

DISTRIBUCIONES DE IRRADIACIÓN GENERADAS POR DUCTOS DE SECCIÓN CUADRADA Y SUPERFICIE INTERNA CUASIESPECULAR PARA RADIACIÓN SOLAR DIRECTA Y DIFUSA

H. A. Belluccia³, J. J. Eliçabe Urriol^{1,3} y H. D. Navone^{2,3}

¹ Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario.

Av. Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina. Correo electrónico: elicabe @fceia.unr.edu.ar.

² Instituto de Física Rosario, CONICET. Bv. 27 de Febrero 210 bis, 2000 Rosario, Argentina.

³ Fac. de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, UN R. Av. Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina.

Recibido:04-03-10; Aceptado:12-04-10.

RESUMEN.- Se simula el proceso de transmisión de radiación solar por reflexión cuasiespecular en el interior de ductos de sección cuadrada con el fin de hallar las características direccionales de sus flujos de salida. Para situaciones típicas, se obtienen distribuciones de irradiación sobre planos perpendiculares al eje del ducto y se consideran, además, el grado de uniformidad de las distribuciones y el porcentaje de transmisión de energía, en cada caso. Se discuten aplicaciones a la iluminación natural de edificios y viviendas.

Palabras claves: irradiación, reflexión, ductos, radiación solar, iluminación natural.

IRRADIATION DISTRIBUTIONS GENERATED BY SQUARE SECTION DUCTS WITH QUASISPECULAR INNER SURFACE FOR DIRECT AND DIFFUSE SOLAR RADIATION.

ABSTRACT.- Solar radiation transmission process by quasispecular reflection into square cross section ducts is simulated as a mean to find the directional characteristics of their output fluxes. Irradiation distributions, onto planes which are normal to the duct axe, are obtained for typical situations. Also, it is considered in each case, the uniformity level of the distributions and the energy transmission percentage. Applications to daylighting are discussed.

Keywords: irradiation, reflection, ducts, solar radiation, daylighting.

1. INTRODUCCION

La propagación de radiación por medio de ductos de paredes reflectantes, como estrategia alternativa de iluminación natural, ha recibido una atención creciente en los últimos años (Oakley G. *et al.*, 2000; Zhang X. y Muneer T., 2000; Silva, A.D., 2005). Una de las cuestiones fundamentales a investigar es la relativa a la determinación del porcentaje de radiación solar transmitida por estos dispositivos. Otro problema, de no menor importancia, es el que plantea la apertura angular del flujo de radiación emergente de los ductos. En el presente trabajo se estudia tanto la relación energía saliente vs energía entrante (transmitancia según Eliçabe Urriol J.J. *et al.*, 1987), como la forma en que se distribuye la radiación a la salida de los ductos.

Mediante el uso de ductos de sección cuadrada, de longitud moderada respecto de las dimensiones de dicha sección, es posible lograr una transmitancia elevada si las superficies reflectantes son de baja absorbancia y alta especularidad (Eliçabe Urriol J.J. *et al.*, 2005). Sin embargo, dado el bajo número de reflexiones internas cuasiespeculares en juego, es de esperar que la radiación solar directa ingresante al ducto se distribuya a la salida de manera bastante irregular.

En general interesa lograr distribuciones de iluminación de uniformidad aceptable, eventualmente recurriendo a elementos difusores. Por otra parte, debe evitarse que la radiación emergente de los ductos produzca deslumbramiento (ver al respecto Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Julio 1969; The Illuminating Engineering Society, 1973); de donde surge la necesidad de

contar con un algoritmo capaz de predecir las características direccionales de la misma. Como aporte a la solución de estos problemas se consideran las irradiaciones sobre planos perpendiculares al eje de un ducto de superficie interior y proporciones como las ya mencionadas. Por “irradiación” se entiende de aquí en más: “irradiancia relativa a la irradiancia sobre la boca de captación del ducto”.

Las simulaciones numéricas se orientan hacia aplicaciones típicas de iluminación natural; en particular se analiza el comportamiento de un lumiducto vertical con salida a nivel del cielorraso de un local interno, en condiciones de bajo aporte de luz solar por ventanas. Para esto se simulan las distribuciones de irradiación solar sobre un plano de trabajo de referencia para diferentes grados de especularidad de las superficies reflectantes y distintas condiciones de incidencia de la radiación solar.

2. MODELIZACION

El flujo ingresante de radiación solar directa se descompone en paquetes elementales de energía por unidad de tiempo, que comparten un vector de incidencia común respecto a un sistema de referencia ligado al ducto. A partir de los datos sobre orientación del mismo, latitud y día del año se calculan las componentes de dicho vector hora a hora.

La trayectoria de cada paquete se determina mediante un algoritmo de cálculo basado en un método de Montecarlo similar al descrito en Elicabe Urriol J.J. *et al.*, 2005, pero que incorpora una determinación analítica de la intersección haz de radiación- plano reflectante. Este recurso permite mayor velocidad de cómputo en casos de geometrías de complejidad moderada.

