

# REFORMULACION DE UN MODELO PARA EL CALCULO DE LA ILUMINANCIA EXTERIOR PARA CIELO CLARO

Alejandro Mermet<sup>#</sup> Andrea Pattini<sup>\*</sup> Carlos De Rosa<sup>\*\*</sup>

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV)  
INCIHUSA - CRICYT

C.C. 131 - CP. 5500, Mendoza

Tel: (061) 288797 Fax: (061) 287370

## RESUMEN

El punto de partida para cualquier estudio y propuesta de estrategias de iluminación natural en edificios, es el conocimiento del recurso lumínico. Para predecir la disponibilidad de luz exterior, se emplean distintos modelos, muchas veces de validez local. Por esta razón se planteó un modelo de mayor alcance que contempla las características atmosféricas y de cielo de nuestra región<sup>[1][2]</sup>.

En dicho modelo presentado en reuniones anteriores<sup>[1][2]</sup>, la iluminancia directa normal en lux, se calcula en función del factor de excentricidad de la órbita terrestre y del coeficiente de extinción atmosférico, que a diferencia de otros modelos no se consideran como una constante mensual sino como una regresión lineal propuesta para distintos rangos de turbidez.

Reformulando la ecuación propuesta para el cálculo de la iluminancia difusa horizontal y la iluminancia global, introduciendo el factor de difusa y la eficacia luminosa relativa, se logra una ecuación más compacta, en función de parámetros de la geometría solar y de los valores de radiación normalmente disponibles.

Mediante la utilización de las ecuaciones propuestas se ha logrado un buen ajuste con valores medidos, no obstante las constantes empíricas están en proceso de evaluación y ajuste gracias a la obtención de abundantes datos medidos.

## CLASIFICACION DEL TIPO DE ATMOSFERA

Usando la ecuación de Angström el coeficiente de atenuación atmosférico debido a la absorción y al scattering producido por aerosoles, se define como<sup>[3]</sup>:

$$\kappa = \beta \cdot \lambda^{-\alpha}$$

---

<sup>#</sup> Becario Perfeccionamiento CONICET

<sup>\*</sup> Investigador Asistente CONICET

<sup>\*\*</sup> Investigador Independiente CONICET

donde:  $\beta$  es el coeficiente de turbidez de Angström,  $\lambda$  la longitud de onda,  $\alpha$  es la distribución del tamaño de las partículas (0.5 y 2.5, normalmente  $\alpha = 1.3$ ). La transmitancia de la atmósfera se calcula como:

$$\tau_{\alpha\lambda} = e^{-\beta \lambda^\alpha}$$

Así es posible clasificar la atmósfera de acuerdo al grado de visibilidad y de limpieza de la atmósfera como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Clasificación de la atmósfera para diferentes parámetros de turbidez y limpieza de la misma de acuerdo a la visibilidad.**

Atmósfera	$\beta$ ( $\alpha=1.3$ )	Visibilidad (km)
Limpia	0	340
Clara	0.1	28
Túrbida	0.2	11
Muy Túrbida	0.4	< 5

donde  $\beta$  puede calcularse para visibilidades menores a 5.0 km, a partir de la ecuación propuesta por Mc. Catchey y Selby [31].

$$\beta = (0.55)^\alpha (3.912/\text{Vis} - 0.01162) \cdot [0.02472 (\text{vis}-5) + 1.132]$$

donde: Vis es la visibilidad en km.

En el modelo propuesto, se define una clasificación de atmósfera más acorde a los tipos de cielo de nuestra región, con cielos claros y baja turbidez ( $\beta < 0.05$ ). Esta clasificación se presenta en la Tabla 2.

**Table 2. Clasificación de atmósfera propuesta.**

Atmósfera	$\beta$ ( $\alpha=1.3$ )
Limpia	0
Muy Clara	0.025
Clara	0.05
Media	0.1
Túrbida	0.2
Muy Túrbida	0.3

## ILUMINANCIA DIRECTA

La iluminancia directa se calcula a partir de<sup>[4]</sup>:

$$E_{DN} = E_{sc} e^{-B m T}$$

donde:  $E_{sc}$  es la iluminancia solar extraterrestre aparente, que se calcula como:

$$E_{sc} = 126.820 \cdot E_0 \text{ (lux)}$$

$E_0$  es la excentricidad de la órbita solar calculada a partir de la fórmula de Spencer<sup>[3]</sup> como:

$$E_0 = 1.000110 + 0.034221 \cos \Gamma + 0.00128 \sin \Gamma + \\ + 0.000719 \cos^2 \Gamma + 0.000077 \sin^2 \Gamma$$

donde:  $\Gamma = 2\pi (\text{Día juliano} - 1)/365$ .

