

Propuesta de etiquetado global de eficiencia energética y fotométrica de luminarias led para interiores

Alberto Cabello,
Sophía Heredia y Mario Raitelli
Departamento de Luminotecnia, Luz
y Visión "H.C.Bühler"
Facultad de Ciencias
Exactas y Tecnología
Universidad Nacional
de Tucumán

acabello@herrera.unt.edu.ar
sophia.heredia@hotmail.com

Resumen

Se presenta una propuesta para establecer un etiquetado global (eficiencia energética más calidad de iluminación) de luminarias con tecnología led de aplicación industrial y civil (uso comercial, educacional y oficinas) con el objetivo de establecer pautas de calidad de iluminación y sumar una etiqueta en las luminarias que indique al potencial usuario una escala de calidad que minimice la cantidad necesaria de luminarias para cumplir con los niveles de iluminación establecidos por las normas.

Para ello se ha desarrollado una metodología [1] que permite caracterizar luminarias con tecnología de estado sólido (leds) de manera integral, esto es, no solo desde la óptica de la eficiencia energética (evaluación del consumo respecto de la cantidad de luz emitida, en unidades de lúmenes/watts), sino también desde el punto de vista de la calidad de la iluminación, o sea, teniendo en cuenta parámetros fotométricos tales como la amplitud y forma de la distribución de intensidades luminosas (nivel de iluminación y uniformidades), lo cual influye sobre la cantidad de luminarias que se necesitan por unidad de área o longitud, en el caso de luminarias de interiores de aplicación comercial e industrial.

Con los resultados obtenidos, se busca definir índices de calidad que permitan al diseñador de iluminación seleccionar las luminarias más adecuadas para su proyecto desde el punto de vista del consumo y de la minimización de costos iniciales en la etapa de diseño de instalaciones de alumbrado, nuevas o reconversión de existentes, que incorporen la nueva tecnología.

Palabras clave: Eficiencia energética. Diseño de iluminación. Fotometría.

Introducción

En el ámbito de la iluminación de espacios públicos y privados, durante décadas la tecnología de descarga de gases ha predominado debido a su gran capacidad en la producción de luz, y con niveles aceptables de eficiencia.

Sin embargo, los avances tecnológicos y la problemática ambiental hacen aumentar que cada vez más la demanda de fabricar productos con mayor eficiencia, sumándose a la consideración aspectos que antes no eran tan relevantes, como la radiación de energía fuera del rango visible, las pérdidas por absorción y/o reflexiones internas dentro del conjunto óptico de una luminaria y las características cromáticas como la temperatura de color y la reproducción de colores. Estos

avances, en general, van en desmedro de la utilización de iluminantes de tecnología convencional y a favor de iluminantes de tecnología no convencional caracterizados principalmente como led [2].

En los últimos años, el sector de la iluminación ha experimentado un gran avance gracias a la aparición de aplicaciones cada vez más eficientes y variadas basadas en la tecnología led.

El advenimiento de la tecnología de fuentes de luz de estado sólido —presentada como “la tecnología más eficiente de producción de luz”—, constituye un salto tecnológico en el campo de la iluminación similar al registrado en la informática durante los años ‘90 y 2000, en el sentido que el desarrollo de lámparas y luminarias para determinadas aplicaciones está tornándose de alcance masivo (mezcla de luces, manipulación de intensidades, control dinámico de la escena) lo que demanda investigaciones sobre criterios apropiados e identificación de daños que deben evitarse [3].

Los leds constituyen una tecnología avanzada y novedosa, cuyo punto más destacable respecto a cualquier otro tipo de tecnología de iluminación es la eficacia luminosa, que actualmente se sitúa entre ochenta y cien lúmenes por watt (80-100 lm/W), con una previsión a futuro de alcanzar los 150. Por ello, los dispositivos de iluminación basados en esta tecnología favorecen el ahorro y eficiencia energética, contribuyendo así a la consecución de objetivos de reducción de gases de efecto invernadero para el año 2020.

Cabe destacar también la elevada vida útil de las lámparas led, lo que unido al bajo consumo de energía eléctrica podría permitir un retorno de la inversión en un periodo de tiempo reducido, sobre todo en el sector terciario e industrial.

Otros puntos importantes de la tecnología led son la ausencia de radiaciones ultravioletas e infrarrojas, la escasa generación de calor, el encendido instantáneo, el buen rendimiento de color y la posibilidad de regulación de la luz que permite una gestión total de la instalación de alumbrado.

Sin embargo, es fundamental que se garantice la calidad de los leds y equipos auxiliares mediante especificaciones técnicas que cumplan los requisitos establecidos en las pertinentes normas técnicas, tanto en lo que afecta a las definiciones y métodos de medición, como a los valores límite exigibles, ajustándose al diseño ecológico requerido por protocolos ambientales [4].

