

MODELO DE SIMULACION DE LA DISTRIBUCION DE RADIACION SOLAR DIRECTA EN LOS ELEMENTOS INTERIORES DE UN AMBIENTE.

Alfredo Esteves

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV)

INCIHUSA-CRICYT

C.C. 131 - 5500 Mendoza

Tel:061-288797 - Fax: 061-287370

E-mail: ntericyt@arcriba.edu.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se expone un modelo que vincula la distribución de la radiación solar directa en los elementos interiores que rodean un sistema solar con una frecuencia horaria, pero completando el cálculo para todo el día.

El mismo permite conocer que porcentaje de la superficie de la ventana alcanza cada elemento. Posteriormente conociendo la radiación solar directa incidente puede obtenerse la energía sobre la superficie de cada elemento. Esta cantidad de energía es un dato de interés cuando queremos evaluar la situación térmica radiante del local.

El programa es aplicable también cuando se simula mediante SIMEDIF (1) el comportamiento térmico de un edificio, para evaluar el área de radiación involucrada en cada elemento.

INTRODUCCION

En edificios solares pasivos que poseen sistemas de ganancia directa o invernaderos integrados, se incorpora radiación solar directamente a los espacios. La distribución de la misma es un dato de interés al momento de evaluar la situación térmica radiante horaria del local. Esta se vuelve particularmente importante de conocer, en los casos que se necesite evaluar las asimetrías radiantes existentes en el local y que serían responsables del discomfort térmico en algunas zonas del mismo (2).

El estudio también sería aplicable para la simulación de esos mismos sistemas mediante el SIMEDIF (1), en el cual la radiación solar incidente sobre cada elemento (muros y piso), se considera indicando el área de radiación en el cual realmente se recibe el recurso solar.

METODOLOGIA

Los, 1986 indica una metodología para dibujar edificios vistos desde el sol. En función de este hecho, se ha preparado un programa de simulación computacional que cumple los siguientes pasos:

- 1- Cálculo de la "posición del sol" mediante la obtención de la altitud y el azimut solares.
- 2- Determinación de las coordenadas de los vértices del edificio como vistos desde el sol.
- 3- Determinación de los puntos límites del sistema solar (Ganancia Directa o Invernaderos Integrados) como vistos desde el sol. Generación de una grilla de puntos encerrada por tales límites.
- 4- Determinación de la pertenencia de los puntos generados de la grilla a cada fachada que rodea el sistema solar.
- 5- Impresión de resultados

1- Cálculo de la posición del sol

Para una hora determinada, la altitud solar se indica como la altura del sol sobre el horizonte, como el azimut solar, se indica como el ángulo desde la posición del sol hasta la orientación Sur, medido sobre plano horizontal. La altitud se puede obtener a través de la ecuación 1 y del grupo de ecuaciones 2 para el azimut, Kreider et al, 1979.

$$\text{sen}\alpha = \cos L \cdot \cos\omega \cdot \cos\delta + \text{sen}L \cdot \text{sen}\delta \quad (1)$$

$$\gamma = \text{sen}^{-1}\left(\frac{\cos\delta \cdot \text{sen}\omega}{\cos\alpha}\right); \text{si } \cos\omega > \frac{\text{tg}\delta}{\text{tg}L} \quad (2)$$

$$\gamma = 180 - \text{sen}^{-1}\left(\frac{\cos\delta \cdot \text{sen}\omega}{\cos\alpha}\right); \text{si } \cos\omega < \frac{\text{tg}\delta}{\text{tg}L} \quad (3)$$

donde: α = altitud solar

τ = azimut solar

L = latitud del lugar (negativo al Sur del Ecuador)

δ = declinación solar = $23.45 \text{ sen}(360(284+n)/365)$

= ángulo horario del sol, se mide desde el N, positivo hacia el Oeste y negativo hacia el Este.