$m$  es la masa óptica de aire calculada mediante la ecuación de Kasten<sup>[3]</sup>:

$$m = 1 / (\cos \theta_z + 0.158 + (93.885 - \theta_z))^{-1.253}$$

El coeficiente de extinción atmosférico se determina a partir de:

$$B = D - f \cdot T$$

donde para  $\beta < 0.10$

$$D = 0.1512 + 0.288 (\beta - 0.05)$$

$$f = 0.0262 - 0.094 (\beta - 0.05)$$

y, para  $\beta > 0.10$

$$D = 0.1656 + 0.365 (\beta - 0.1)$$

$$f = 0.0215 - 0.22 (\beta - 0.1)$$

En nuestro modelo el factor de turbidez se calcula mediante<sup>[5]</sup>:

$$T = 1 + 21.6 \beta$$

## ILUMINANCIA DIFUSA

El cambio sustancial respecto del modelo ya presentado radica en una redefinición cuidadosa de la ecuación para obtener la iluminancia difusa. La iluminancia difusa directa horizontal se plantea como:

$$E_{dH} = (H_d / H_D) E_{DN} k_d$$

donde:  $H_D$  es la fracción directa de la radiación total diaria horizontal y  $H_d$  es la componente difusa calculada con la correlación de Collares Pereira & Rabl <sup>[3][6]</sup>.

El factor  $k_d$  llamado factor de difusa, se define como:

$$k_d = A e^{-2 B m (T - T')}$$

donde:  $A = 0.1$  es una constante empírica,  $T$  es el factor de turbidez ya visto y  $T'$  es el factor de turbidez evaluado para valores locales promedio de cantidad de agua precipitable en la atmósfera y función del coeficiente de turbidez calculado a partir de:

$$T = [(h + 85) / (39.5 e^{-w} + 47.7) + 0.1] + (16 + 0.22 w) \beta$$

donde;  $w$  es la cantidad de agua precipitable en la atmósfera,  $\beta$  es el coeficiente de turbidez y  $m$  la masa óptica de aire.

La cantidad de agua precipitable  $w$ , puede calcularse a partir de la ecuación de Leckner <sup>[3]</sup>, que expresa la cantidad de agua precipitable en función de la humedad relativa  $\phi_r$ :

$$w = 0.493 \phi_r P_s / T$$

donde:  $\phi_r$  es la humedad relativa en fracción de uno,  $T$  es la temperatura ambiente en grados Kelvin y  $P_s$  es la presión parcial de vapor en aire saturado y se obtiene a partir de:

$$P_s = e^{(26.23 - 5416 / T)}$$

En forma general puede escribirse la iluminancia difusa sobre cualquier superficie como:

$$E_d = (1 + \cos t) \cdot E_{dH} / 2 + (1 - \cos t) \rho \cdot E_{GH}$$

donde:  $t$  es la pendiente de la superficie,  $\rho$  es el albedo y  $E_{GH}$  es la iluminancia horizontal global. El primer término representa la iluminancia difusa para un cielo isotrópico y el segundo término representa la iluminancia reflejada por el suelo.

Para obtener la iluminancia difusa global sobre superficie horizontal, se evalúa la ecuación anterior para  $t = 90^\circ$  quedando:

$$E_d = 0.5 E_{dH} + 0.5 \rho E_{GH}$$

## ILUMINANCIA GLOBAL

Para calcular la iluminancia global horizontal, se aplica la siguiente ecuación:

$$E_{GH} = E_{DN} \cos \theta_z + (H_d / H_D) E_{DN} k_d$$

Reagrupando y reordenando los términos, la ecuación anterior resulta:

$$E_{GH} = (H_D \cos \theta + H_d k_d) K_{DN}$$

donde:  $K_{DN} = E_{DN} / H_D$  se denomina coeficiente de eficacia luminosa relativa, y se define como el cociente entre la iluminancia directa normal (lux), y la componente directa de la radiación horizontal total diaria ( $MJ/m^2$ ).

