

Metodología para cuantificación de luz intrusa en fotometrías obtenidas en un goniófotómetro

Intrusive light quantification methodology in photometries obtained in a goniophotometer

Fis. Carlos Andrés Velásquez Flores¹
Instituto Nacional de Eficiencia Energética y
Energías Renovables - Ecuador
carlos.velasquez@iner.gob.ec

Esp. Francisco Vladimir Espín Villacrés²
Instituto Nacional de Eficiencia Energética y
Energías Renovables - Ecuador
francisco.espin@iner.gob.ec

Fecha Recepción: 18/10/16 - Fecha Aprobación: 23/11/16

Resumen: En el presente trabajo se ha desarrollado una metodología para la evaluación de luz intrusa en fotometrías obtenidas en goniófotómetros. Esta metodología puede servir a los laboratorios operativos para cuantificar este parámetro y mejorar el cálculo de la incertidumbre combinada de la medición. Se realizó un programa de cálculo de la luz intrusa porcentual a partir de la ecuación que define la intensidad luminosa, a continuación se sometió a este procedimiento mediciones tomadas a lo largo de un año. Finalmente, después del ajuste de una curva gaussiana, se estableció un valor medio con una incertidumbre estándar.

Palabras clave: Fotometría, Goniófotómetros, Intensidad luminosa, Luz intrusa porcentual

Abstract: In the present work a methodology has been developed for the evaluation of intrusive light in photometries obtained in goniophotometers. This methodology can serve the operational laboratories to quantify this parameter and improve the calculation of the combined uncertainty of the measurement. A percentage intrusion light calculation program was performed from the equation defining the luminous intensity, then measurements were taken over a year. Finally, after adjusting for a Gaussian curve, a mean value was established with a standard uncertainty.

Keywords: Photometry, Goniophotometers, Light Intensity, Percentage intrusive light

1. Introducción.

El Laboratorio de Luminotecnia del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) se encuentra designado nacionalmente como Organismo Evaluador de la Conformidad para obtener matrices de distribución de intensidades en luminarias que empleen lámparas de descarga de alta intensidad (HID) [1]. Cuando emite un informe de ensayo, incluye un cálculo de su incertidumbre combinada [2], uno de los aspectos a tener en cuenta para ello es la cuantificación de luz intrusa que influye en las mediciones producto de reflexiones durante el proceso de medición [3].

Existen varias estimaciones de este parámetro, por ejemplo, el Departamento de Evaluación y Reporte de Productos LED Comercialmente Disponibles (CALIPER)

ha reportado públicamente durante sus mediciones valores estimados de luz no deseada en el orden de 0,1% con una incertidumbre de 0,1% [4], sin embargo no existe algún método normado para medición de este efecto. Es importante que los laboratorios conozcan la cantidad de luz intrusa que interviene durante sus mediciones, durante la obtención de las matrices de luminarias que emplean lámparas de tecnología tradicional como por ejemplo de sodio de alta presión (HID) [5], para este tipo de equipos se esperaría que una parte de su flujo se dirija hacia el hemisferio superior, este fenómeno se verá incrementado si la luminaria emplea un vidrio curvo, debido a las reflexiones que ocurren en el reflector y refractor o difusor [6]; por otra parte cuando se obtiene la matriz de una luminaria led y debido a la tecnología de proyección que emplea (ausencia de reflector) se esperaría que no exista luz

1. Físico. Analista Técnico en el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.

2. Ingeniero, Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente. Responsable Técnico en el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.

intrusa sobre los gamma 90° [7], sin embargo, existen mediciones de intensidades que se pueden atribuir a las reflexiones que ocurren como consecuencia de las condiciones del recinto en las que se realiza el ensayo. Existen varios trabajos que tratan de evaluar los efectos de luz no deseada durante mediciones tomadas en un goniofotómetro [8], pero el presente trabajo expone exclusivamente una metodología para su cuantificación. La capacidad de cuantificar la luz no deseada es indudablemente importante para laboratorios que quieran demostrar su capacidad técnica, ya que la incertidumbre combinada es más precisa mientras exista menos cantidad de valores estimados y mayores sean las magnitudes medidas.

