



EFICACIAS LUMINOSAS GLOBALES A PARTIR DE VALORES DE RADIACIÓN SOLAR PARA LA CIUDAD DE SAN LUIS

L. A. Odicino, A. Fasulo
Laboratorio de Energía Solar y Medio Ambiente – U.N.S.L
Chacabuco y Pedernera 5700 San Luis
Tel. 03652-425109 e-mail odicino@unsl.edu.ar
G. Lesino
INENCO – U.N.Sa. Buenos Aires 177 - 4400 Salta

RESUMEN: El conocimiento de las eficacias luminosas para una dada localidad constituye una herramienta de la mayor importancia tanto para el cálculo térmico como para el diseño de edificios. Se miden en muchos laboratorios del país y del mundo, en forma sistemática, los valores de irradiancia solar en todas sus formas. Es posible a partir de estos valores calcular las eficacias luminosas haciendo uso de ecuaciones básicas de iluminación. Se consiguen resultados que son en un todo coherentes con los obtenidos por otros investigadores y se consigue una eficacia luminosa global promedio de 137.9 lm/w para la ciudad de San Luis.

Palabras clave: Eficacia luminosa, Radiación solar, Iluminación natural

INTRODUCCIÓN

La caracterización de la iluminación natural disponible en las distintas localidades, es de suma importancia para una variedad de propósitos, entre ellos, podemos destacar, la cuantificación del ahorro de energía producida por un adecuado control de la luz artificial, estimaciones más precisas de los niveles de iluminación en espacios interiores de edificios, y el adecuado dimensionamiento de los espacios vidriados, se puede lograr así que se optimicen los espacios ciegos para la instalación de sistemas solares activos y pasivos .

No obstante este interés creciente en la iluminación natural, es medida en forma sistemática y confiable en muy pocos sitios.

Los valores de radiación, en sus componentes: global, directa normal, difusa y horizontal, esta disponible en muchas estaciones meteorológicas alrededor de todo el mundo. Es posible además con estos valores determinar el índice de claridad.

Si la relación entre iluminancia a irradiancia, esto es, la eficacia luminosa, se puede determinar para una dada localidad, los valores de radiación, que son medidos en forma regular y sistemática, pueden ser convertidos a iluminación, obteniendo así datos de importancia para el diseño y cálculo térmico de edificios, tal como se explicó en párrafos anteriores.

La eficacia luminosa de la radiación global depende principalmente de la dispersión y de la absorción atmosférica. Tanto la dispersión como la absorción son dependientes, también, de la distancia que la radiación viaja en la atmósfera. Pero fundamentalmente la eficacia varía con las condiciones atmosféricas y con los niveles de radiación.

La eficacia luminosa es definida como (Vartiainen,2000):

$$K = \frac{L}{H} = \frac{K_m \int_{380}^{780} I_\lambda V_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda d\lambda} \quad (1)$$

En donde L es la luminancia, I es la irradiancia, ambas, luminancia e irradiancia medidas de la misma manera, esto es, global, horizontal, etc. I_λ es la irradiancia espectral, V_λ es la sensibilidad espectral del ojo humano, λ es la longitud de onda y $K_m = 683 \text{ lm/W}$ es la eficacia luminosa constante para la visión fotopica

La luminancia de cielo claro depende de la posición del sol y la distancia entre este y el punto de interés sobre la bóveda celeste, depende también de la cantidad de vapor de agua y polvo en la atmósfera. La luminancia de un cielo claro es generalmente varias veces mayor cerca de el horizonte, que en el cenit, excepto en la vecindad del sol, dónde la luminancia del cielo aumenta. La luminancia del cielo claro mínima se encuentra 90 grados opuesto a la posición del sol. La CIE (Comisión Internationale del l'Eclairage), conocida la luminosidad de el cenit como punto de referencia, acepta como modelo de cielo claros normales la ecuación:

$$L_E = L_Z \frac{(1 - e^{-0.32 \sec a})(0.91 + 10 e^{-3b} + 0.45 \cos^2 b)}{0.274 (0.91 + 10 e^{-3c} + 0.45 \cos^2 c)} \quad (2)$$

donde L_Z es la iluminación cenital para cielos claros.

a = el desplazamiento angular del punto de interés al cenit

b = el desplazamiento angular del punto de interés al sol

c = el desplazamiento angular del sol al cenit

Para cielos nublados la situación es bastante mas simple, donde el modelo de luminancia del cielo aceptado por la CIE, se expresa como:

$$L_p = L_z \frac{(1 + 2 \cos \alpha)}{3} \quad (3)$$

donde L_z es la luminancia en el cenit del cielo nublado, y el ángulo α es medido desde la horizontal al punto de interés.