La iluminancia vertical global, es en este caso:

$$E_{GV} = E_{DN} \cos \theta + 0.5 (H_d / H_D) E_{DN} k_d + 0.5 \rho E_{GH}$$

Esta ecuación se expresa en función del coeficiente de eficacia luminosa relativa, como se muestra a continuación:

$$E_{GV} = [(\cos \theta + 0.5 \rho \cos \theta_z) H_D + 0.5 H_d k_d (1 + \rho)] K_{DN}$$

## CONCLUSIONES

El estado de desarrollo de este trabajo ha llevado a concluir que la predicción de la iluminancia exterior para cielo claro, según la aplicación de la mayoría de los modelos desarrollados hasta el presente, difiere notablemente de los valores esperados para las condiciones de atmósfera y situación geográfica de nuestra región. Sí, en cambio, se obtienen mejores ajustes con el modelo propuesto cuando se confrontan los valores teorizados con aquél y los medidos.

Los resultados obtenidos hasta hoy están siendo estudiados con el propósito de ajustar los parámetros y constantes introducidos en el modelo, cuando se cuente con un número de valores medidos más importante. Se cuenta para ello, con una estación de adquisición de datos que registra la iluminancia global horizontal, la radiación global horizontal, la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa para las condiciones atmosféricas locales.

## REFERENCIAS

- [1] - A. Mermet, A. Pattini; *Modelo de Iluminancia Natural Exterior para Superficie Horizontal y Vertical*. 15ª Reunión de Trabajo de ASADES. Catamarca, 1992.
- [2] - A. Mermet, A. Pattini, C. de Rosa ; *Modelo de Predicción de Iluminancia Exterior para Cielo Claro*. 16ª Reunión de Trabajo de ASADES. La Plata, 1992.
- [3] - M. Iqbal ; *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press, 1983.
- [4] - C.L. Robbins, K.C. Hunter; *A Model for Illuminance on Horizontal and Vertical Surface*. SERI, 1983.
- [5] - M. Navvab, Karayel M., Ne'eman E., Selkowitz S.; *Analysis of Atmospheric Turbidity for Daylight Calculations*. Energy and Buildings, 6 (1984), 293 - 303.
- [6] - J.A. Duffie, W.A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley, N.Y., 1991.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1 - C.L. Robbins; *Daylighting, Design and Analysis*. Van Nostrand Reinhold Co. 1986.
- 3 - C.L. Robbins, K.C. Hunter; *Sunlight Probability Data for Selected Cities in the United States*. SERI, 1983.
- 6 - Paul J. Littlefair, *The luminous efficacy of daylight: a review*. Lighting Research & Technology. Vol. 17.
- 7 - M. Navvab, Karayel M., Ne'eman E., Selkowitz S.; *Analysis of Atmospheric Turbidity for Daylight Calculations*. Energy and Buildings, 6 (1984), 293 - 303.
- 8 - E. Ne'eman, S. Selkowitz; *Daylight availability as a function of atmospheric conditions*. 5th Conference on Atmospheric Radiation, Baltimore, 1983.
- 9 - P. Littlefair; *Measurements of the luminous efficacy of daylight*. Lighting Research & Technology, 20 (4) 177-188 (1988).

## CONCLUSIONES

## REFERENCIAS

- [1] - A. Marmar, A. Fattal; Modelo de Iluminancia Interior Exterior para Zonas Horizontales y Verticales. Reunión de Trabajo de ASADIS, Eilat, 1982.
- [2] - A. Marmar, A. Fattal, C. de Rosa; Modelo de Predicción de Iluminancia Exterior para Cielo Claro. Reunión de Trabajo de ASADIS, Eilat, 1982.
- [3] - M. Japel; An Introduction to Sky Radiation. Academia Press, 1982.
- [4] - C.L. Robbins, K.C. Hunter; A Model for Illuminance on Horizontal and Vertical Surfaces. SERI, 1983.
- [5] - M. Navvab, Karayel M., Ne'eman E., Selkowitz S.; Analysis of Atmospheric Turbidity for Daylight Calculations. Energy and Buildings, 6 (1984), 293 - 303.
- [6] - J.A. Duffie, W.A. Beckman; *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wiley, N.Y., 1991.