Definiciones (Reglamento UE n.º 874/2012 de Etiquetado Energético de Lámparas y Luminarias)[5]

- » Eficacia luminosa de una fuente. Relación entre el flujo luminoso total emitido y la potencia total absorbida por la luminaria. La eficacia de una fuente se expresa en lumen por watt (lm/W).
- » Clases de eficiencia energética para lámparas y módulos led. La clase de eficiencia energética resulta de un índice de eficiencia energética (EEI), que se calcula como sigue y redondeado hasta dos cifras decimales:

$$(1) EEI = P_{cor}/P_{ref}$$

- » Potencia P_{cor} de la fuente. En el caso de leds, P_{cor} es la potencia total absorbida por la luminaria (PL) para luminarias con controlador externo de intensidad y corregida con el factor 1,1. La potencia total absorbida por la luminaria se mide en su tensión nominal [5]. Por lo tanto, $P_{cor} = PL \times 1,1$.
- » Potencia de referencia P_{ref} . Potencia de referencia obtenida de un flujo luminoso útil de luminaria en uso (Φ_{use}) según las siguientes ecuaciones:

- Para luminarias con Φ_{use} menor a 1.300 lúmenes:

$$(2) P_{ref} = 0,88 \sqrt{\Phi_{use}} + 0,049 \Phi_{use}$$

- Para luminarias con Φ_{use} mayor o igual a 1.300 lúmenes:

$$(3) P_{ref} = 0,07341 \Phi_{use}$$

Clases de energía según índice EEI

Clase de energía	EEI para lámparas no direccionales y módulos led
A++	Hasta 0,11
A+	0,11-0,17
A	0,17-0,24
B	0,24-0,6
C	0,6-0,8
D	0,8-0,95
E	0,95 o más

Metodología de análisis

Tomando como punto de partida las definiciones precedentes, se efectúa un análisis de un conjunto de muestras de luminarias led considerándolas como unidad "fuente luminosa + driver electrónico" con el fin de evaluar su calidad desde el punto de vista de cantidad de flujo por unidad de potencia consumida [lm/W], para luego evaluar su calidad de distribución del flujo luminoso sobre un área de referencia, en función del nivel de iluminación y del grado de uniformidad considerados como óptimos.

Luminarias led seleccionadas

En la primera etapa de este análisis se dispone de un conjunto de luminarias led para usar en interiores, clasificadas en dos grupos: I) para uso industrial y II) para uso público (comercios, oficinas, salones de venta, aulas, etc.).

Esquemas referenciales para el análisis

Altura de montaje. Para el grupo I se consideran siete metros; para el grupo II, 3,5.

Reflectancias del recinto de referencia. Para el cálculo en ambos grupos se utilizaron reflectancias de ochenta por ciento para el techo, cincuenta para las paredes y veinte para el suelo.

Área de referencia. Para ambos grupos se considera una superficie cuadrada de diez metros por lado, es decir, cien metros cuadrados (100 m²).

Indicador para análisis. Se utiliza el concepto de potencia específica de iluminación (PEI) de una

instalación de alumbrado, expresada como los watts disipados por el sistema por unidad de superficie y por cada cien luxes de iluminancia horizontal (W/m² 100 lx) [6], [7]. A partir de este indicador de calidad, se buscará un indicador relacionado que minimice la cantidad de luminarias necesarias para alcanzar un nivel de iluminancia mayor o igual a cien lux, además de un grado de uniformidad ($g = E_{\min}/E_{\text{med}}$) mayor o igual a 0,6 (condición simultánea).

Procedimiento para el análisis. 1) para cada luminaria evaluada en cada grupo (I o II), se determina la cantidad de luminarias necesaria para obtener luminancia media mayor o igual a cien luxes con uniformidad mayor o igual a 0,6 en una superficie de cien metros cuadrados y altura de 3,5 o siete metros, según el grupo; 2) con la iluminancia obtenida se calcula PEI según la siguiente expresión:

$$(4) \text{ PEI} = (100 \times N \times \text{PL}) / (\text{Em} \times \text{Sup})$$

donde N es la cantidad de luminarias y PL , la potencia en watts que consume cada una.

Definición de índice de calidad lumínica QL de una luminaria. Si se ordena la ecuación (4) de modo tal de separar los términos de la siguiente manera:

$$(5) (\text{Em} \times \text{PEI}) / 100 = (N \times \text{PL}) / \text{Sup}$$

dado que la superficie es de cien metros cuadrados, se obtiene la siguiente igualdad:

$$(6) \text{Em} \times \text{PEI} = N \times \text{PL}$$

que se puede ordenar de la siguiente manera:

$$(7) \text{PEI} / N = \text{PL} / \text{EM} = \text{QL}$$

Queda definido un índice comparativo de calidad lumínica QL para luminarias en una instalación de referencia.

