

Requerimientos de calidad para luminarias led en iluminación urbana

Resumen

El diseñador de iluminación requiere de información técnica de las luminarias con tecnología led a fin de poder evaluar la calidad del producto y poder dimensionar adecuadamente las instalaciones de acuerdo a normas. También es necesaria para poder comparar distintas alternativas bajo los mismos requisitos de calidad.

Por sus características, las luminarias led hacen que la obtención de la indicatriz de distribución de luz en el espacio (fotometría) y los criterios de calidad difieran de las luminarias tradicionales con lámparas de descarga convencionales. La medición fotométrica relativa al flujo de lámpara, normal en luminarias tradicionales, no es válida en luminarias led, y debe ser reemplazada por la fotometría absoluta debido a su comportamiento térmico. Además, parámetros como el rendimiento de la luminaria son reemplazados por eficiencia en lúmenes por watt.

La medición espectro radiométrica y la de componentes de armónicos eléctricos se agregan a la información básica necesaria para determinar la calidad en luminarias led.

La justificación de las mediciones indicadas, los requisitos de los laboratorios, las normas de referencia y la metodología a utilizar serán descritas en el presente trabajo.

Palabras clave

Luminarias, led, fotometría, eficiencia luminosa, espectro, coordenadas cromáticas, armónicos, mantenimiento.

Introducción

En el alumbrado urbano, las luminarias tradicionales, todavía de uso masivo, emplean en general lámparas de descarga de alta intensidad, de sodio de alta presión (HPS) o de mercurio con vapores metálicos (HIT). Las nuevas luminarias con tecnología led que reemplazarían a la tecnología tradicional, cuando técnica y económicamente sea oportuno -Manzano E. y Manzano C. (2013)-, poseen características de construcción y funcionamiento muy diferentes lo cual hace necesaria la implementación de nuevos métodos de caracterización de la calidad y medición. Una situación que requiere mayor atención aún es el caso de luminarias destinadas a zonas con protección ambiental o zonas cercanas a observatorios astronómicos.

Surge de lo enunciado anteriormente la necesidad de incorporar en el ensayo de luminarias led la fotometría absoluta, la medición de emisión luminosa en el hemisferio superior, la eficiencia luminosa, la medición espectral y la medición de contenidos de armónicos.

Para ello los laboratorios de ensayo tienen también ciertos requerimientos especiales.

Los ensayos de protección mecánica, estanqueidad (IP, IK) y eléctrica actuales para luminarias convencionales son en general aplicables también a las luminarias led por lo cual no se discute este tema en el presente trabajo. Mayores detalles pueden consultarse en la norma IRAM-AADL J 2020-4 (2014), la cual especifica los requisitos de seguridad que incluye al equipamiento eléctrico-electrónico, conexiones eléctricas, puesta a tierra, materiales constitutivos de la luminaria, como así también sus características de estanqueidad y sobreelevación de la temperatura.

Características del ensayo

Fotometría absoluta

El cálculo de iluminancia o luminancia producida por una instalación de iluminación en puntos de interés requiere de la información fotométrica (fotometría) de la luminaria utilizada. Esto es, cómo distribuye la luz en el espacio, representada por valores de intensidades luminosas en planos verticales C cuyos ejes de giro pasan por el centro de la luminaria y ángulos de elevación γ (gamma) respecto del nadir según recomendaciones CIE 121 (1996). La fotometría para luminarias tradicionales se realiza con una lámpara de referencia, envejecida, de flujo luminoso conocido medido previamente por medio de una esfera integradora o por medio de un fotogoniómetro. Se obtiene así la matriz de intensidades luminosas en los distintos planos y ángulos. Cada valor intensidad luminosa (cd) se refiere al flujo de la lámpara de referencia (cd/klm) para que la fotometría sea independiente de las posibles variaciones si luego en el diseño se adopta una lámpara similar en dimensiones y características de flujo luminoso conocido. La fotometría relativa supone que el comportamiento de lámpara fuera y dentro de la luminaria es similar, por lo cual la luminaria debe tener dimensiones adecuadas para disipar el calor generado y mantener el régimen de funcionamiento. La tensión de lámpara fuera y dentro de la luminaria se emplea como elemento de control en este caso.