La radiación difusa de cielo se asume proveniente de un cielo isótropo, de radiancia o “brillo” independiente de la dirección de incidencia. La hipótesis de isotropía es razonable considerando que en general, en el caso de la iluminación natural por ductos en estudio, la radiación difusa juega un rol secundario (a diferencia de lo que ocurre con la captación de luz natural por aberturas convencionales). Para cada dirección de incidencia dada por un par de valores del ángulo del cenit θ y el acimut ϕ , se aplica sucesivamente el algoritmo antes mencionado para un número de paquetes elementales proporcional al ángulo sólido diferencial correspondiente a la dirección (θ, ϕ) y al factor coseno de la Ley de Lambert.

3. SIMULACION DE SITUACIONES TIPICAS

En todos los casos se muestran resultados para un ducto vertical de sección cuadrada, orientado según los ejes cardinales.

En la figura 1 se grafican las distribuciones de irradiación generadas sobre el plano de salida del ducto (a) y un plano de trabajo perpendicular al eje del mismo (b), correspondientes al ingreso de radiación solar directa. Se comprueban concentraciones moderadas de flujo (el valor máximo de irradiación a la salida es igual a 3.3).

Debido a la variación de las condiciones de ingreso de la radiación con la hora solar, las distribuciones de irradiación de salida presentan una notable diversidad, hecho que hace muy difícil la asignación de un modelo probabilístico de validez general.

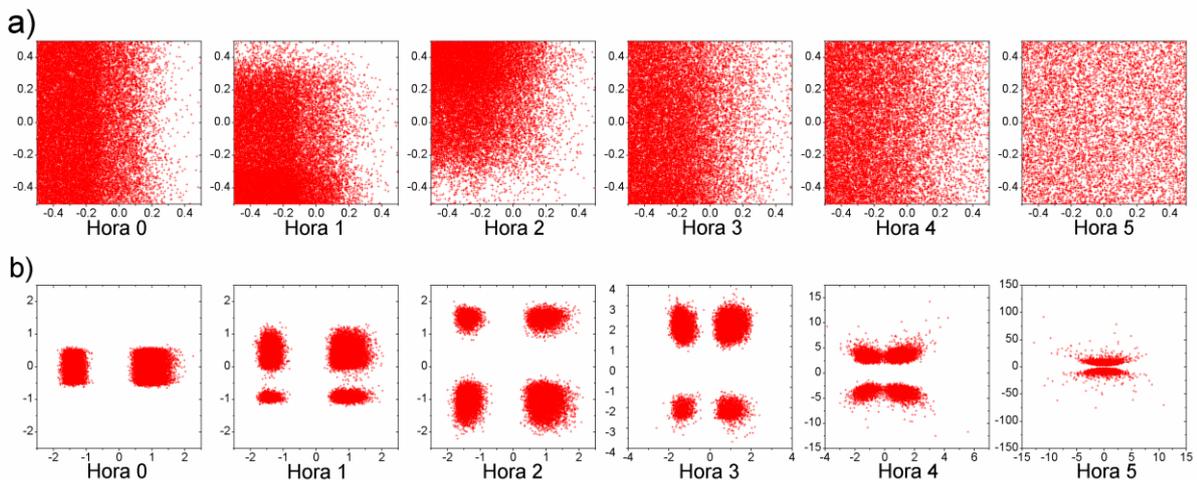


Fig. 1. Evoluciones horarias de la irradiación generada por un lumiducto vertical para radiación solar directa durante el equinoccio, a 33 gr. de latitud. El ducto, de sección cuadrada de lado L y longitud $2.5 L$, se orienta según los ejes cardinales (para el hemisferio Sur, el Norte está a la izquierda de cada gráfica) y tiene una superficie reflectante con coeficientes de absorción $\alpha=0.1$ y de dispersión $3\sigma=15$ grados. Las escalas están referidas a un L unitario. La serie a) corresponde al plano de salida; y la b), a un plano de trabajo a $1.7L$ del plano de salida.

De todas maneras, a los efectos de contar con una descripción estadística preliminar, puede definirse un parámetro de “uniformidad” dado por:

$$\xi = \langle E \rangle / \max \{ |E_{\max} - \langle E \rangle|, |E_{\min} - \langle E \rangle| \}$$

Donde: $\langle E \rangle$ indica el valor medio de la distribución de irradiación, E_{\max} , el valor máximo y E_{\min} , el mínimo; “max” expresa el mayor de los valores absolutos entre llaves.

En general la uniformidad aumenta con el número de reflexiones internas, pero a costa de un incremento en la energía perdida por absorción; por esta razón es conveniente comparar las evoluciones del parámetro de uniformidad ξ y la transmitancia τ . Puede comprobarse en la figura 2 un incremento de ξ a costa de una disminución importante de τ para horas alejadas del mediodía solar, es decir cuando el número de reflexiones internas es elevado.