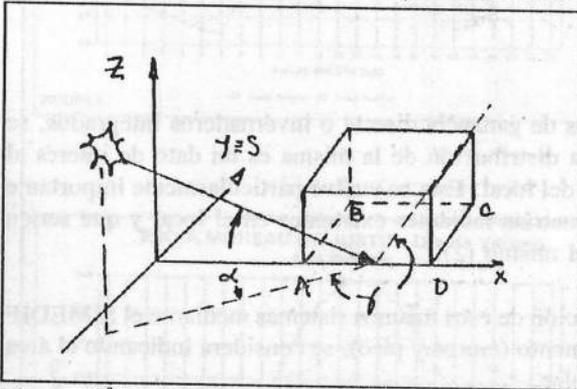


Figura N° 1: altitud y azimut solares

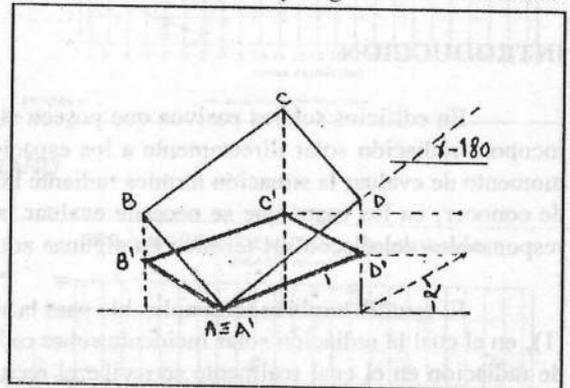


Figura N° 2: edificio visto desde el sol

Estas ecuaciones se han volcado a una subrutina que ejecuta el cálculo horario para un día determinado.

2- Determinación de las coordenadas de los vértices de los edificios como vistos desde el sol

Un punto en el espacio queda representado en coordenadas cartesianas en tres dimensiones x , y , z . Un punto al verlo visto desde el sol, puede estar representado por coordenadas en dos dimensiones (Figura 1 y 2). Las expresiones para encontrar x_L e y_L , coordenadas del punto visto desde el sol se evalúan de acuerdo a la ecuaciones (4) y (5), deducidas al observar la Figura 2.

Allí puede apreciarse que los puntos ABCD correspondiente a los vértices del edificio vistos en planta, se trasladan a la posición A'B'C'D', al verlo desde el sol, cuando el azimut solar es τ y la altitud solar es α .

Llamamos coordenadas proyectadas a las coordenadas de los vértices del edificio como vistos desde el sol, es decir, las coordenadas de A'B'C'D'. La expresión de cada uno de ellos es:

$$X_D = \sqrt{(X_D^2 + Y_D^2)} \cdot \cos(\beta + \gamma - 180) \quad (4)$$

$$Y_D = \sqrt{(X_D^2 + Y_D^2)} \cdot \sin(\beta + \gamma - 180) \cdot \cos \alpha + Z_D \cdot \cos \alpha \quad (5)$$

donde: $\beta = \text{tg}^{-1}(y_i/x_i)$

X_D, Y_D, Z_D coordenadas cartesianas de D en el espacio

X'_D, Y'_D coordenadas de D visto desde el sol.

3- Determinación de los puntos límites del sistema solar y la grilla

Del mismo modo pueden calcularse los puntos límites de la ventana y a partir de ellos se determina una grilla de puntos interiores a la misma y uniformemente distribuidos.

La grilla se compone de una cantidad determinada de puntos en cada fila (tomados en sentido horizontal de la ventana) y de una cantidad de filas (en sentido vertical de la ventana). La cantidad de puntos en cada fila se obtiene en función del paso (distancia entre puntos) horizontal y la cantidad de filas depende del paso vertical.

Tanto el paso horizontal como el vertical se eligen de acuerdo a la rapidez del cálculo y la precisión. Usualmente tomar filas de 10 puntos / m en sentido horizontal y 10 filas/m en sentido vertical, es decir, tomar 100 puntos/m² es suficiente exacto como se verá más adelante y calcular la situación hora a hora durante un día completo insume aproximadamente cinco minutos para una ventana de 10 m² de superficie.