En el caso de luminarias led, el método relativo de medición no puede ser utilizado; la razón es que los ledes (discretos, en módulos

o placas) presentan una respuesta distinta de cuando están dentro de la luminaria a cuando esta fuera de ella. Si bien las primeras luminarias led permitían que la fuente emisora de luz pudiera extraerse de la luminaria (como en el caso de luminarias tradicionales) y medida por separado, el flujo luminoso cambiaba significativamente debido a diferencias en las condiciones térmicas de operación. Fuera de la luminaria presenta generalmente mayor flujo. Un caso similar se observa en luminarias con lámparas a inducción, pero allí la lámpara fuera de la luminaria puede emitir un flujo luminoso menor respecto de cuando está dentro de la luminaria.

La tendencia actual de fabricación de luminarias led es que el módulo de ledes esté adherido al mismo cuerpo de aluminio de la luminaria que actúa como disipador, con lo cual es imposible la separación. Por lo tanto para luminarias led se efectúa una fotometría absoluta en cd sin alterar la muestra, manteniendo la hermeticidad y características de disipación de operación para la cual fue diseñada.

En la figura 1 se puede observar una representación gráfica de las curvas de intensidad luminosa en candelas (cd) para los tres planos verticales más representativos de la fotometría absoluta.

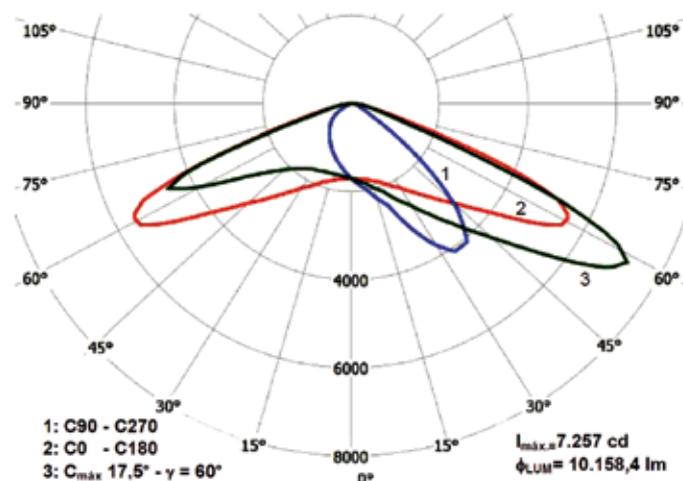


Figura 1. Curvas de intensidad luminosa de una luminaria led en fotometría absoluta (cd) en tres planos C.

Se destaca, además, que el comportamiento fotométrico de una luminaria convencional es representativo de la calidad del producto debido a que las variaciones individuales en un lote se minimizan

al efectuar la fotometría relativa, por cuanto variaciones del flujo luminoso de la lámpara y de las características del equipo auxiliar se cancelan al referir los valores de intensidad al flujo de lámpara. Esto aparentemente no ocurre con luminarias led ya que las variaciones de flujo luminoso total entre especímenes de un mismo lote pueden ser significativas, tema que está actualmente bajo estudio en el departamento de Luminotecnia, Luz y Visión de la Universidad Nacional de Tucumán (DLLyV-ILAV UNT). En consecuencia es recomendable obtener el promedio de las mediciones sobre un muestreo del lote cuando sea posible y cuando la magnitud de la obra lo justifique.

Fotometría del hemisferio superior

En casos en que el ámbito de aplicación exija minimizar el impacto ambiental o cuando la eficiencia energética se pondera o para instalaciones de iluminación próximas a observatorios astronómicos, se trata de eliminar o reducir la emisión de flujo luminoso hacia el cielo. En CIE 150 (2003) se recomiendan porcentajes máximos de emisión de flujo de la instalación de iluminación de acuerdo a una clasificación de zonas. En el mismo sentido, la IES TM15 (2007) incorpora una clasificación de luminarias considerando el grado de apantallamiento, lo cual se utiliza como criterio de calidad (ver figura 2). En el PRONUREE se exige una inmisión en el hemisferio

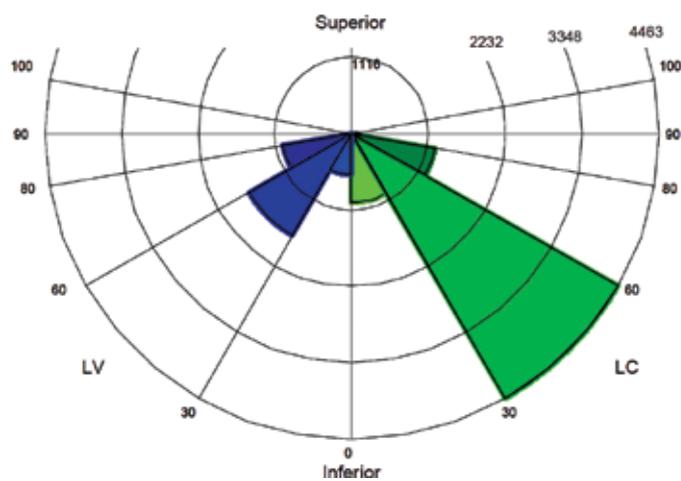


Figura 2. Flujo emitido por una luminaria según clasificación IES TM15 en el plano transversal a la calle.

