa de esta radiación. En la computación de la radiación sobre las superficies inclinadas se usan tres modelos: modelo Isotrópico (IS), modelo de Klein-Theilacker (KT), y modelo de Herzog (HA), y los valores obtenidos con cada uno de ellos se emplean para hallar la radiación incidente en la superficies durante todo el año.

Luego se analizan y comparan los resultados de la radiación total anual y de la radiación total mensual estimados con los tres modelos, determinándose en primer lugar los ángulos de inclinación en los cuales se recibe la cantidad máxima de radiación en todo el año. También se estudia la distribución de los valores de la radiación en cada mes cuando las superficies receptoras se posicionan con inclinaciones iguales a 30° y 60°. Finalmente para las dos inclinaciones previamente fijadas, se calculan los cocientes entre la radiación total sobre la superficies y la radiación global horizontal.

RADIACIÓN SOLAR SOBRE PLANO HORIZONTAL

La computación de la radiación solar diaria promedio recibida en cada mes sobre las superficies inclinadas se realizó utilizando los valores de la radiación global medidos en la ciudad Santa Fe, con un piranómetro fotovoltaico, en el período comprendido entre los días 1 de marzo de 1982 y 28 de febrero de 1992 (Albizzati, 1997; Albizzati et al., 1997). A partir de los valores medidos de la radiación diaria promedio (H), se halla la componente difusa (H_d) mediante la expresión correlacionada por Page (1961):

$$H_d / H = 1,00 - 1,13K_T \quad (2)$$

En la ecuación (2), el índice de claridad de la atmósfera (K_T) es el cociente entre la radiación solar global medida en el plano horizontal y la radiación extraterrestre en el plano horizontal. Esta última se calcula con una expresión que depende de la constante solar (1,367 kW / m²), el día promedio representativo del mes según el criterio de Klein, la latitud correspondiente a la ciudad de Santa Fe, la declinación solar y el ángulo horario de la puesta del sol (Duffie y Beckman, 1991).

En la Tabla 1 se muestran la radiación solar global medida, el índice de claridad de la atmósfera, la radiación difusa, y la relación entre la radiación directa (H_D) y la radiación global en cada mes del año, todos los valores sobre el plano horizontal.

| MES | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| H (MJ/m ²) | 22,88 | 19,61 | 16,49 | 12,77 | 9,53 | 7,30 | 8,08 | 10,44 | 14,10 | 17,73 | 21,09 | 22,10 |
| K _T | 0,531 | 0,499 | 0,491 | 0,483 | 0,465 | 0,411 | 0,428 | 0,441 | 0,462 | 0,477 | 0,503 | 0,503 |
| H _d (MJ/m ²) | 9,15 | 8,55 | 7,34 | 5,80 | 4,52 | 3,91 | 4,17 | 5,24 | 6,74 | 8,17 | 9,10 | 9,54 |
| H _D / H | 0,600 | 0,564 | 0,555 | 0,546 | 0,526 | 0,464 | 0,484 | 0,498 | 0,522 | 0,539 | 0,569 | 0,568 |

Tabla 1. Radiación solar diaria promedio sobre el plano horizontal en cada mes del año.

La radiación solar global en el plano horizontal posee un valor máximo de 22,88 MJ/m² en enero, 16,49 MJ/m² en marzo, 7,30 MJ/m² en junio y 14,10 MJ/m² en setiembre. En lo que respecta al índice de claridad de la atmósfera, varía entre 0,531 y 0,411, el valor mínimo corresponde a junio y el máximo al mes de enero. Aunque no se aprecia un marcado contraste, este índice es mayor entre octubre y marzo, en relación con los meses más fríos, desde el mes de mayo hasta setiembre.