2. Metodología.

Se han realizado mediciones en varias luminarias de distintas marcas y potencias durante un año, de acuerdo al sistema de gestión de calidad basado en la norma ISO 17025 implantado en el Laboratorio de Luminotecnia del INER. Las fotometrías obtenidas pueden ser analizadas matemáticamente de forma que se puede cuantificar la luz intrusa a partir de la definición de intensidad luminosa en función del flujo luminoso. Se puede realizar una aproximación sobre la integral para calcular el flujo luminoso total por medio de sumatorias de las intensidades.

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega}$$

Donde I es la intensidad luminosa, ϕ es el flujo luminoso total y Ω es el ángulo sólido.

$$\phi = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} I_{\theta,\varphi} \text{sen}\theta d\theta d\varphi$$

$$\phi \approx \sum_{\varphi} \sum_{\theta} I_{\theta,\varphi} \text{sen}\theta \Delta\theta \Delta\varphi$$

Se conoce de acuerdo a la norma CIE [1] que la luminaria debe medirse con un ángulo de inclinación igual a cero. Esto implica un porcentaje neto muy reducido de flujo sobre el ángulo $\gamma=90^\circ$, sin embargo, los valores de la matriz de distribución de intensidades en estas posiciones no son igual a cero [9].

Estas lecturas son luz intrusa, causada por la reflexión de la luz emitida por la fuente en las paredes, techo y piso de los cuartos del goniofotómetro. Se calculó este valor de flujo realizando un programa que calcule el flujo mediante la ecuación aproximada. En el caso del experimento se tomó un valor de $\Delta\theta=\pi/18$ y $\Delta\varphi=\pi/36$, por tanto la ecuación de cálculo se modificará a la siguiente expresión.

$$\phi \approx \frac{\pi^2}{148} \sum_{\varphi} \sum_{\theta} I_{\theta,\varphi} \text{sen}\theta$$

A continuación se realiza el cálculo para una luminaria

$$\phi_R = \phi_m - 2S$$

Donde ϕ_m es el flujo medido, ϕ_R es el flujo real y S es la luz intrusa sobre $\gamma=90^\circ$, se entiende que la caja fotométrica es simétrica, por tanto la luz intrusa total será igual por debajo de $\gamma=90^\circ$ y el total será $2S$.

Se tomaron en cuenta todas las fotometrías realizadas en el Laboratorio de Luminotecnia en el que se encuentran fotometrías de diferentes tecnologías y para diferentes aplicaciones. Para el presente trabajo se considera que la luz intrusa debe ser independiente del tipo de fuente de luz sometida al ensayo.

Finalmente, para tomar el valor efectivo de luz intrusa independiente se realiza el cálculo porcentual de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\%S = \frac{\phi_R}{2S} 100\%$$

3. Resultados y discusiones.

Una fotometría típica obtenida bajo estos parámetros simula un sólido tridimensional de distribución de luz como se muestra en la Figura 1. A simple vista sobre $\gamma=90^\circ$ no existe ninguna clase de luz medida.

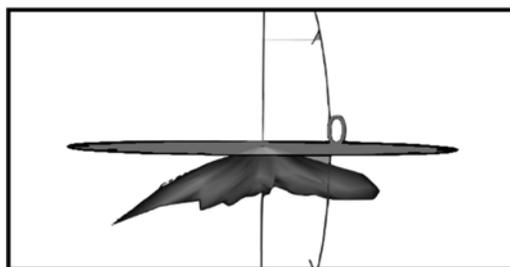


Figura 1. Distribución de intensidades luminosas de una luminaria.

Sin embargo, si se realiza una ampliación de imagen se puede ver una protuberancia en el sólido sobre $\gamma=90^\circ$, (Figura 2) este sólido en forma de pico no pertenece a la medición, es precisamente la luz intrusa que se desea medir.

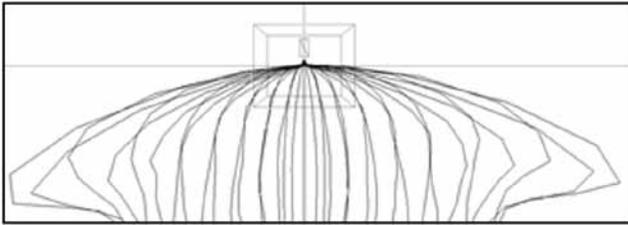


Figura 2. Protuberancia en el sólido de distribuciones que representa la luz intrusa.