superior inferior al 3% del flujo emitido por la luminaria. Un caso más estricto es el límite de no emisión por arriba del plano horizontal. En términos a un límite práctico, esto significa intensidades luminosas menores a 0,49 cd/klm -Cinzano (2011)- que correspondería al valor de 0 cd/klm fijado como objetivo. De allí que la sensibilidad mínima del sensor del fotogoniómetro debe ser menor que el límite práctico. Los valores de sensibilidad están relacionados, entre otros factores, con la calibración a bajos valores de intensidad y a minimizar la luz dispersa durante la medición en el laboratorio.

Parámetros eléctricos

En una luminaria con lámpara de descarga, las variaciones en su posición respecto a la normal de diseño de operación modifican la potencia y el flujo luminoso emitido. Los fabricantes indican las posiciones normales de operación y sus tolerancias (ver figura 3). Durante la fotometría y dependiendo del tipo de fotogoniómetro, la variación puede ser importante.

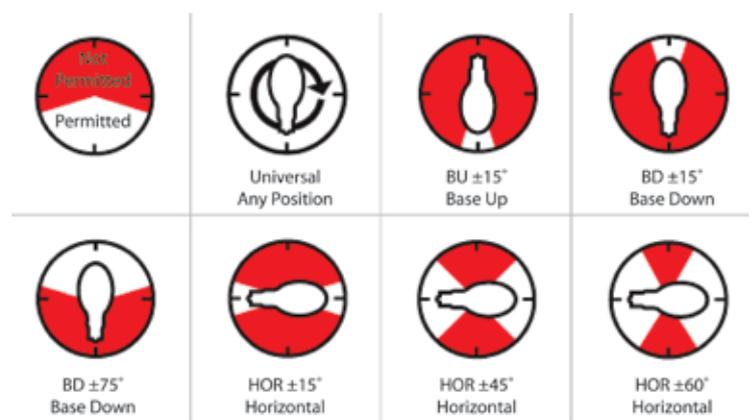


Figura 3. Indicación esquemática de posiciones permitidas de una lámpara de descarga.

En fotogoniómetro tipo C (ver figura 4) la luminaria gira en un eje horizontal que pasa por su centro paralelo al plano del piso describiendo los planos C y en un eje vertical al suelo describiendo los ángulos γ . El sensor se encuentra ubicado al frente de la luminaria. La posición de la luminaria no es la normal de operación, por lo

que variando el voltaje de alimentación se cuida de mantener la potencia constante para mantener constante el flujo luminoso. En un fotogoniómetro tipo C a espejo (ver figura 5) la luminaria gira solo en un eje vertical al piso que pasa por su centro describiendo así los planos C. El espejo en su recorrido proyecta las intensidades luminosas para distintos ángulos γ , siendo mínimas las variaciones de potencia. Para las luminarias que operan con un driver o con un equipo auxiliar electrónico con regulador de voltaje (que mantiene estable el funcionamiento de la fuente emisora de luz a pesar de las variaciones del voltaje de red), la fotometría no puede efectuarse a potencia nominal constante, pues no hay modo de regularla; solo puede efectuarse a voltaje nominal constante.



Figura 4.
Fotogoniómetro tipo C.



Figura 5.
Fotogoniómetro tipo C a espejo.

En el caso de luminarias led es muy importante que durante el ensayo la posición de funcionamiento no altere la forma de disipación térmica por convección del disipador.