La radiación solar difusa posee un valor mínimo de 3,91 MJ/m² en julio y un valor máximo de 9,54 MJ/m² en diciembre. El cociente entre la radiación solar directa y la radiación solar global también presenta los mayores valores en los meses cálidos. El valor máximo de dicho cociente se observa en enero, mientras que el mínimo pertenece al mes de junio, siendo dichos valores 0,600 y 0,464 respectivamente. La radiación solar directa tiene el valor pico (13,73 MJ/m²) en el mes de enero, disminuye hasta 3,39 MJ/m² en junio, 7,36 MJ/m² en setiembre y 9,15 MJ/m² en marzo. En los meses de junio, julio y agosto los valores de la radiación directa son inferiores a los de la radiación difusa (H_D / H < 0,50)

RADIACIÓN SOLAR SOBRE SUPERFICIES INCLINADAS

Para hallar la radiación solar total promedio diaria en cada mes sobre superficies inclinadas mirando al norte en la ciudad de Santa Fe, se usan los modelos Isotrópico (IS), de Klein-Theilacker (KT), y de Herzog (HA). La radiación total que alcanza la superficie inclinada (H_T) es la suma de la radiación directa, la radiación recibida desde el cielo, y la radiación reflejada por el suelo.

En el modelo IS, propuesto por Liu-Jordan, la superficie recibe desde el cielo radiación difusa e isotrópica. La superficie inclinada un ángulo β respecto del plano horizontal tiene un factor de visión del cielo igual a (1 + cos β)/2, y el factor de

visión del suelo es $(1 - \cos \beta)/2$. Si ρ es la fracción de la radiación solar que es reflejada en forma difusa por el suelo, entonces la expresión de R es:

$$R = [(1 - H_d / H)] R_b + (H_d / H) [(1 + \cos \beta)/2] + \rho [(1 - \cos \beta)/2] \quad (3)$$

En la ecuación (3), R_b es la relación entre la radiación solar directa en el plano inclinado y la radiación solar directa en el plano horizontal, y se calcula teniendo en cuenta la declinación solar, la latitud, la inclinación de la superficie y el ángulo horario de la puesta del sol en el día promedio representativo del mes (Duffie y Beckman, 1991).

Otro modelo empleado para hallar la radiación solar sobre las superficies inclinadas es el KT. La expresión para calcular R se diferencia de la propuesta para el modelo IS en el cálculo del primer término:

$$R = D + (H_d / H) [(1 + \cos \beta)/2] + \rho [(1 - \cos \beta)/2] \quad (4)$$

En la ecuación (4), D depende de la relación entre la radiación difusa y la global, ambas en el plano horizontal. Además el valor de D, para superficies mirando al norte, se determina con la declinación solar, la latitud, la inclinación de la superficie y el ángulo horario de la puesta del sol en el día promedio ya citado.

El tercer modelo es el anisotrópico HA en el que la radiación recibida desde cielo es la suma de las componentes circumsolar, la debida al brillo de horizonte y la isotrópica antes referida para los modelos IS y KT. Entonces resulta:

$$R = D + (H_d / H) [(1 + \cos \beta)/2] (1 + A) + \rho [(1 - \cos \beta)/2] \quad (5)$$

En el modelo HA representado en la ecuación (5), A es el factor de corrección de la radiación del cielo por anisotropía, siendo una función empírica de D, la latitud y la inclinación de la superficie.

Finalmente, se puede calcular la radiación solar incidente en todo el año, con los valores de la radiación solar promedio diaria en cada mes sobre las superficies inclinadas que se obtuvieron con los modelos IS, KT y HA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La radiación solar anual incidente sobre superficies planas mirando al norte en función del ángulo de inclinación, en la ciudad de Santa Fe, está graficada en las Figura 1. Se muestran los resultados del modelo IS, el modelo KT, y el modelo HA. En todos los casos se empleó una reflectancia del suelo igual a 0,20 para determinar la radiación reflejada sobre las superficies.