Ingresando el paso horizontal y vertical, se puede obtener la cantidad de puntos de la grilla, utilizando para su cálculo en sentido horizontal la ecuación 6 y en sentido vertical, la ecuación 7.

$$CPHZ = (XV_4 - XV_1) \cdot FEX - 1 \quad (6)$$

$$CPVE = (ZV_2 - ZV_1) \cdot FEY - 1 \quad (7)$$

donde: XV, YV son las coordenadas cartesianas de la ventana

FEX, FEY paso en sentido horizontal y en sentido vertical respectivamente.

Se calcula luego, las coordenadas proyectadas de cada punto de la grilla mediante las ecuaciones (4) y (5), tomando $\beta = 0$.

4- Determinación de la pertenencia de los puntos generados a los elementos interiores.

Las coordenadas de cada vértice proyectadas nos indican los límites en sentido X de los distintos elementos (fachadas y piso). que rodean el ambiente considerado. Luego, se calcula un valor de Y máximo y de Y mínimo para el valor X del punto y se compara; si el Yp se encuentra dentro de tales límites. Se determina así a qué elemento pertenece el punto y se le asigna un contador al mismo, cuyo valor depende del elemento a donde pertenece la proyección.

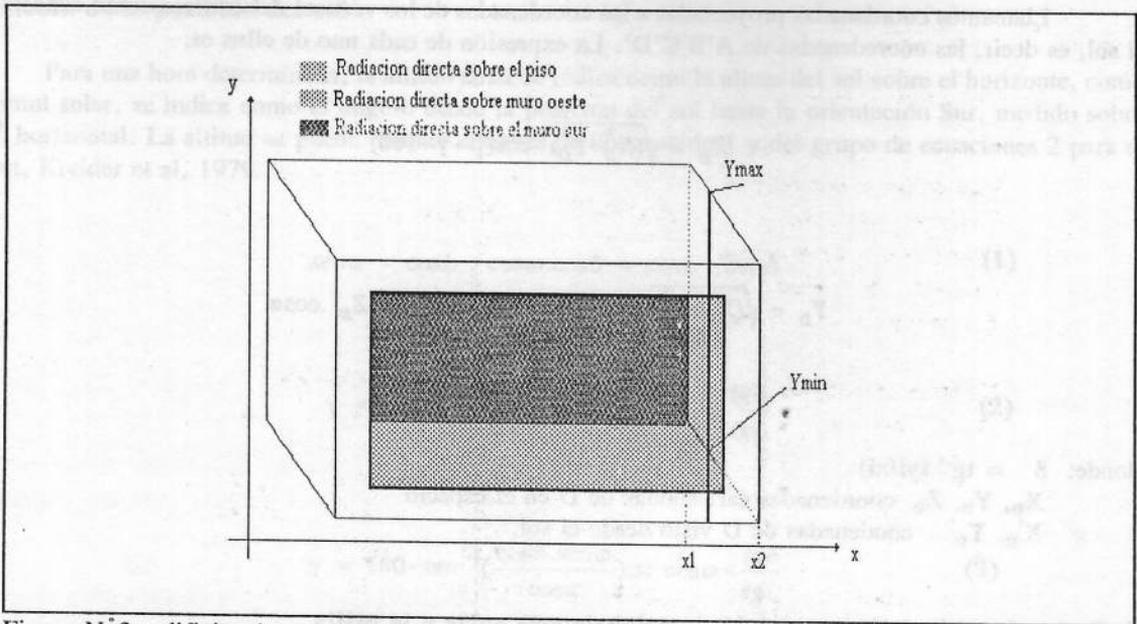


Figura N° 3: edificio visto desde el sol. Pertenencia de los puntos de la grilla.

5- Impresión de resultados

La evaluación de la proporción de la radiación solar que incide sobre la ventana y va a parar a cada elemento se evalúa a través del contador de cada punto de la grilla. De este modo, tomando en consideración la cantidad de puntos totales que es proporcional a la superficie de ventana podemos obtener que parte de la radiación que atraviesa la superficie de la ventana va a parar a cada elemento que rodea el ambiente. El proceso de 2 a 5 se repite para cada hora del día y se completa el proceso. Se escriben los resultados en un archivo ASCII para ser procesados mediante cualquier otro programa. La Tabla I indica la salida ASCII del archivo correspondiente a los resultados de un caso particular.

