

MODELO DE ILUMINANCIA NATURAL EXTERIOR  
PARA SUPERFICIES HORIZONTALES Y VERTICALES.

Alejandro Mermet\*, Andrea Pattini\*\*

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV)  
Centro Regional de Investigaciones Científicas y  
Tecnológicas de Mendoza (CRICYT). C.C. 131  
(5500).MENDOZA.

RESUMEN

El contar con una herramienta de cálculo que permita estimar la magnitud del recurso lumínico exterior, se hace imprescindible en la etapa de proyectación de un edificio que utilice el recurso. Para ello se hace necesario el estudio y análisis de modelos que permitan realizar estos cálculos, adaptándolos a nuestras necesidades.

En el presente informe de avance se presenta el estado del estudio y análisis de modelos de cálculo de iluminancia exterior para cielo claro.

De los modelos existentes, el seleccionado (2) es el que presenta mejores fundamentos y mayor versatilidad. No obstante, luego de hacer algunos cálculos empleando una PC, se notaron discrepancias entre los resultados obtenidos y los presentados por los autores; de todas formas este modelo puede ser ajustado y convalidado con datos medidos, y servir de punto de partida para el desarrollo de otros métodos de cálculo aplicables a las condiciones climáticas de la región.

INTRODUCCION

La necesidad de predecir el comportamiento térmico y lumínico de un edificio durante su etapa proyectual, y poder comparar distintas soluciones, involucra un desarrollo cada vez más profundo de las herramientas de cálculo.

La forma tradicional para analizar la fuente de iluminación natural ha sido tomar mediciones in situ y luego utilizar estos datos para establecer un modelo local específico de iluminancia. La principal limitación de estos modelos es que son sólo aplicables localmente .

Modelos desarrollados en los últimos años, permiten el cálculo de iluminancia externa haciendo un estudio de las diferentes componentes del recurso de iluminación natural (directa, difusa y reflejada), partiendo de ecuaciones complejas, donde se tiene en cuenta la geometría solar y las condiciones atmosféricas (4).

---

\* Profesional Adjunto Contratado.

\*\* Becaria Perfeccionamiento CONICET.

## MODELOS DE PREDICCIÓN DE ILUMINANCIA EXTERIOR PARA DÍA CLARO

La mayoría de los modelos planteados para el cálculo de la iluminancia para cielo claro o cubierto, recurren a formas generales:

- $A + B \cdot \text{sen } h$
- $(A \cdot \text{sen } h) \exp(B / \text{sen } h)$
- $A \cdot \text{sen } h / (B + C \cdot \text{cosec } h)$

donde  $h$  es la altitud solar, y los parámetros  $A$ ,  $B$  y  $C$  son constantes empíricas o bien variables que dependen de las condiciones de turbidez de la atmósfera, y se calculan generalmente empleando ecuaciones empíricas.

Según el modelo analítico adoptado (2), para el cálculo de la iluminancia exterior (directa, difusa y global), sobre superficie horizontal y vertical, se parte de parámetros atmosféricos como nubosidad, índice de claridad, turbidez, altura sobre el nivel del mar y de constantes mensuales de iluminancia extraterrestre. Por otro lado, es preciso determinar la posición del sol y el ángulo de incidencia de los rayos solares a partir de la latitud del lugar. La iluminancia directa para día claro se calcula como:

$$E_{DV} = E_{DN} \cdot \cos \theta$$

donde  $\theta$  es el ángulo de incidencia solar, y  $E_{DN}$  es la iluminancia normal. La iluminancia directa sobre superficie horizontal para día claro es:

$$E_{DH} = E_{DN} \cdot \cos \theta z$$

donde  $\theta z$  es el ángulo cenital del sol ( $h = 90 - \theta z$ ).  $E_{DN}$  se obtiene a partir de:

$$E_{DN} = E_{sc} \cdot \exp(-\alpha_n)$$

luego,  $E_{sc}$  es la constante de iluminancia extraterrestre aparente y  $\alpha_n$  es el factor de condición atmosférica, el que se puede distinguir:

para baja turbidez :  $\alpha_1 = \tau \cdot 1 / \cos \theta z$

para alta turbidez :  $\alpha_2 = B \cdot m \cdot T$

donde  $\tau$  es la profundidad óptica y  $B$  es el coeficiente atmosférico de extinción, tabulados en forma mensual. La masa de aire relativa  $m$  y el factor de turbidez  $T$  se calculan:

$$m = 1 / [\cos \theta z + 0.158(93.88 - \theta z)]^{-1.253}$$

$$T = [(h+85) / (39.5 \exp(-w) + 47.7) + 0.1] + (16 + 0.22w) \cdot \beta$$

siendo  $\beta$  el coeficiente de turbidez y  $w$  la cantidad de agua precipitable en la atmósfera dada en cm.