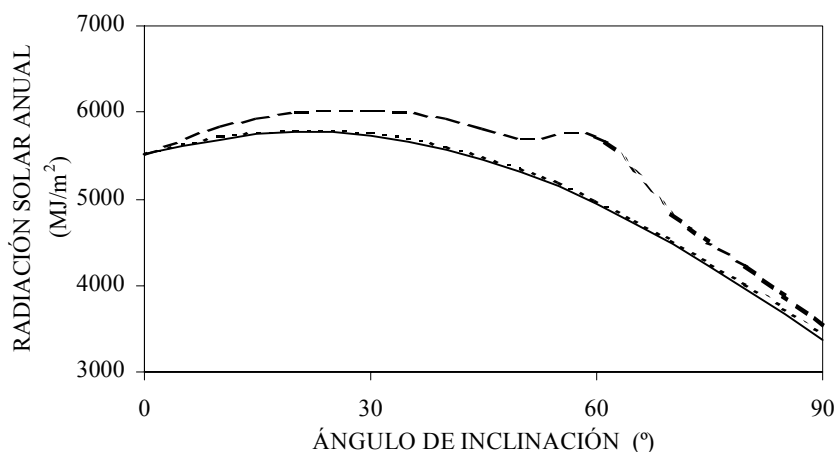


Figura 1. Radiación solar anual sobre las superficies inclinadas entre 0° y 90°, calculada con modelo IS (-----), modelo KT (————), y modelo HA (— · — ·).

Como se visualiza en la figura referida, a igual ángulo de inclinación el modelo HA predice mayores valores de la radiación total anual. Asimismo se observan pocas diferencias entre los resultados de los modelos IS y KT, aunque el primero predice siempre valores de la radiación anual algo superiores.

Con respecto al modelo HA, las predicciones de la radiación anual incidente indican que el valor máximo absoluto se alcanza con un ángulo de inclinación cercano a 30° (27,5°), y que en el rango comprendido entre 0° y 65° la radiación predicha supera o es muy próxima a la máxima estimada con los otros dos modelos. También se observa que la curva de radiación presenta para el modelo HA, un máximo relativo en 57,0° (próximo a 60°), e inflexiones en valores cercanos a 50° y 70°.

Los modelos IS y KT presentan un valor máximo absoluto de la radiación anual en $22,0^\circ$ (IS) y $21,7^\circ$ (KT), y a diferencia de lo calculado con el modelo HA, los valores de la radiación anual decrecen luego de superados los respectivos máximos.

Según los resultados de la radiación solar en todo el año, el rango de interés para el posicionamiento de las superficies receptoras de la radiación está entre 10° y 60° . Para ángulos de inclinación entre 10° y 50° , todos los modelos predicen una tendencia similar en las distribución de la radiación total a lo largo del año. La radiación mensual decrece continuamente desde los primeros meses del año hasta el invierno, y luego esta tendencia se invierte al transcurrir el año. En cambio para ángulos mayores a 50° el modelo HA predice una diferente distribución de la radiación solar a lo largo del año, si comparamos sus resultados con los de los otros modelos.

En la Figuras 2 y 3 se representa la radiación solar para superficies con 30° y 60° de inclinación respectivamente, determinada con los modelos IS, KT y HA.

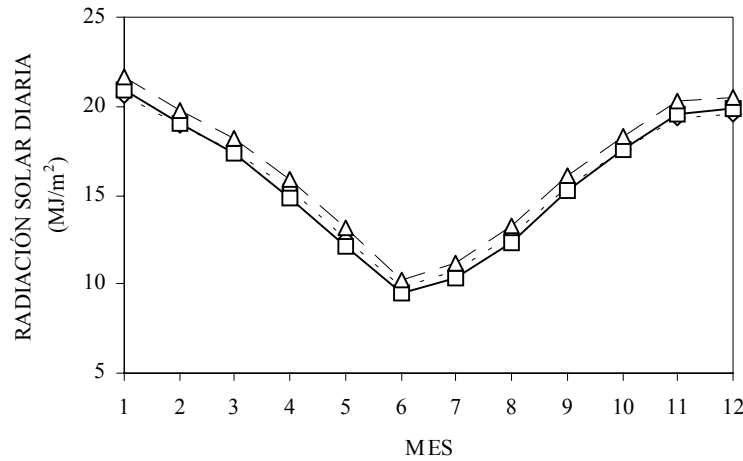


Figura 2. Radiación solar diaria promedio en cada mes sobre la superficie inclinada a 30° , calculada con modelo IS (-----), modelo KT (————), y modelo HA (-·-·-·).