Se observa que a mayor cantidad de luminarias necesarias para superar una uniformidad de 0,6 en el recinto de referencia, menor será la calidad lumínica de la luminaria.

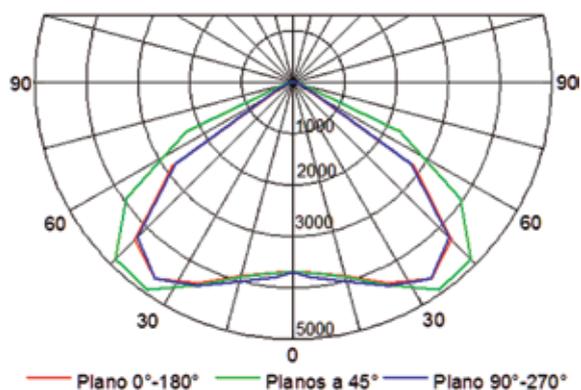


Figura 1. Luminaria GI-1, grupo I (luminarias de uso industrial)

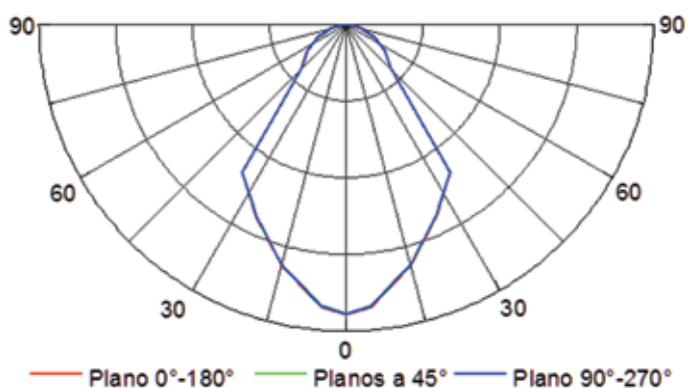


Figura 2. Luminaria GI-2, grupo I (luminarias de uso industrial)

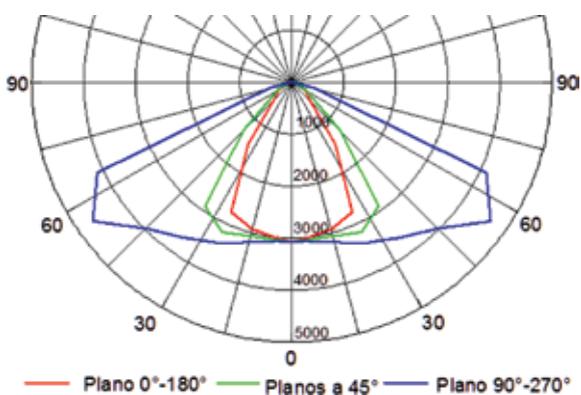


Figura 3. Luminaria GI-3, grupo I (luminarias de uso industrial)

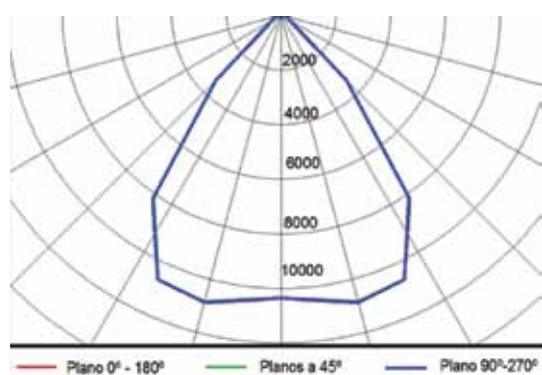


Figura 4. Luminaria GI-4, grupo I (luminarias de uso industrial)

Figura 5. Luminaria GI-5, grupo I (luminarias de uso industrial)

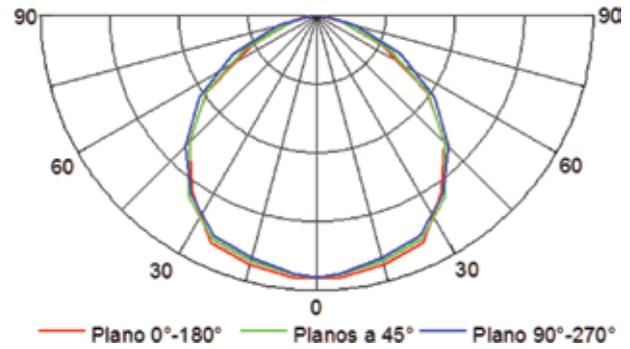


Figura 6. Luminaria GII-1, grupo II (luminarias de uso civil)