Acondicionamiento térmico

Tanto los valores de intensidades luminosas como los parámetros eléctricos registrados son sensibles a cambios de la temperatura ambiente o al movimiento del aire debido a las características de disipación térmicas propias de las fuentes luminosas bajo ensayo, por lo tanto es necesario controlar la temperatura del aire en el entorno de la luminaria led. Las mediciones de temperatura deben realizarse con aire en calma (velocidad menor o igual a 0,20 m/s) libre de humo, polvo y niebla. La temperatura ambiente bajo la cual se llevan a cabo las mediciones, se recomienda sea mantenida en 25 ± 1 °C, medida en un punto situado a no más de un metro de la fuente luminosa bajo ensayo, y a la misma altura o por encima. El sensor de temperatura deberá estar protegido de la radiación óptica directa proveniente de la muestra bajo ensayo, y de la radiación óptica proveniente de cualquier otro tipo de fuente luminosa. Si se efectuaran mediciones a otras temperaturas de la recomendada, dichas condiciones no estándar deberán ser informadas y registradas en el informe final del ensayo. Para lámparas que no sean sensibles térmicamente, como es el caso de lámparas HID, puede aceptarse una tolerancia de temperatura de ± 3 °C. La norma IRAM-AADL J 2020-4 indica tolerancias mayores para luminarias led (25 ± 3 °C).

Eficiencia luminosa de la luminaria

Un parámetro utilizado como criterio de calidad para la selección de luminarias con lámpara de descarga es el rendimiento luminoso η (eta). La nomenclatura y el nombre varían de acuerdo al origen (coeficiente de utilización, eficacia luminosa, LOR 'Light Output Ratio'). El rendimiento total η_T (TLOR) se define como el flujo luminoso emitido por la luminaria respecto del flujo luminoso de la lámpara. Otras definiciones empleadas son:

- » η_{LC} : rendimiento lado calzada (LC), flujo emitido por la luminaria hacia la calzada respecto del flujo de la lámpara.
- » η_{LV} : ídem al anterior pero hacia la vereda (LV).
- » η_{HS} : rendimiento hemisferio superior, flujo emitido por la luminaria hacia el hemisferio superior (γ mayor o igual a 180°) respecto del flujo de la lámpara (ULOR).
- » η_{HI} : rendimiento hemisferio inferior, flujo emitido por la luminaria

hacia el hemisferio inferior (y menor a 180°) respecto del flujo de la lámpara (DLOR).

También se suelen indicar las curvas de rendimiento LC y LV en función de la altura de montaje, antiguamente utilizadas como herramienta gráfica para el diseño y actualmente utilizadas como criterio de calidad para selección de luminarias en el PRONUREE.

En el caso de luminarias led, al no medirse el flujo de los ledes o del módulo led separadamente de la luminaria, no se emplea el concepto de rendimiento. En este caso, es conveniente emplear el término eficiencia luminosa de la luminaria (η_V), indicado en la LM79, como criterio de calidad para distinguirlo η_{TOTAL} .

$$(1) \eta_V = \Phi_{LUM} (lm) / P_{LUM} (W)$$

donde Φ_{LUM} es el flujo luminoso de la luminaria bajo condiciones de funcionamiento de referencia y P_{LUM} la potencia eléctrica de consumida por la luminaria.

Como información gráfica, en analogía con las curvas de rendimiento, se pueden indicar las curvas de flujo emitido respecto del flujo total de la luminaria en función de la altura de montaje LC y LV (ver figura 6).

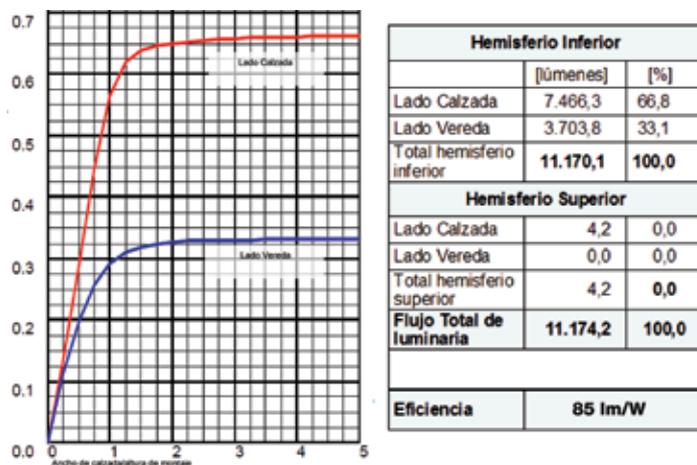


Figura 6. Información sobre flujo y eficiencia de una luminaria led.