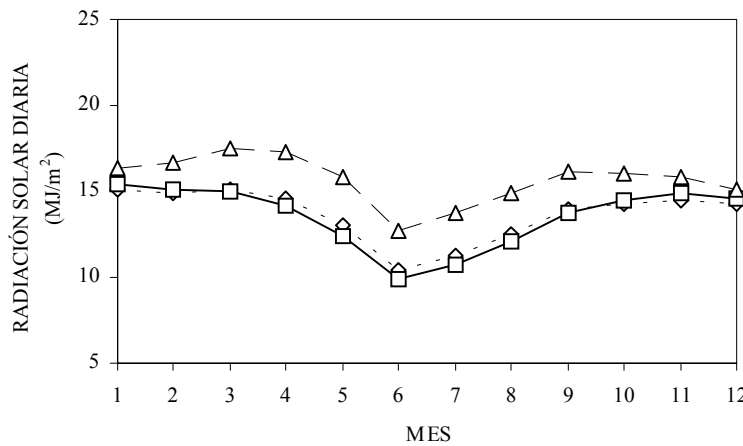


Figura 3. Radiación solar diaria promedio en cada mes sobre la superficie inclinada a 60° , calculada con modelo IS (-----), modelo KT (————), y modelo HA (-·-·-·).

Para 30° de inclinación los tres modelos predicen una marcada diferencia entre los altos valores correspondientes a meses de verano y los bajos valores del invierno. Para 60° sólo el modelo HA predice una distribución más regular de la radiación en el transcurso de los meses, sin disminuir sustancialmente la cantidad recibida en todo el año, al comparar la radiación recibida con la superficie a 30° . Se observa que la radiación calculada con el modelo HA crece luego del solsticio de verano, alcanzando un máximo durante el mes de marzo. En los meses siguientes se produce la típica disminución invernal, y luego de un crecimiento en el inicio de la primavera nuevamente la radiación decrece a partir de octubre.

Con los valores de la radiación en cada mes del año mostrados en las Figuras 2 y 3, se elaboran las Tablas 2 y 3, donde se cuantifica cómo se distribuyen en cuatro rangos preestablecidos, dichos valores de la radiación sobre las superficies inclinadas a 30° y 60° respectivamente.

| MODELO SOLAR | RADIACIÓN PROMEDIO DIARIA | | | |
|--------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| | < 12 MJ/m ² | 12-16 MJ/m ² | 16-20 MJ/m ² | > 20 MJ/m ² |
| IS | 2 | 4 | 5 | 1 |
| KT | 2 | 4 | 5 | 1 |
| HA | 2 | 3 | 4 | 3 |

Tabla 2. Distribución de la radiación solar total sobre la superficie inclinada a 30°.

| MODELO SOLAR | RADIACIÓN PROMEDIO DIARIA | | | |
|--------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| | < 12 MJ/m ² | 12-16 MJ/m ² | 16-20 MJ/m ² | > 20 MJ/m ² |
| IS | 2 | 10 | 0 | 0 |
| KT | 2 | 10 | 0 | 0 |
| HA | 0 | 6 | 6 | 0 |

Tabla 3. Distribución de la radiación solar total sobre la superficie inclinada a 60°.

En las tablas se verifica la mayor dispersión existente en los valores de la radiación cuando el ángulo de inclinación es 30°. En el caso en que la inclinación es 60° se observa una mayor concentración de valores, en particular entre 12 y 16 MJ/m², y no aparecen valores de radiación superiores a 20 MJ/m² obtenidos con los modelos de cálculo.