Con el cálculo horario realizado para la radiación extraterrestre directa horizontal I_0 , y las mediciones realizadas para la radiación directa horizontal I_b , se calcula el coeficiente de atenuación que tiene la atmósfera:

$$a^{m_r} = \frac{I_b}{I_0} \quad (4)$$

Mediante una integración numérica del producto entre la curva de radiación solar, la curva fotopica $V(\lambda)$, y la constante de eficacia luminosa para el ojo humano $K_M = 683 \text{ Lm/W}$ podemos obtener la luminosidad extraterrestre

$$\sum_{\lambda=380} V(\lambda) I_{0,\lambda} \Delta \lambda \quad (5)$$

En la superficie de la tierra la radiación solar directa es atenuada en un factor a^{m_r} , por lo que la luminosidad solar en la superficie de la tierra es:

$$a^{m_r} K_M \sum_{\lambda=380} V(\lambda) I_{0,\lambda} \Delta \lambda \quad (6)$$

La eficacia solar a la radiación directa horizontal es entonces:

$$K_b = \frac{a^{m_r} K_M \sum_{\lambda=380} V(\lambda) I_{0,\lambda} \Delta \lambda}{I_b} \quad (7)$$

Con I_b la radiación solar en una hora en superficie horizontal en la superficie de la tierra y K_b la eficacia luminosa solar directa en superficie horizontal.

Simultáneamente se calcula el factor de cubrimiento del cielo propuesto por Perez et Al (1990), ecuación (8).

$$\varepsilon = \frac{\left[\frac{(I_d + I_n)}{I_d} + \kappa \theta_z^3 \right]}{[1 + \kappa \theta_z^3]} \quad (8)$$

con I_d irradiación difusa; I_n irradiación normal; κ es una constante que toma el valor 1.041 y θ_z el ángulo cenital solar. Este parámetro indica el grado de nubosidad de la atmósfera. El valor 1 indica cielos totalmente nublado y el valor 6 o mas cielos totalmente despejado, teniendo graduaciones intermedio, el valor 3 por ejemplo, indica cielos parcialmente nublados (Perez et al).

Realizamos los cálculos para valores medidos de radiación solar comprendidos entre las 13 hs y las 14 hs. locales, las cuales comprenden el mediodía solar para la ciudad de San Luis. Luego en estas ecuaciones I es la energía por m^2 en una hora.

m_r se calcula a partir de:

$$m_r = m \cdot \sec \theta / m_t \quad (9)$$

y es el camino óptico seguido por el rayo medido en unidades de m_t . Cuando el sol esta en el cenit se tiene que $m = m_t$ entonces $m_r = \sec \theta$. En caso de no ser medido a nivel del mar se deben hacer las correcciones correspondientes, en este caso uno de los mejores ajustes es

$$m = m_t \left(\frac{p}{1013.25} \right) \quad (10)$$

donde p es la presión local en milibares, pudiendo usarse la ecuación

$$\frac{p}{p_0} = e^{-0.0001184 z} \quad (11)$$

con p_0 valor de la presión a nivel del mar y z la altura considerada. Estas correcciones por altura son recomendables especialmente para lugares que están por encima de los 2000 m sobre el nivel del mar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Realizamos los cálculos para los primeros 5 meses del año 2001, luego de eliminar los valores que no caen dentro del rango de dispersión y de anular días que tuvieron inconvenientes experimentales, los resultados se muestran en las graficas que siguen. En la grafica 1 se muestran los resultados obtenidos para todo tipo de cielo y la grafica 2 muestra los resultados que se obtienen si se selecciona los valores de nubosidad por encima del valor $\epsilon = 3$ que corresponde a cielos de parcialmente nublados a despejados.

La grafica 3 muestra los resultados obtenidos de eficacias luminosas medidas en forma directa, esto es, por medio de un luxímetro y un piranómetro adyacentes y midiendo en forma simultanea valores de irradiancia e iluminación con intervalos de 15 minutos. El photometro usado es marca Pasco modelo OS-8020 calibrado en luxes y el piranómetro usado es marca Eppley con calibración de fabrica.

El valor promedio de los resultados de eficacias medidas en forma directa es de 137.9 Lm/W, si consideramos únicamente los cielos con nubosidad (ϵ) mayores que 3, esto es cielos de parcialmente nublados a despejados, para cielos totalmente despejados esta eficacia es bastante menor., 88.9 Lm / W.