La información de la eficiencia luminosa en lúmenes por watt de los ledes en forma individual separados de la luminaria pierde relevancia frente a η_V . Es más, muy probablemente confunda al lector si se informa en lugar de este último. La eficiencia luminosa de la luminaria led depende de la eficiencia del conjunto: fuente luminosa, óptica del sistema (85 a 90%), incluido el cierre exterior de la luminaria cuando existe, driver (90%) y dissipador (90 a 95%). Actualmente, con eficacias de los ledes de 120 a 130 lm/W en el módulo, la eficiencia luminosa de la luminaria puede alcanzar de 80 a 105 lm/W.

Medición espectral

La fotometría de luminarias con lámparas de descarga ha sido generalmente suficiente como información para:

- » Diseñar la iluminación de espacios al evaluar parámetros lumino-técnicos.
- » Evaluar el impacto ambiental de la instalación de alumbrado en base al flujo luminoso emitido en el hemisferio superior.
- » Caracterizar la apariencia del color en cuanto a temperatura de color correlacionada (T_{CC}) e índice de respuesta al color se refiere (IRC-Ra).

Respecto a los dos últimos puntos, debido a que el espectro de emisión de las lámparas de HID es característico y previsible, la

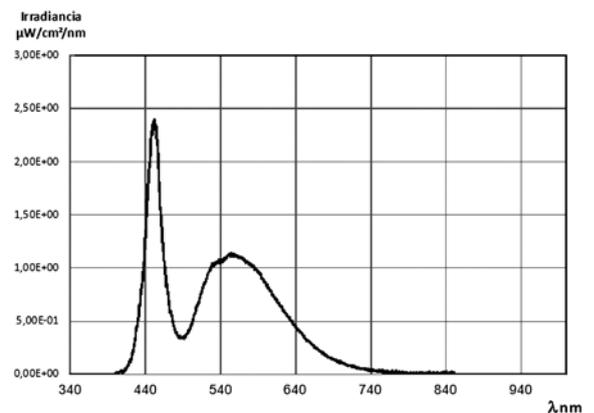


Figura 7. Medición espectral de luminaria led.

emisión de flujo luminoso y los parámetros de color no representan mayor dificultad. Sin embargo, el empleo de ledes en distinto número y con distintas características de emisión espectral hace necesario adicionar a la fotometría absoluta la medición espectral bajo las mismas condiciones de operación durante el ensayo fotométrico (ver figura 7).

A partir de la información espectral es posible evaluar el impacto ambiental. En zonas próximas a observatorios astronómicos interesa reducir no solo la emisión de flujo luminoso al hemisferio superior de las luminarias instaladas sino también controlar la naturaleza espectral de la emisión, en particular en la zona del ultravioleta, del azul y del infrarrojo. Al respecto, existen propuestas (ver figura 8) de limitar la radiancia espectral (L_v) respecto de la L_v en el intervalo visible entre 380 y 780 nm (L_v VIS):

- a) L_v entre 300 y 379 nm no podrá superar el 15% de la L_v VIS.
- b) L_v entre 380 y 499 nm no podrá superar el 15% de la L_v VIS.
- c) L_v entre 781 nm y 1 micra no podrá superar el 50% de la L_v VIS.

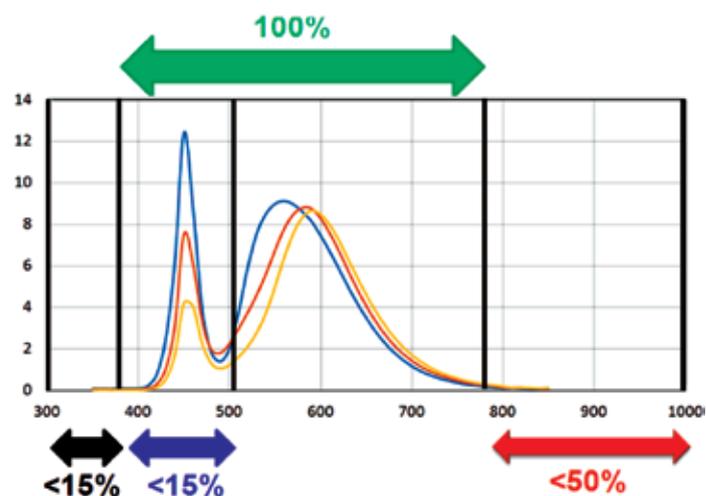


Figura 8. Límites de radiancia espectral y emisión espectral de luminaria con ledes de temperatura de color fríos, neutros y cálidos.