Otro aspecto de interés resulta mostrar las relaciones obtenidas entre la radiación total sobre las superficies inclinadas a 30° y 60°, y la radiación global sobre el plano horizontal (Tablas 4 y 5).

| MODELO SOLAR | MES DEL AÑO | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| IS | 0,899 | 0,963 | 1,056 | 1,200 | 1,316 | 1,345 | 1,326 | 1,217 | 1,094 | 0,989 | 0,917 | 0,886 |
| KT | 0,912 | 0,968 | 1,050 | 1,162 | 1,274 | 1,296 | 1,283 | 1,186 | 1,081 | 0,992 | 0,928 | 0,901 |
| HA | 0,945 | 1,009 | 1,106 | 1,242 | 1,378 | 1,403 | 1,387 | 1,268 | 1,141 | 1,034 | 0,961 | 0,928 |

Tabla 4. Cociente entre la radiación total sobre la superficie inclinada a 30° y la radiación global horizontal.

| MODELO SOLAR | MES DEL AÑO | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| IS | 0,660 | 0,762 | 0,916 | 1,143 | 1,368 | 1,429 | 1,393 | 1,201 | 0,987 | 0,806 | 0,689 | 0,644 |
| KT | 0,676 | 0,773 | 0,912 | 1,109 | 1,306 | 1,351 | 1,325 | 1,156 | 0,972 | 0,815 | 0,705 | 0,661 |
| HA | 0,715 | 0,850 | 1,058 | 1,357 | 1,660 | 1,745 | 1,699 | 1,432 | 1,146 | 0,908 | 0,749 | 0,684 |

Tabla 5. Cociente entre la radiación total sobre la superficie inclinada a 60° y la radiación global horizontal.

Como se ve en las tablas, el cociente entre la radiación total sobre las superficies inclinadas y la radiación global horizontal es menor que la unidad en muchos meses de primavera y verano. El cociente no supera dicho límite en un período que es más extenso para los modelos IS y KT, que para el modelo HA. Este último predice el cociente menor a uno solo entre los meses de noviembre y enero para 30°, y entre octubre y febrero para 60° de inclinación.

Por otra parte la radiación solar sobre la superficie inclinada supera a la radiación global horizontal en algunos meses de verano, en otoño e invierno. El modelo HA predice el máximo valor del cociente entre la radiación total sobre la superficie y la radiación global horizontal para el mes de junio y para la superficie a 60° (1,745). Con los restantes modelos se obtienen siempre valores inferiores del cociente y, para 30° y 60° de inclinación, los resultados del modelo IS son mayores a los del modelo KT entre marzo y setiembre.

CONCLUSIONES

Se ha calculado la radiación solar total incidente sobre superficies orientadas hacia el norte geográfico, con ángulos de inclinación respecto al plano horizontal que varían entre 0° y 90°. Los cálculos fueron realizados para la ciudad de Santa Fe, en forma de promedio diario para cada mes del año.

Para realizar el cálculo se parte de datos de la radiación global medidos en el plano horizontal, y luego con una correlación se halla la componente difusa de dicha radiación. La radiación total sobre las superficies inclinadas se calcula usando los modelos Isotrópico (IS), Klein-Theilacker (KT), y Herzog (HA), en la determinación de la radiación difusa recibida desde el cielo.

La computación de la radiación sobre las superficies inclinadas con el modelo HA predice mayores valores de la radiación solar en todo el año. Asimismo se observan pocas diferencias en los valores de esta radiación entre los resultados de los modelos IS y KT, aunque el primero predice siempre valores algo superiores.