La iluminancia global sobre superficie horizontal puede calcularse como:

$$E_{GH} = E_{DH} + E_{dH}$$

donde  $E_{DH}$  es la iluminancia directa sobre superficie horizontal y  $E_{dH}$  es la iluminancia horizontal difusa, que se calcula :

$$E_{dH} = C \cdot E_{DN} / (CN)^2$$

en este caso, C es el cociente entre la radiación difusa y la global, y (CN) es un índice de claridad para daylighting.

La iluminancia global para superficie vertical se puede obtener a partir de:

$$E_{GV} = E_{DV} + E_{dV} + \sigma \cdot (E_{DH} + E_{dH})$$

El primer término es la iluminancia directa con  $\cos\theta$  calculado para una pendiente de la superficie de  $90^\circ$ . El segundo sumando representa la iluminancia difusa para superficie vertical y se obtiene haciendo:

$$E_{dV} = B_0 + B_1 h + B_2 h^2 + B_3 h^3 \quad (\text{ó } E_{dV} = 0.5 E_{dH})$$

donde las constantes B dependen de la estación del año, de la posición del sol y de la orientación de la superficie. El tercer término es la iluminancia reflejada por el suelo, donde  $\sigma$  es el albedo.

### CONCLUSIONES

Sometiendo este modelo a cálculos horarios para todos los meses del año, mediante el uso de un programa confeccionado a tal efecto, se obtienen datos de iluminancia global, directa y difusa para superficie vertical y horizontal para día claro.

Los resultados obtenidos mediante el programa, usando los parámetros propuestos para distintas regiones de los Estados Unidos, difieren de los expuestos por los autores (1). En la Tabla I. se muestran valores obtenidos para el 21 de Enero con una Latitud  $39^\circ$  Norte.

	hora	Iluminancia Directa	Iluminancia Vertical	Iluminancia Horizontal
Alta Turbidez $\beta=0.04$ $w=0.51$ cm.	8	37093	28786	6768
	9	65692	57228	22514
	10	77381	74616	35730
	11	82414	84394	44164
	12	83850	87593	47047
Baja Turbidez	8	51905	37325	8848
	9	83954	70261	27785
	10	95800	89704	43164
	11	100804	100677	52919
	12	102232	104284	56253
Baja Turbidez Calculados SERI	8	46110	31760	10250
	9	72910	61210	27130
	10	83130	78980	40490
	11	87480	89310	48940
	12	88730	93120	51820

Tabla I. Valores de Iluminancia Calculados (lux).

Las mayores discrepancias se producen al usar el modelo de cielo claro con baja turbidez. Comparando  $\alpha_1$  con  $\alpha_2$ , para el caso de baja turbidez,  $\tau \cdot 1 / \cos\theta_z \approx B.m.T$ , sería equivalente a considerar  $T \approx 1$  y  $m \approx 1 / \cos\theta_z$  en

$\alpha_2$ , ya que  $\tau$  y  $B$  son constantes de igual valor; por otro lado, el valor mínimo de  $T$  se daría para  $\beta=0$  (turbidez nula),  $T_{min}=1.17$  calculandolo con los parámetros usados en la confección de la Tabla I y varía a lo largo del día con la altura solar, dependiendo de los niveles de agua precipitable en la atmósfera. Por lo expuesto lo más acertado sería usar siempre  $\alpha_2$  conociendo  $\beta$ .

No obstante, los valores obtenidos son alentadores, debiéndose ajustar los parámetros atmosféricos, en base a datos medidos, para adaptar este modelo a nuestras condiciones atmosféricas y climáticas locales.

Encontrándose esta etapa de toma de datos en sus instancias preliminares, para lo cual se está desarrollando equipamiento de toma y adquisición de datos tales como iluminancia exterior vertical y horizontal, radiación solar, temperatura y humedad. Dicho equipamiento digital ha sido diseñado con un software específico para poder efectuar la corroboración del modelo de predicción de iluminancia externa.

#### REFERENCIAS:

- (1) Robbins, Claude L.; "Daylighting: Design and Analysis"; Van Nostrand Reinhold Company Inc.; New York; 1986.
- (2) Robbins, Claude L., Hunter, Kerri C.; " A Model for Illuminance on Horizontal and Vertical Surfaces"; SERI, U.S. Department of Energy; Golden, Colorado; 1983.
- (3) Robbins, Claude L.; Hunter, Kerri C.; " Sunlight Probability Data for Select Cities in the United States"; SERI, U.S. Department of Energy; Golden, Colorado; 1983.
- (4) Angus, A. C.; Muneer, T.; "Precise Algorithms for determining Sun's Position for Daylight Models". CIBSE National Lighting Conference 1992.