Luego de realizar el cálculo de la luz intrusa total (2S) con el programa desarrollado, se puede observar que tiene un comportamiento lineal con respecto a la potencia de la luminaria ensayado como se muestra en la Figura 3. Esto es explicable debido a que la luz intrusa tiene que ver principalmente con las reflexiones en la caja fotométrica, es decir, en el piso, paredes y techo del goniofotómetro. Si la luminaria tiene más potencia, generalmente debe entregar más luz. La medida que caracteriza esta relación se conoce como eficacia y se mide en lm/W . La variación de eficacias en las diferentes luminarias ensayadas puede observarse en la dispersión de los datos con respecto a su media tendencial.

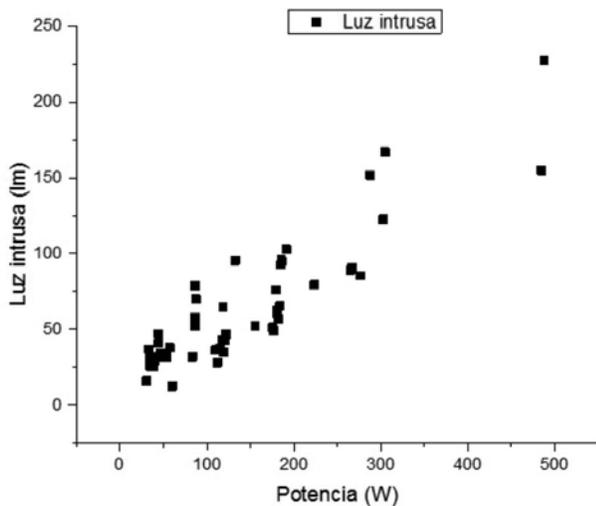


Figura 3. Luz intrusa total en función de la potencia de la fuente de luz.

La evaluación del valor que se implementará en el cálculo de la incertidumbre, se realizará utilizando un análisis estadístico de la luz intrusa porcentual. La Figura 4 presenta el número de luminarias por

intervalos de clase de ancho 0.1%, desde 0 a 1.6% que es la máxima calculada.

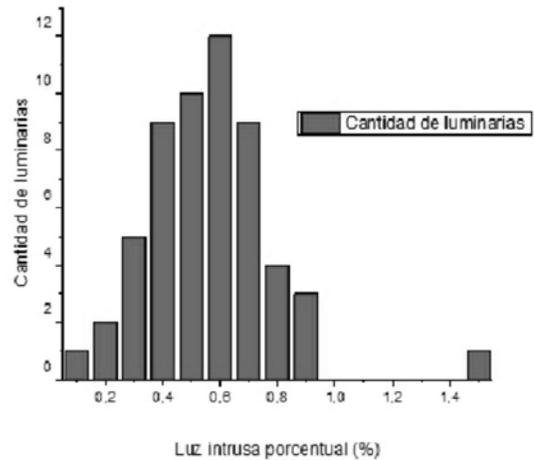


Figura 4. Número de luminarias por cada 0.1% de luz intrusa porcentual.

La Figura 4, muestra un comportamiento muy típico de variables aleatorias. Si se supone esta naturaleza de los valores se puede ajustar una curva gaussiana donde la posición del máximo representaría la media de la luz intrusa porcentual y la anchura a media altura (fwhm) su incertidumbre estándar.

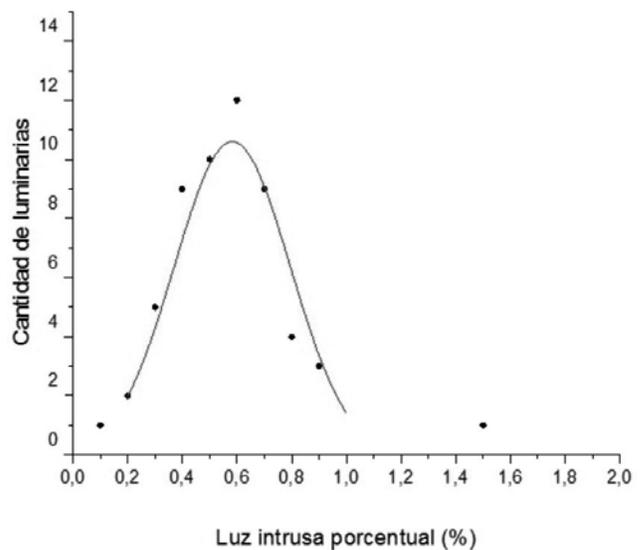


Figura 5. Función gaussiana ajustada al número de luminarias en función de la luz intrusa porcentual.