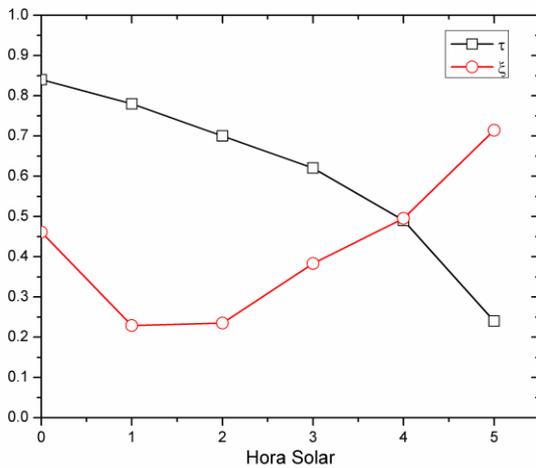


Fig. 2. Evolución horaria de la transmitancia τ y el parámetro de uniformidad ξ para las condiciones descriptas en el caso de la Fig.1a).

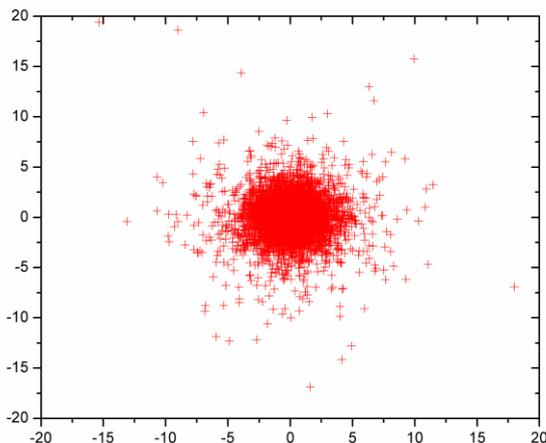


Fig. 3. Distribución de irradiación de salida debidas a la incidencia de radiación difusa (isótropa), para un ducto como el descrito en la leyenda de la Fig. 1.

Por otra parte, la radiación difusa genera distribuciones bastantes uniformes a la salida (figura 3). En la hipótesis de un día de cielo claro, cómo es conocido, su proporción dentro de la radiación solar global crece notablemente con el ángulo del cenit solar. Por esta razón, es de esperar que el flujo conjunto de salida, originado tanto por la radiación solar directa como la difusa se distribuya de manera bastante uniforme para altitudes solares pequeñas; pero totalizando un reducido porcentaje del flujo que suministra el ducto al mediodía.

4. CONCLUSIONES

Con relación a las aplicaciones de los ductos de sección cuadrada y superficie interna cuasiespecular en iluminación natural, cabe consignarlo que sigue.

La extrapolación de los presentes resultados para el cálculo de distribuciones de iluminancia requeriría como mínimo suponer superficies reflectantes grises e integrar sobre el espectro visible el aporte de cada banda diferencial de longitud de onda, de acuerdo al espectro solar.

Sin embargo, las distribuciones de irradiancias ya mostradas son suficientes para hacer evidente la necesidad de utilizar difusores del flujo de radiación emergente del ducto, salvo en el caso de aplicaciones especiales.

Realizando simulaciones numéricas adicionales de la transmisión de radiación solar directa (en las que se varía las proporciones del ducto, el parámetro de dispersión de la reflexión cuasiespecular y las condiciones angulares de incidencia), puede constatarse la distribución no uniforme del flujo de salida, excepto para valores bajos de la transmitancia.

Desde el punto de vista tradicional en iluminación natural, solo se tiene en cuenta el aporte de luz difusa por ventanas, razonable en la hipótesis de un cielo cubierto.

En el caso de cielo despejado ó semicubierto la transmisión de radiación solar directa por el mecanismo aquí estudiado está asociada a flujos luminosos significativamente altos (pero variables en mayor ó menor grado). De allí el interés en investigar las formas de utilizar dichos flujos en combinación con los generados por técnicas convencionales de iluminación natural/artificial.

REFERENCIAS

Eliçabe Urriol J.J. et al (1987). Passive solar lighth-ducts, Applied Energy, V. 28, pp.98-105.
 Eliçabe Urriol J.J. et al (2005). Transmisión de radiación solar mediante ductos de sección rectangular y superficie interna cuasiespecular. Energías Renovables y Medio Ambiente .Vol.16, pp. 15-20.
 IES Code for Interior Lighting, London.
 Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Norma IRAM AADL J 20-02 (Julio 1969).
 Oakley G. et al (2000). Daylight performance of light pipes. Solar Energy, V. 69, n. 2, p.p. 89-98.

Silva, A.D. (2005). Avaliação Teórica e Experimental do Desempenho de dutos de Luz, na Cidade de São Carlos- S P. Universidade Federal de São Carlos , São Carlos.
The Illuminating Engineering Society. (1973).

The Zhang X. y Muneer T. (2000). Mathematical model for the performance of light pipes. *Lighting Research and Technology*, V. 32, n. 3, pp. 141-146.