Los cálculos de la radiación anual indican que el máximo absoluto se alcanza con modelo HA y con un ángulo de inclinación cercano a 30° (27,5°). En las posiciones comprendidas entre 0° y 65° la radiación estimada con dicho modelo, supera o es muy próxima a la máxima determinada con los otros dos modelos, observándose un máximo relativo en 57,0° (próximo a 60°). En relación con la distribución de la radiación a lo largo del año, para las superficies posicionadas a 30° todos los modelos predicen una marcada diferencia entre los valores correspondientes a los meses de verano e invierno. Para 60° de inclinación, sólo el modelo HA predice una distribución más regular, sin disminuir sustancialmente la cantidad recibida en todo el año si se la compara con la recibida por la superficie a 30°, encontrándose el máximo en el mes de marzo.

El cociente entre la radiación total sobre las superficies inclinadas a 30° y 60°, y la radiación global horizontal, es menor que la unidad en muchos meses de primavera y verano. No supera dicho valor en un período que es más extenso para los modelos IS y KT, que para el modelo HA. Asimismo la radiación solar sobre las superficies inclinadas supera a la radiación global horizontal en algunos meses de verano, en otoño e invierno. Según el modelo HA el citado cociente es menor que uno para 30° y 60°, entre noviembre y enero, y entre octubre y febrero, respectivamente.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece a la Universidad Nacional del Litoral (Proyecto 12/I123- Programación CAI+D 96) por el apoyo recibido para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Albizzati E. (1997), Evaluación de la radiación solar incidente sobre la región centro-litoral de la República Argentina, Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional del Litoral, Argentina.
- Albizzati E., Rossetti G., y Alfano O. (1997), Measurements and predictions of solar radiation incident on horizontal surfaces at Santa Fe, Argentina (31°39'S, 60°43'W), *Renewable Energy*, 11, 4, 469.
- Balcomb J.D. y McFarland R.D. (1978), A simple empirical method for estimating the performance of a passive solar heating building of the thermal storage wall type, Proc. 2nd. National Passive Solar Conf., Philadelphia, U.S.A., Mar.16-18.
- Beckman W.A., Klein S.A. y Duffie J. A. (1977), *Solar heating design*, Wiley Interscience, New York, U.S.A.
- Collares-Pereira M. y Rabl A. (1979), Procedure for predicting performance of solar collectors, *Solar Energy*, 23, 235.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991), *Solar engineering of thermal processes*, 2nd Ed., J. Wiley and Sons, New York, U.S.A.
- Hay J.E. (1979), Calculation of the monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces, *Solar Energy*, 23, 301.
- Herzog M.E. (1985), M. S. Thesis, Estimation of hourly and monthly average daily insolation on tilted surfaces, Trinity University, U.S.A.
- Klein S.A. (1977), Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces, *Solar Energy*, 19, 325.
- Klein S.A. (1978), Calculation of flat-plate collector utilizability, *Solar Energy*, 21, 393.
- Klein S.A., Theilacker J.C. (1981), An algorithm for calculating monthly average radiation on inclined surfaces, *Trans. ASME, J. Solar Energy Engrg.*, 103, 29.
- Liu B.Y.H. y Jordan R.C. (1963), The long-term average performance of flat-plate solar energy collectors, *Solar Energy*, 7, 53.
- Page J.K. (1961), 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. Conf. on New Sources of Energy, paper N°S98, Vol. 4, p. 378.

ABSTRACT. Starting from measurements of global solar radiation on horizontal plane for Santa Fe city, the monthly average of total solar radiation is calculated for north facing tilted surfaces. The total radiation is computed by means of three models: Isotropic, Klein and Theilacker and Herzog. Using Herzog model the absolute maximum annual radiation is found for a surface tilted next to 30° (27,5°). With the same model and for a surface between 0° and 65° the annual radiation is next to the maximum predicted with the other models. For a surface tilt 30° models predict great differences between summer and winter. For 60° tilt, a more regular contribution throughout the year is predicted with the HA model, without a considerable decrease in the annual radiation; the other models predict a far less annual radiation, as well as strong differences between summer and winter.

KEYWORDS: solar, radiation, models, anisotropic, collectors.