En el caso de este experimento, se encontró un 0.58% como valor medio de luz intrusa con una incertidumbre estándar de 0.49%. Estos valores son significativos debido a que en el modelo de cálculo de incertidumbre

combinada de la obtención de fotometrías presentado en la revista I+T+C edición 2015, se estimó este valor en 0.1% con incertidumbre estándar de 0.05%. Con estos valores se puede mejorar el cálculo utilizando dicho modelo.

Existieron dos valores no esperados sobre el 4% de luz intrusa. Estos datos fueron comprobados mediante la repetición de las mediciones de las luminarias a las que pertenecía este valor. En su repetición se encontró un valor de 0.4%, lo que implica que existieron otras causas para esos valores de luz intrusa, como puede ser el olvido para apagar la iluminación del goniómetro, la lámpara auxiliar encendida, la puerta abierta, entre otros.

4. Conclusiones.

El método de cálculo de la luz intrusa porcentual es aplicable para todos los tipos de goniómetros, debido a que es independiente de la forma de medición o de la fuente de luz medida.

Es una técnica que se basa en la naturaleza aleatoria de las medidas, esto implica mantener las paredes, piso y techo del goniómetro en mantenimiento constante, si esto no ocurre la capacidad de atenuación lumínica de la caja fotométrica empezará a disminuir, lo que provocaría una tendencia de crecimiento que no se ajusta al análisis presentado en este trabajo.

El programa desarrollado de acuerdo a las ecuaciones presentadas puede servir a los distintos laboratorios para realizar otros tipos de análisis como verificar los cálculos de su programa de simulación o calcular el flujo de una sección determinada del sólido.

La incertidumbre combinada alineada con la norma ISO17025 tiene un cálculo más fino y real con este valor medido de luz intrusa, además el método presentado tiene la característica de modificarse automáticamente con cada medición realizada, mejorando su robustez.

Adicionalmente, la alerta en valores no esperados puede servir como método de validación del ensayo por parte del sistema de gestión de calidad de cada laboratorio, es decir de acuerdo a los resultados de la medición de luz intrusa, objeto del presente trabajo, la estimación de este fenómeno es significativamente mayor al considerado inicialmente para el cálculo de

incertidumbre, consecuentemente es recomendable que los laboratorios realicen mediciones de luz intrusa con la finalidad de presentar de mejor manera sus ensayos.

Referencias.

- [1] CIE 121. The Photometry and Goniophotometry of Luminaires. 1996.
- [2] IES-LM-79-08. Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products, 2008.
- [3] CIE 140. Road Lighting Calculations, 2000.
- [4] CALIPER. Accounting for Uncertainty in Lumen Measurements, 2011.
- [5] C. Velásquez y F. Espín. Cálculo de la incertidumbre combinada en un goniómetro de espejo rotante tipo C y una esfera de Ulbricht. En: I+T+C Investigación Tecnología y Ciencia, nº 9, pp. 29-35, 2015.
- [6] K. Narisada y D. Schreuder, Light Pollution Handbook, Springer, 2004.
- [7] J. C. Medina, K. A. Avrenli y R. F. Benekohal. Field and Software Evaluation of Illuminance from LED Luminaires for Roadway Applications. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, pp. 55-64, 2013.
- [8] C. Velásquez y F. Espín. Stray Light Measurement with Solid State Light Luminaire in A C-Type Goniophotometer with Rotating Mirror. En: Proceedings of CIE 2016 "Lighting Quality & Energy Efficiency", Melbourne, 2016.
- [9] UL 8750, Light Emitting Diode (LED) Equipment for Use in Lighting Products, 2009.