

# CALCULO DE IRRADIACION DE PLANOS Y VENTANAS POR CIELOS DE DIVERSA TURBIDEZ, MEDIANTE ORDENADOR

Juan Carlos Rall \*

## Resumen

El programa que se presenta fue concebido para ser utilizado como auxiliar en diseños de arquitectura. Permite evaluar, para cualquier latitud, la captación de radiaciones de onda corta producidas por sol y cielos de diversos grados de turbidez, en planos de posición cualquiera y ventanas con orientación distinta, que pueden estar protegidas por parasoles de variados tipos. En la idea de facilitar el acercamiento a esta herramienta, se eligió un ordenador pequeño y el lenguaje BASIC para posibilitar cómodas modificaciones.

## INTRODUCCION

La necesidad de estimar el comportamiento térmico de un edificio durante la etapa proyectual y poder comparar distintas soluciones, estimulan permanentemente a la creación y desarrollo de instrumentos de ayuda que, sin perder el mínimo de rigor que en estos temas se exige, sean a la vez de fácil acceso y rapidez de operación.

Este programa trata de responder a esa inquietud. Constituye la primera parte de un paquete más completo -en etapa de ajuste- que incluye los restantes parámetros que caracterizan a los materiales a emplear en la futura obra y a los aportes y pérdidas a que la misma estará sometida.

## EL MODELO ELEGIDO

El modelo analítico adoptado<sup>(1)</sup> nos da la radiación solar instantánea para tres tipos de cielo (azul limpio, industrial e intermedio), mediante el siguiente algoritmo:

$$E_s = ESN (\cos i + k_1 \cos i + k_2 \cos h \cos a \sin b + k_3 C)$$

donde  $E_s$  es el valor instantáneo de la irradiación por sol y cielo sobre un plano que forma un ángulo  $b$  con la horizontal.

\* Investigador del Consejo de Investigaciones de la UNR

CENTRO DE ESTUDIOS BIOAMBIENTALES (CEB)

Facultad de Arquitectura (UNR) / Riobamba 250 bis - 2000 ROSARIO

Por su parte  $ESN = K \tau^{\operatorname{cosec} h}$  es el valor instantáneo de la irradiación por sol sobre un plano normal a sus rayos;

$h$ : es la altura del sol (entre  $10^\circ$  y  $90^\circ$ );

$\tau$ : la transmitancia atmosférica;

$K$ : el valor de la constante solar "corregida" para poder considerar  $\tau$  invariable en el entorno fijado a la altura  $h$ ;

$i$ : el ángulo de incidencia de los rayos sobre el plano considerado;

$a$ : el valor absoluto de la diferencia acimutal entre éste y el sol;

$k_n$ : son factores que permiten tratar por separado distintas características de la bóveda celeste: su emitancia pareja ( $ESN k_3$ ); la aureola que rodea al astro cuando aumenta la turbidez atmosférica ( $ESN k_1 \cos i$ ); y la "zona brillante del horizonte" ( $ESN k_2 \cos h \sin b$ ); siendo estas dos últimas, aproximaciones a la irradiación irregular del cielo real;

$C$ : es el factor angular del cielo visible.

La estructura utilizada permite reunir tres modelos concretos formulados con anterioridad. La propuesta para cielo azul limpio (a), se basa en mediciones efectuadas por la American Society of Heating and Air Conditioning Engineers (actualmente ASHRAE) en días en que la radiación directa alcanzara valores casi coincidentes con los obtenidos según el conocido modelo de Moon. También para su descripción de un cielo industrial (b), adopta la que propone la misma entidad. Finalmente, para el tercer tipo (c), traduce numéricamente al cielo de turbidez intermedia que en forma gráfica presentara el Centre Scientifique et Technique du Batiment.

Estos son los valores que toman las distintas constantes:

Tabla 1

tipos de cielo:	$K$ :	$\tau$ :	$k_1$ :	$k_2$ :	$k_3$ :
a	1100	0.83	0.00	0.11	0.12
b	760	0.77	0.11	0.15	0.26
c	1060	0.81	0.00	0.00	0.17

$K$  está expresado en  $W/m^2$  y las restantes son adimensionales.

## EL PROGRAMA

El modelo descripto y las relaciones geométricas entre el sol y los elementos irradiados constituyen la esencia de este programa, que fue preparado intencionalmente para funcionar en ordenadores de apenas 40 Kbytes de memoria disponible y algo más de 45000 pixels de resolución en pantalla, en caso de desearse una salida gráfica. Al estar escrito en lenguaje BASIC, el usuario puede modificarlo con facilidad. Por supuesto, la utilización de equipos mayores permitirá en primer lugar acortar sustancialmente los tiempos de cálculo y al disponer de mayor capacidad, resulta posible analizar configuraciones exteriores más complejas.