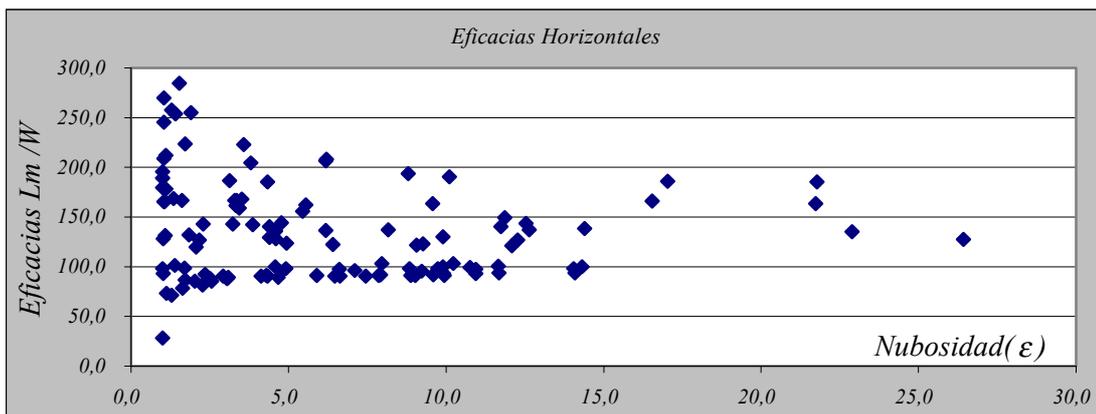
Las diferencias observadas entre los valores obtenidos por el método de medición de radiaciones solares y los obtenidos en forma directa son atribuibles a la escasa cantidad de puntos de mediciones directas que no nos permite conocer con exactitud los valores de eficacia luminosa para la región de estudio. No obstante el método y los valores conseguidos tienen una aproximación que creemos que es lo suficiente como para justificar estudios posteriores

Podemos concluir que el método usado produce resultados que coinciden con las mediciones de eficacias directas realizadas y es consistente con los propuestos por otros autores, tal el caso de Olseth and Skartveit que midieron para la localidad de Albania, estado de New York (USA) eficacia luminosas directas comprendidas entre los 65 y 105 Lm/W (Vartiainen E), Chung, D que midió para Hong Kong en el año 1992 eficacias luminosas globales promedios de 118 ± 15 Lm/W. (Vartiainen E) y por último los resultados obtenidos por Littlefair para el sur de Inglaterra cuya eficacia luminosa global es de 109 ± 5 Lm/W (Vartiainen E).

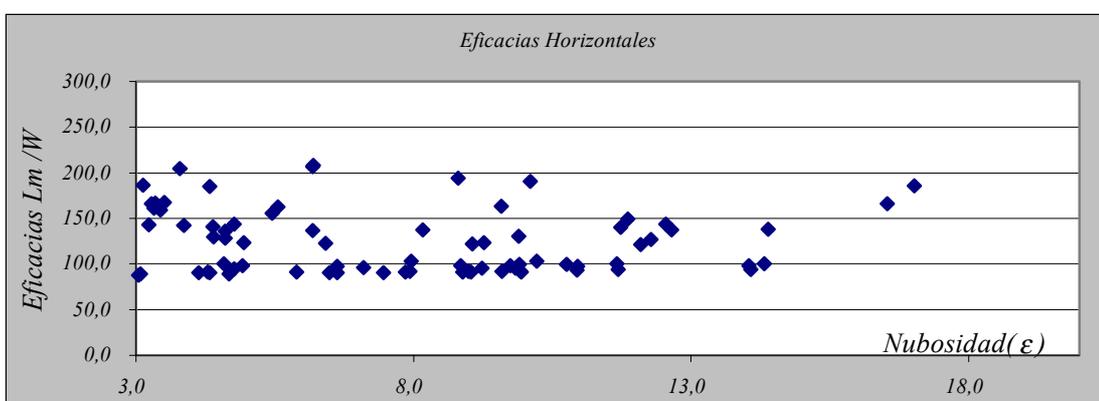
Debido a que cada localidad tiene su propio valor de eficacia luminosa normal es que se propone continuar en forma sistemática con las mediciones para determinarla.

