

# PROPUESTA DE UN METODO DE CALCULO DE LA RADIACION SOLAR PARA SU UTILIZACION EN EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS TERMOMECANICOS

J.R. Fucaraccio  
Depto. Construcciones INTI

## 1.0 INTRODUCCION

Las temperaturas y cargas térmicas que se alcanzan en los edificios sometidos a los condicionantes del medio ambiente externo dependen en gran medida de los aportes de energía que proporciona la radiación solar. El dimensionamiento correcto de sistemas termomecánicos de acondicionamiento ambiental, requiere de un conocimiento lo más exacto posible de todos los aportes de energía al edificio, ya sea a través de la envolvente del mismo, como así también de los aportes internos; no siendo así, se corre el riesgo de sobredimensionar los equipos con el consiguiente encarecimiento en los costos de instalación y de operación, como así también de un innecesario desperdicio energético. El propósito de este trabajo (que es complementario de otro donde se formulan los días típicos de diseño para las condiciones psicrométricas del aire exterior, en situaciones de verano e invierno para algunas localidades de nuestro país) es brindar una herramienta de cálculo de la radiación solar a los proyectistas de aire acondicionado y calefacción, a aquellos que deseen incurrir en las aplicaciones de la energía solar (viviendas y edificios). Se preparó un programa de computadora que calcula, según los métodos conocidos (ref. 1 y 2), la posición del sol, hora por hora, la radiación directa, difusa, reflejada y total que incide sobre el plano horizontal y los planos verticales orientados en los ocho rumbos. Una modificación simple del programa como listado se puede solicitar al

autor, permite extender el cálculo a superficies que formen un cierto ángulo con el plano horizontal. También se muestra una salida del programa para la localidad de Buenos Aires. El programa permite calcular los "Factores de ganancia solar" (directa y total), es decir, la radiación que penetra a un recinto a través de un cerramiento transparente que posea un vidrio normalizado de 3 mm de espesor cuyo coeficiente de sombra es igual a la unidad (ref. 2). Este trabajo fue financiado parcialmente con aportes de la Secretaría de Vivienda dentro del programa de Normas Mínimas de Habitabilidad, del Programa Especial de Investigación en Viviendas de la O.E.A. y del C.E.R.I.T. (Comité de Estudios de reglamentaciones para instalaciones termomecánicas) quienes a través de la Orden de Trabajo Nro. 37124/82 encomendaron a INTI la formulación de especificaciones sobre las condiciones de diseño orientadas a establecer un método de cálculo de balances térmicos de edificios. Por último, cabe destacar que este trabajo no hubiera sido posible sin la invaluable colaboración de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (ref. 3) quienes proporcionaron datos elaborados de la Red Solarimétrica, para comprobar las hipótesis de "cielo claro".

## 2.0 METODOLOGIA DE CALCULO E HIPOTESIS BASICAS

La relación de Angstrom permite calcular la radiación solar media mensual (sobre plano horizontal), o del día promedio de mes, cuando se conoce la heliofanía relativa promedio mensual y la radiación