Una salida opcional es dibujar en pantalla la perspectiva vista desde el sol e indica con distintos colores la radiación sobre los distintos elementos que rodean al ambiente si es que se dispone de un monitor color.

CONSIDERACIONES ADICIONALES

Una vez que se determina la fracción de la energía incidente sobre la ventana, que va a parar a cada elemento, podemos, incorporando la radiación incidente sobre la ventana evaluar la cantidad de energía solar directa recibida en cada elemento.

En efecto, utilizando algunas de la metodologías para el cálculo de la radiación sobre superficies inclinadas indicadas en Duffie, 1991, podemos obtener la energía realmente recibida por el elemento en cuestión.

Tomando en cuenta la metodología para ciclos isotrópicos, el siguiente ejemplo ilustra tal situación.

Sea un edificio con una fachada norte de 10 m de ancho por 3 m de altura que itene una ganancia directa cuyas dimensiones son 10 m de ancho por 1 m de altura y que se ubica dejando un antepecho de 2 m. Determinar la energía directa incidente sobre cada elemento que rodea el sistema de ganancia directa para el día 105, 135 y 166 si la profundidad del local es de 4 m.

Para el presente ejemplo consideraremos que el vidrio es totalmente transparente a la radiación solar incidente y que no existe reflexión alguna sobre su superficie. Las Tablas II, III y IV indican para los días

105, 135 y 166 respectivamente la radiación solar sobre los muros sur, este, oeste y piso para la configuración del ejemplo.

Mendoza	-32.89	166				
Los datos estan en metros						
Edificio:	Ancho: 5	Profundidad: 4	Altura: 3			
Datos sobre la ventana:						
Ancho:	5	Altura: 2				
Antepecho:	1	Distancia desde la fachada Este:	0			
Valores porcentuales en tanto por uno para cada elemento						
Hora	Altitud	Azimut	Piso	Este	Oeste	Sur
1	0.0	241.9	0.000	0.000	1.000	0.000
2	9.8	233.8	0.000	0.000	1.000	0.000
3	19.3	223.5	0.193	0.000	0.678	0.129
4	26.9	211.0	0.447	0.000	0.392	0.161
5	32.0	196.3	0.709	0.000	0.169	0.122
6	33.8	180.0	0.842	0.000	0.000	0.158
7	32.0	163.7	0.709	0.169	0.000	0.122
8	26.9	149.0	0.447	0.392	0.000	0.161
9	19.3	136.5	0.193	0.678	0.000	0.129
10	9.8	126.2	0.000	1.000	0.000	0.000
11	0.0	118.1	0.000	1.000	0.000	0.000

Tabla I: muestra del archivo de salida ASCII.

CONCLUSIONES

Se presenta un modelo de simulación muy útil, que permite simular las situaciones indicadas previamente, es decir, para cualquier día del año, la distribución de radiación directa en el interior del ambiente, cuando el mismo posea sistemas solares de ganancia directa e invernaderos integrados.

Puede agregarse el cálculo de la radiación solar incidente y determinar la energía que alcanza cada elemento que rodea el ambiente considerado. Esto es aplicable especialmente cuando se quiera conocer la situación radiante dentro del ambiente.

Queda pendiente la extensión del cálculo para cuando la ganancia directa se ubique sobre fachadas a medio rumbo o con orientación este u oeste, de modo de tener en cuenta las condiciones en los meses de verano.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Casermeiro M., Saravia L., (1984). "SIMULACION TERMICA DE EDIFICIOS". *Reunión de Trabajo de ASADES. San Juan.*
- 2- The Energy Research Group (1994). "ENERGY IN ARCHITECTURE". *The European Passive Handbook. Redwood Books.*
- 3- Los, S. (1986). "SOLAR PERSPECTIVE: A GRAPHIC TECHNIQUE TO DRAW BUILDINGS AS SEEN BY THE SUN". *Passive Solar Conf. ISES, pp. 422-425.*
- 4- Duffie J. y Beckman W. (1991). "SOLAR ENGINEERING OF THERMAL PROCESSES". *Wiley, N.Y. 2ª Ed.*