La medición de radiancia espectral implica el uso de un equipamiento muy costoso, el cual puede ser reemplazado por

un equipo más accesible si se midiera la irradiancia espectral. La diferencia entre ambos parámetros está dada fundamentalmente por un ángulo sólido que abarca el campo de medición de la radiancia y un área de medición en la irradiancia. Por ello interviene un sistema óptico en la medición de radiancia. Dado que los límites son valores relativos de radiancia, son posibles de reemplazar por irradiancia con la ventaja de que intervendrían equipos más accesibles económicamente.

La información espectral también es útil para valorar los posibles efectos de considerar la visión mesópica en el diseño de espacios urbanos nocturnos siempre y cuando la tarea tenga una componente visual periférica y los niveles de adaptación estén por debajo de 3 cd/m^2 . Para ello es necesario proveer información sobre la relación S/P (emisión espectral de la fuente luminosa ponderada con la curva de sensibilidad escotópica del ojo respecto de la fotópica), obtenida a partir de la información espectral de la luminaria. A partir de la relación S/P, se calculan los factores de ajuste para luminancias mesópicas en función de las luminancias fotópicas, pudiendo así ajustar en el diseño los valores de luminancia o iluminancia de diseño esperados.

La variabilidad que presentan los ledes para asociar parámetros cromáticos debidos a su propia naturaleza (*binning*) y/o la práctica de combinar ledes de distintos tipos en una misma luminaria hacen necesaria la medición de las características espectrales desde 300 a 1000 nm, para controlar los indicadores arriba mencionados y los parámetros de color como TCC e IRC (hasta tanto se definan otros parámetros más adecuados para luminarias led).

Contenido de armónicos

Para generar las formas de onda y valores de voltaje y corriente necesarios para garantizar el punto de operación óptimo de los ledes, se requiere el empleo de drivers o dispositivos electrónicos. Estos dispositivos, de no tener filtros adecuados, pueden introducir armónicos de corriente en las redes de distribución afectando la calidad de la energía (ver figuras 9 y 10).

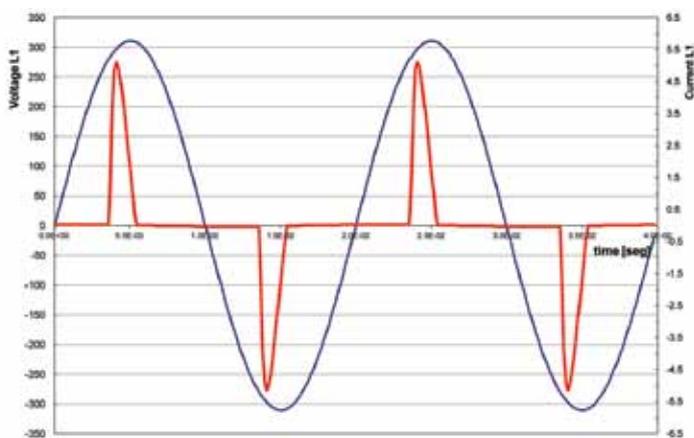


Figura 9. Voltaje y corriente de una luminaria led con driver sin filtros y alto contenido de armónicos.

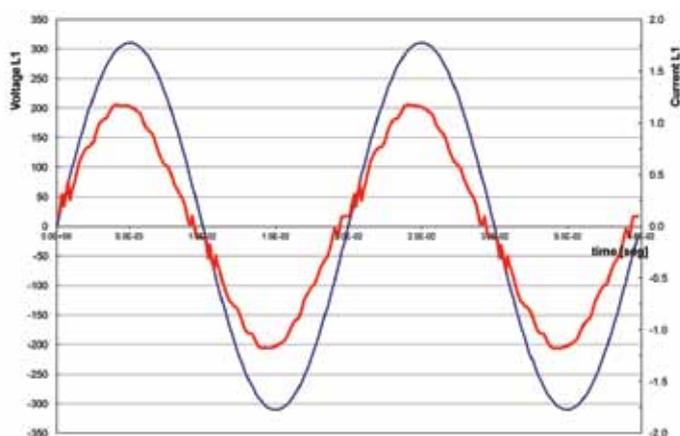


Figura 10. Voltaje y corriente de una luminaria led con driver con filtros y bajo contenido de armónicos.