solar sobre el mismo plano en el tope de la atmósfera; este último valor se obtiene por cálculo.  $K_t = H/H_0 = a + b \cdot Hr$  (1) relación de Angstrom donde:  $K_t$ : índice de claridad atmosférica;  $H$ : radiación solar media mensual diaria sobre plano horizontal;  $H_0$ : radiación solar media mensual diaria en el tope de la atmósfera sobre el plano horizontal;  $Hr$ : Heliofanía relativa media expresada como el cociente entre las horas de sol efectivas y el máximo posible para un día promedio del mes.  $a$  y  $b$ : constantes que dependen de la localidad y que se obtienen efectuando correlaciones entre  $K_t$  y  $Hr$  en base a mediciones que se llevan a cabo durante periodos de tiempo no inferiores a diez años. En nuestro país, si bien no siempre se dispone de datos suficientes en todas las localidades, se han llevado a cabo diferentes trabajos destinados a encontrar los coeficientes "a" y "b" (Ref. 4, 5, y 6). Desde el punto de vista del balance térmico de un edificio, se supone que la condición de carga térmica máxima (situación de verano) se dará cuando el día típico de diseño sea un día de cielo claro por lo que bastará con encontrar la suma de los coeficientes  $a+b$ . Trabajando con un método de la CNIE (Ref. 3) sobre la base de los datos de la Red Solarimétrica se analizaron unas 15 localidades a lo largo de todo el territorio nacional. Se encontró que dentro de un error no superior al 15 %, se podía tomar para días de cielo claro un  $K_t = 0.74$  en aquellas localidades cuya altitud sea inferior a los 1000 metros. Para el resto y las ciudades de Mendoza y San Juan se podía tomar un  $K_t = 0.83$ . Esto confirmaría las hipótesis de Crivelli-Pedresal (Ref. 6) y de Rapallini (Ref. 4) quien trabajó con datos de San Miguel. Crivelli-Pedresal  $Altura < 1000 \text{ m } K_t = 0.19 + 0.55 \cdot Hr$   $Altura > 1000 \text{ m } K_t = 0.32 + 0.57 \cdot Hr$  (2)  
 Rapallini Período 1979-1980  $K_t = 0.18 + 0.58 \cdot Hr$  Período 1979-1982  $K_t = 0.20 + 0.54 \cdot Hr$  (3)  
 La última expresión de Rapallini coincide

prácticamente con la de Crivelli-Pedresal; por lo que cualquiera de ellas sería válida de utilizar para días de alta heliofanía en cualquier lugar del país y a los fines exclusivos del cálculo de los balances térmicos para instalaciones de aire acondicionado. Otras aplicaciones de la energía solar requerirán análisis más detallados utilizando datos del lugar. Aunque los datos disponibles para la localidad de Abra Pampa (3484 m de altura) son escasos, cabe hacer la aclaración de que los días de cielo claro ajustan muy bien con  $K_t = 0.83$ ; la fórmula de Crivelli recomienda utilizar  $K_t = 0.89$ . En resumen, a los fines expuestos en este trabajo y en aras de la simplicidad se recomiendan utilizar las relaciones de Crivelli y Pedresal para obtener  $K_t$  cuando se conoce la heliofanía relativa. De este último parámetro, dada la sencillez experimental de su obtención, existen datos de muchos lugares del país (Ref. 7). A medida que se vayan obteniendo más datos se podrán ir ajustando los coeficientes  $a$  y  $b$  para todas las estaciones de la Red Solarimétrica. Una vez obtenida la radiación solar total diaria sobre el plano horizontal se presenta el problema de proyectarla sobre el plano vertical descomponiéndola a su vez en valores horarios de aquel día del mes cuya radiación es el promedio mensual de todos los días. Para ello se siguió la metodología tradicional que se encuentra en las referencias 1 y 2, el esquema de cálculo es el siguiente: a) Datos que se suministran al programa:  
 - Latitud y longitud del lugar  
 - Día del año (1 a 365) - Valor de  $K_t$  b) Algoritmo de cálculo  
 - Cálculo de la posición del sol (altura y azimuth) Esto realizado incluyendo las correcciones por ecuación del tiempo y se efectúa en hora civil del lugar. - Cálculo de la componente difusa total diaria sobre plano horizontal según la correlación de Collares-Pereyra y Rabl (Ref. 1, 4 y 8). - Cálculo de la radiación solar total horaria en función de la radiación solar total diaria sobre plano horizontal;

según las expresiones de

Collares-Pereira y Rabl.  
-Cálculo de la fracción horaria  
que es difusa sobre plano horizontal  
utilizando la correlación dada por  
Liu y Jordan (Ref. 9). -Cálculo  
de los coeficientes geométricos para  
"levantar" la radiación horaria  
sobre plano vertical, teniendo en  
cuenta la reflexión del terreno (se  
supuso un coeficiente de reflexión  
igual a 0.3) -Cálculo de los  
factores de ganancia solar total  
horaria y directa (FGSOL y FGDIR).