Descripción de los procesos que tienen lugar en sus etapas principales:

#### Ingreso de datos:

- Solicita *hemisferio* y *latitud* (en grados y decimales);
- *longitudes* local y estándar (opcionales);
- *mes* y *día* (con los que obtiene declinación y hora de "salida" solar);
- *intervalo* para la secuencia orto-ocaso (cuarto, media, una hora);
- *modelo de cielo* (permite elegir uno de los tres tipos);
- *cantidad de planos*;
- *posición* de cada uno (horizontal, inclinado o vertical);
- *acimut* de planos verticales e inclinados;
- *pendiente* de los inclinados;
- *factor angular* en cada caso o datos de las obstrucciones para obtenerlo (distancia y altura media de los obstáculos);
- *existencia de ventanas* (si no hay, da comienzo a las operaciones);
- *cantidad máxima* de ventanas distintas en el plano de mayor aventanamiento (para dimensionar matrices);
- *cantidad de ventanas diferentes* en cada plano vertical;
- *altura y ancho* de las mismas;
- *existencia de parasol*
- en caso afirmativo, *existencia de alero* (con datos de su pendiente y profundidad) y *aletas* (y datos de su dirección y profundidad).

Cada tanto presenta resúmenes de los datos ingresados, dando la oportunidad de confirmarlos o cambiarlos.

#### Operaciones:

- Ecuación del tiempo (si se ingresaron longitudes). Esto permite determinar el corrimiento del horario oficial respecto del solar, dato que se utiliza, por ejemplo, para ubicar los puntos cardinales a partir de la medición de las sombras arrojadas.
- altura y acimut solar para cada instante;
- inicia un bucle que comprende a todos los planos: eliminando el "punto brillante sobre el horizonte" si existe ocultación del mismo; definiendo en cada plano al ángulo de las visuales rasantes sobre las obstrucciones; definiendo la diferencia acimutal y el ángulo de incidencia del rayo solar en cada caso; calculando la radiación difusa cuando el astro se encuentra por detrás del plano; y para los casos generales, las radiaciones directa, difusa y total; calculando la transmitancia de los vidrios; obteniendo los límites de la sombra que arrojan las protecciones y una aproximación para cuando no lleguen rayos directos al vidriado (no se han incorporado las reflectancias del parasol ni las de las superficies de piso o de obstáculos); completando la rutina con la radiación integrada que llega al local; y a la superficie de los diferentes planos.

#### Salidas:

Finalmente presenta un menú que permite: *Verificar* las respuestas numéricas en pantalla; *Graficar* también en pantalla (la irradiación sobre

cada uno o todos los planos); *Imprimir* los resultados numéricos (los gráficos pueden imprimirse usando la opción anterior); *Retornar* a cualquier punto anterior para cambiar datos; *Archivar* o *Abandonar* el programa.

Como ejemplo se transcribe una salida impresa con datos correspondientes a un edificio de Buenos Aires, en que las paredes exteriores presentan una desviación de 3° respecto a los puntos cardinales. No se incluyeron ventanas por no permitirlo las dimensiones de la hoja. Los valores fueron calculados con intervalos de una hora.

### PLANILLA DE IRRADIACIONES

Latitud: -34.6°

Modelo de cielo: JBC (CSTB intermedio)

Fecha: DIC 21

	PLANO 1	PLANO 2	PLANO 3	PLANO 4	PLANO 5
horiz.		A= 177.0°	A= 087.0°	A= 267.0°	A= 357.0°
hora		b= 90°	b= 90°	b= 90°	b= 90°
solar:	C= 1.00	C= 0.50	C= 0.50	C= 0.50	C= 0.50

Irradiación INSTANTANEA (W/m<sup>2</sup>):

04.90	000.0	000.0	000.0	000.0	000.0
05.00	000.0	000.0	000.0	000.0	000.0
06.00	159.8	034.7	034.7	403.8	185.2
07.00	375.7	054.4	054.4	616.6	202.4
08.00	574.7	063.4	063.4	655.5	138.5
09.00	744.1	080.4	068.2	592.2	068.2
10.00	873.5	161.1	070.9	460.1	070.9
11.00	954.7	218.4	072.2	282.8	072.2
12.00	982.4	245.5	072.7	081.7	072.7
13.00	954.7	239.6	266.3	072.2	072.2
14.00	873.5	201.3	448.5	070.9	070.9
15.00	744.1	135.1	588.1	068.2	068.2
16.00	574.7	063.4	660.1	063.4	076.2
17.00	375.7	054.4	629.0	054.4	142.9
18.00	159.8	034.7	417.5	034.7	145.8
19.00	000.0	000.0	000.2	000.0	000.1
19.10	000.0	000.0	000.0	000.0	000.0

Irradiación INTEGRADA (MJ/m<sup>2</sup>):

30.1	05.7	12.5	12.5	05.1
------	------	------	------	------

### REFERENCIAS

1. Borgato J., "Un modelo analítico para la radiancia de cielos despejados de distinta turbidez y arbitraria extensión visible"