Las mediciones de acuerdo a normas internacionales IEC61000-3-2 (2005) o su homóloga argentina IRAM 2491-3-2 garantizarían contenidos de armónicos admisibles, las que deberían realizarse simultáneamente con el ensayo fotométrico y bajo las mismas condiciones ambientales. Los valores medidos de armónicos de corriente (I_n) máximos permitidos por armónico (n) están expresados como porcentaje de la corriente de entrada a la frecuencia fundamental. Para $I_2 \leq 2\%$, $I_3 \leq (30 \cdot FP)\%$, $I_5 \leq 10\%$, $I_7 \leq 7\%$, $I_9 \leq 5\%$, y para n impares $11 \leq n \leq 39$ $I_n \leq 3\%$. La norma IRAM-AADL J 2020-4 exige un contenido de armónicos de corriente total THD $A \leq 15\%$ y un factor de potencia $FP > 0,90$.

Características del laboratorio y del equipamiento de medición

Los fotogoniómetros para la medición de la distribución de intensidades luminosas deben ser calibrados con patrones de iluminancia o intensidad luminosa trazables a patrones nacionales o internacionales. Al ser absoluta la medición, ahora es crítica la exactitud (más aún para garantizar los 0,49 cd/klm) además de la precisión. Una vez efectuada esta calibración es conveniente también validarla mediante la medición de flujo luminoso total de un patrón de flujo luminoso trazable a los patrones nacionales o internacionales.

La luz dispersa en el laboratorio, ya sea por reflexiones en paredes, techo o suelo cercanos a la luminaria, debe ser minimizada para garantizar que durante la medición en el hemisferio superior, y en particular en $\gamma = 90^\circ$, no se superponga al valor real emitido. En el caso de fotogoniómetros tipo C a espejo, la reflexión del suelo, que es la más preocupante, puede minimizarse con un apantallamiento adecuado sobre el sensor de modo que la proyección de la imagen de la luminaria vista desde el sensor abarque lo más ajustadamente posible el área luminosa de la luminaria. En otros tipos de fotogoniómetros es más complicado, más aún si el laboratorio es de dimensiones reducidas.

La trazabilidad de los patrones de intensidad luminosa y flujo luminoso se recomienda que tenga un período de validez no mayor a tres años o cien horas de uso acumuladas. Es conveniente que el laboratorio de fotometría participe en ejercicios de intercomparación con otros laboratorios de características similares como una forma de verificar el estado de los equipos de medición, de los patrones de referencia y de la metodología empleada. Esto permite ampliar la validación de la trazabilidad de equipos y patrones con respecto a los centros de calibración y referencia internacionales. La intercomparación conviene que se realice con mediciones de flujo luminoso y de distribución espacial de intensidades luminosas de fuentes luminosas y luminarias, respectivamente.

En la medición relativa, la lámpara de referencia envejecida y la estabilización previa al ensayo garantizaban la repetibilidad y

confiabilidad de los resultados. En luminarias led en general no se envejece la muestra, la estabilización queda garantizada cuando al menos para tres lecturas en intervalos de quince minutos el valor de intensidad luminosa y potencia permanecen dentro del 0,5%. Períodos de más de una hora son frecuentes hasta que se logra la estabilización.

Para las mediciones espectrales es conveniente que la calibración del espectrorradiómetro sea efectuada con fuentes luminosas patrones con distribución espectral similar a la fuente luminosa de la muestra a ensayar. La frecuencia de calibración del instrumental fotométrico, espectrorradiométrico y eléctrico, se recomienda, sea de dos años o menor.

Discusión y conclusiones

Dada la naturaleza de funcionamiento de la tecnología de estado sólido, para caracterizar las luminarias led, estas requieren de parámetros de calidad diferentes de las luminarias tradicionales que emplean lámparas de descarga (HID). La fotometría absoluta de intensidades luminosas es necesaria junto a la medición espectral y a la medición de contenidos de armónicos eléctricos. Los requerimientos del laboratorio de medición presentan en este caso mayores exigencias.

Para caracterizar una luminaria led, se recomienda como parte de información técnica, la fotometría absoluta, la fotometría del hemisferio superior, la eficiencia (global, lado calzada, vereda, etc.), la distribución espectral, coordenadas cromáticas, la relación S/P y los factores mesópicos para distintas luminancias, el contenido de armónicos y los tradicionales ensayos mecánicos y eléctricos. Otros datos como supervivencia y depreciación combinados, así como cambios en la emisión espectral y por lo tanto en el IRC durante la vida de la luminaria led son también necesarios de evaluar, los cuales están en proceso de estudio en la UNT.