### 3.0 CONCLUSIONES

Este programa está orientado a  
satisfacer las necesidades de los  
proyectistas de aire acondicionado y  
calefacción. Desde el punto de vista  
de los nombrados (CERIT), se pretende  
proponer una recomendación para que  
se utilice el método en los cálculos  
de balances térmicos y de esa forma  
hacer que los resultados puedan ser  
comparables. Las correlaciones  
utilizadas en el programa para  
encontrar el porcentaje de difusa y  
el reparto horario de la radiación,  
fueron obtenidas merced a análisis  
realizadas con datos de los Estados  
Unidos por no disponer de datos  
locales sino obstante, las mismas son  
internacionalmente aceptadas por la  
'comunidad solar'. Dado que los  
costos más importantes de las  
instalaciones termomecánicas  
(iniciales y operativas) son los de  
aire acondicionado, se requiere  
mayor precisión en el cálculo de la  
carga térmica de verano;  
afortunadamente, es en la situación  
de cielo claro (escasa radiación  
difusa) donde este método simple  
tiene mayor exactitud. No obstante,  
si se desea calcular la radiación  
solar para días intermedios de  
valores de  $K_t$  distintos a los de  
cielo claro, también se puede  
recurrir a este programa. En ese  
caso se deben tener en cuenta las  
limitaciones propias de las  
correlaciones que fueron utilizadas  
y que con los datos de la Red  
solamente se analizaron las  
situaciones de cielo claro. Cuando  
se dispongan de mejores datos se  
podrá hacer un estudio más detallado  
de los coeficientes 'a' y 'b' de la

relación de Anstrom, como así  
también de la probabilidad de  
ocurrencia de un día con un dado  
 $K_t$  tal como ya se dispone para las  
temperaturas de bulbo seco y bulbo  
húmedo de los días típicos de  
diseño. En el boletín de la Red  
Solarimétrica correspondiente al  
primer semestre de 1983, se muestra  
un tratamiento estadístico de los  
datos lo cual mejora la información  
que se disponía hasta el momento.

### 4.0 REFERENCIAS

1. -J.A. DUFFIE Y W.A. BECKMAN:  
"Solar Engineering of Thermal  
Processes" John Wiley 1980.
2. -ASHRAE: "Handbook of  
Fundamentals" Ed. 1981.
3. -R. LOPARDO Y H. GROSSI  
GALLEGOS: "Comunicación privada  
de la Red solarimétrica.  
Comisión Nacional de  
Investigaciones  
Espaciales. (1984)
4. -A.T. RAPALLINI: "Cálculo del  
Área de colectores solares  
planos para instalaciones de  
agua caliente". Red  
Solarimétrica, 2do. Semestre  
1982. (CNIE).
5. -M.C. de KURLAT y R. FERNANDEZ:  
"Radiación solar Global en la  
Argentina". Acta Scientifica  
Nro. 19. (1970)
6. -E. CRIVELLI y M.A. PEDREGAL:  
"Cartas de Radiación solar  
global de la Republica  
Argentina". Meteorologica, Vol.  
III, Nro. 1, 2, 3, 80 (1972).
7. -SERVICIO METEOROLÓGICO  
NACIONAL: "Estadística  
Climatológica 1961-1970" Serie  
B, Nro. 35. (1981)
8. -COLLARES-PEREIRA, M Y A.  
RABL: "The average distribution  
of solar radiation-correlations  
between diffuse and  
hemispherical and between daily  
and hourly insolation  
values". Solar Energy, 22, 155  
(1979).
9. -D.Y.H. LIU Y R.C. JORDAN ;  
"The interrelationship and  
characteristic Distribution of  
Direct, Diffuse and Total Solar  
Radiation". Solar Energy, 4(3)  
(1960).
10. -D.J. VILD : "Solar heat gain  
factors and shading  
coefficients". A.S.H.R.A.E.  
Journal, oct. 1964, p. 47.
11. -I.I. YELLOTT ; "Shading  
coefficients and sun control  
capability of single glazing".  
A.S.H.R.A.E. Trans. Vol  
72, Part I, 1966, p. 72.