BIBLIOGRAFIA

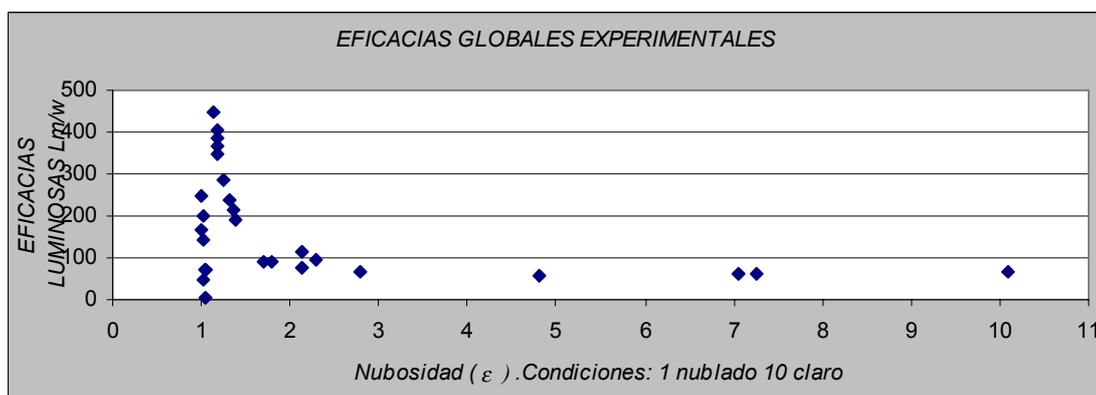
- Vartiainen E (2000) A Comparison of luminous efficacy models with illuminance and irradiance measurements.-; Renewable Energy Vol. 20 N°3 Julio 2000
- Soler A and Gopinathan K.K (2000) A Study of Zenith Luminance on Madrid Cloudless Skies; Solar Energy vol 69 N°5 pp403
- Pholen S., Ruck B and Bittar A Evaluation of the Perez Luminous Efficacy Models for a Southern Hemisphere Site (New Zeland – 41°S, 175° E); Solar Energy vol 57 N° 4 pp307
- L. A. Odicino, D. Perello y A.Fasulo (1997) Estudio de Iluminación en un Laboratorio de la UNSL Revista de Energía Solar Argentina. Vol. 2- 1997.
- D. Perelló, L. A. Odicino, A. Fasulo (1998) Analysis of the Incidence of the Geometry of the opening in the Natural Illumination of a Room Aprobada su publicación en Renewable Energy. Vol.15-16, pp1536 - 1539 Set.98
- L. Odicino, D. Perelló, y A. Fasulo. (1995) Optimización Lumínica para un Edificio fr Laboratorios de la UNSL - Actas de la Reunión de ASADES 1995 (18ava. Reunión). 1995. San Luis
- Iqbal, M Introduction to Solar Radiation (1983) ;Toronto; Academic Press;
- Duffie, J. A: Beckman W. A Solar Engineering of Thermal Process New York; Wiley and Sons, 1980
- La Luz Como una Verdadera Magnitud Visual: Principios de su Medición-Traducción de la Publicación CIE N° 41 (TC – 1.4); Instituto Nacional de Tecnología Industrial .-Buenos Aires 1981
- R.Perez,P. Ineichen,R. Seals, J. Michalsky and R. Stewart (1990) Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance. Solar Energy Vol44 N°5 pp 271



Grafica 1 Eficacias Horizontales globales para todo tipo de cielos. El valor 1 en el eje de las abscisas es para un cielo totalmente nublado y el valor 8 o mas para cielos totalmente despejados. El valor promedio de la eficacia es de 138,8 Lm /W para la hora correspondiente al mediodía solar, estos es entre las 13 y las 14 hs, local.



Grafica 2 En este caso se grafican las eficacias horizontales globales para índice de nubosidad mayor que 3, recordemos que este índice cuanto mayor es su valor menor nubosidad tiene la atmósfera, siendo el 1 totalmente nublado el 3, parcialmente nublado y 6 o mas despejado



Grafica 3 Los resultados experimentales de las mediciones de eficacia global para cielos de todo tipo determinadas al mediodía solar. Correspondientes a 26 días comprendidos entre los meses de abril y mayo para la ciudad de San Luis (33,29 S ; 66,3 O)

ABSTRACT The knowledge of the luminous efficacy for a given town constitutes a tool of the biggest importance so much for the thermal calculation as for the design of buildings. They are measured in many laboratories of the country and of the world, in systematic form, the values of solar irradiancy in all their forms. It is possible starting from these values to calculate the luminous efficacy making use of basic equations of illumination. Results are gotten that they are in an all coherent ones with those obtained by other investigators and an efficacy luminous global average of 137.9 Lm/w is gotten for San Luis city.

Keys Words : Luminous Efficacy, Solar Radiation, Dayligh