La eficiencia luminosa de la luminaria led es un parámetro de calidad muy relevante, no así la eficiencia individual de los ledes empleados, módulo o placa de la luminaria en forma aislada y bajo condiciones de funcionamiento eléctrico-térmicas

diferentes. Desde los primeros ensayos de luminarias led unos cinco años atrás, la eficiencia luminosa ha pasado de 20 lm/W a superar los 100, sin embargo, la diversidad de calidad en los componentes empleados no garantiza que actualmente todas presenten este último valor por lo cual es necesario este parámetro como indicador de partida para evaluar la calidad. Cabe destacar que la eficiencia luminosa es un primer indicador de calidad. La eficiencia evaluada sobre toda la vía de tránsito para iluminar (calzada y vereda) en relación a los costos intervinientes (instalación, consumo, mantenimiento) durante la vida útil, es el indicador más conveniente para comparar y seleccionar alternativas. El impacto ambiental en la generación de residuos debería también evaluarse.

Debido a los rápidos cambios tecnológicos que sufren las luminarias led, es conveniente que la validez de un ensayo sea por un período menor a dos años y que el laboratorio de ensayo conserve, durante al menos dicho período, la muestra ensayada inalterable para garantizar la repetibilidad de los resultados si así fuera necesario.

Otro aspecto que también hace a la calidad de las luminarias led es la facilidad para realizar su mantenimiento. Lo ideal sería una luminaria con mantenimiento cero, es decir que una vez que se instale no requiera prácticamente atención, que no falle, que no se deprecie por envejecimiento, que no se ensucie y que al final de su vida útil se cambie por una nueva sin impactar en el medioambiente. El cambio de tecnología tradicional de luminarias con lámparas de descarga led se acerca más a un mantenimiento bajo. Actualmente, se habla de una vida de 35.000 a 50.000 horas, al cabo de la cual la depreciación alcanzaría el 30%, lo cual técnicamente es una mejora importante respecto de la tecnología tradicional.

Datos sobre la tasa de averías (módulos led y drivers) son todavía escasos por el tiempo reducido de uso transcurrido. Si efectivamente fuera muy baja, las operaciones de inspección nocturna y reparación in situ de averías por falla de luminarias podrían dar lugar a otro tipo de detección más económico y al reemplazo completo y reparación posterior en taller (si

la tecnología todavía existiese). En caso de reparación en el taller, el cierre que garantizara una buena hermeticidad no requeriría aperturas especiales para el operario ubicado en una cesta en altura.

En cuanto a la depreciación por suciedad, los períodos de limpieza de las partes ópticas serían similares a la tecnología tradicional. Habría que garantizar un diseño autolimpiante y sencillo del disipador.

Agradecimientos

Los autores agradecen por el apoyo financiero para la realización de este trabajo a la Universidad Nacional de Tucumán proyecto PIUNT E523 y a la Secretaría de Políticas Universitarias y Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Nivel Superior (CAPES -Brasil) programa CAFB-BA 023. También agradecen a la Oficina de Protección de la Calidad del Cielo del Norte de Chile (OPCC) y al CONICET.

Referencias

Nota del editor: la nota técnica aquí publicada está respaldada por una extensa bibliografía cuyas referencias no se publican por normas editoriales. Por consultas de esta índole, o cualquier otra acerca de la temática tratada, consultar a los autores.

Acerca de los autores

Manzano es docente investigador del DLLyV-UNT, director de la Maestría en Luminotecnia y jefe del DLLyV-UNT, miembro de la Asociación Argentina de Luminotecnia.

Raitelli es magíster en Luminotecnia y docente investigador del DLLyV-UNT y responsable del área de servicios del DLLyV-ILAV, miembro de la Asociación Argentina de Luminotecnia.

Cabello es magíster en Luminotecnia y docente investigador del DLLyV-UNT y jefe del Laboratorio de Fotometría del DLLyV-ILAV, miembro de la Asociación Argentina de Luminotecnia.

Sanhueza es director de la Oficina de Protección y calidad del Cielo de Chile.

Galleguillos es especialista MAVILE, diseñador industrial y director de Aladdin Lighting Ltda. Del departament de Investigación y Desarrollo, Chile.

Rodríguez Rübke es magíster en Ingeniería Eléctrica e ingeniero electrónico, profesor retirado de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y exjefe del Laboratorio de Fotometría de la PUCV.

Calixto Burini es doctor ingeniero, profesor e investigador del Instituto de Energía y Ambiente da Universidade de San Pablo, Brasil. ❖

Por

**E. Manzano, M. Raitelli, A. Cabello, P. Sanhueza,
P. Galleguillos, L. Rodríguez Rübke y E. Calixto Burini.**