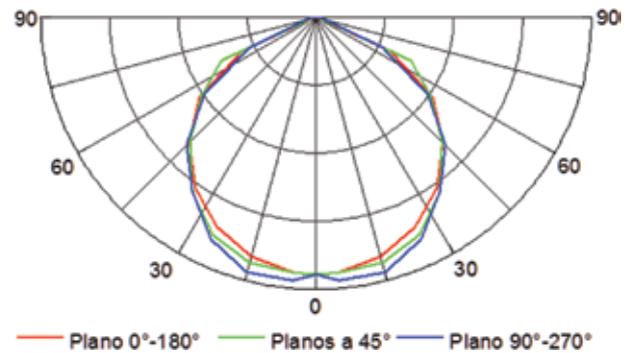


Figura 7. Luminaria GII-2, grupo II (luminarias de uso civil)

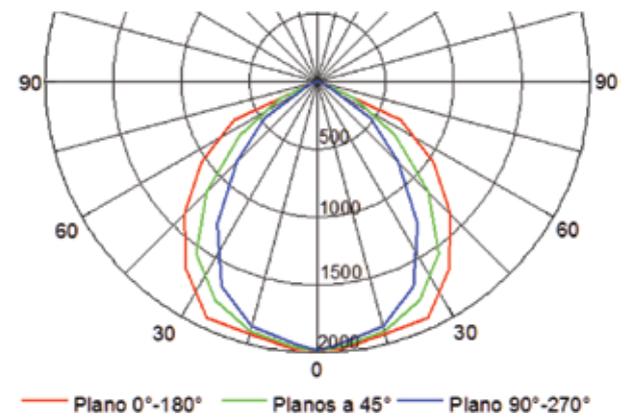
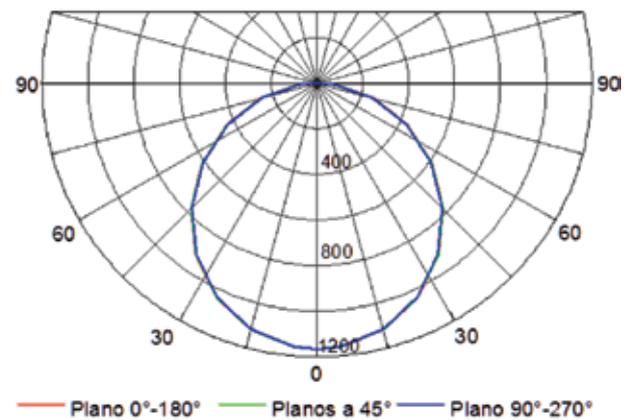


Figura 8. Luminaria GII-3, grupo II (luminarias de uso civil)



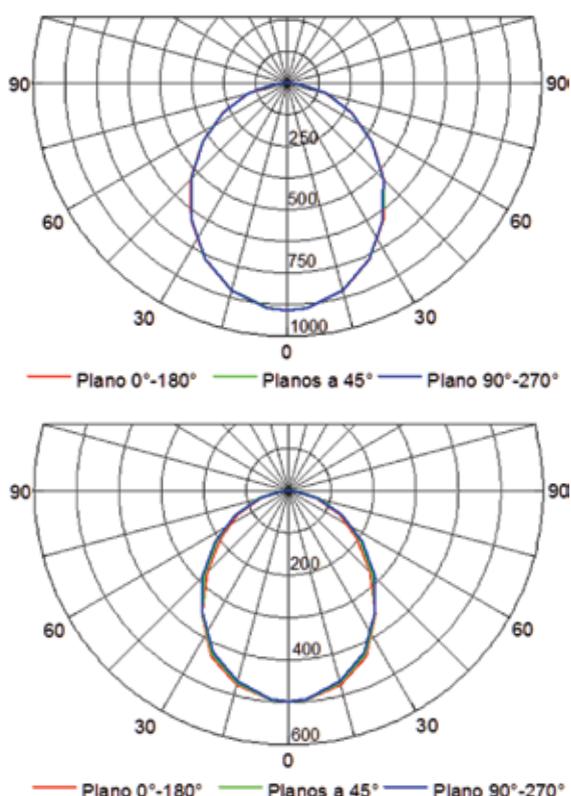


Figura 9. Luminaria GII-4, grupo II (luminarias de uso civil)



Figura 10. Luminaria GII-5, grupo II (luminarias de uso civil)

Índice de calidad ponderado QLP. Afecta al índice QL un factor de ponderación fp que considera la actualización tecnológica permanente de los dispositivos de estado sólido leds. En la actualidad, se considera aceptable para un recambio tecnológico una eficacia ε de luminaria led mayor o igual a 105 lúmenes por watt [8], por lo tanto, el factor de ponderación

Muestra	Flujo luminoso	Potencia	Eficacia	Eficiencia
GI-1	14.151 lm	157 W	90,1 lm/W	A+
GI-2	9.383 lm	90 W	104,3 lm/W	A+
GI-3	8.428 lm	103 W	81,8 lm/W	A
GI-4	17.817 lm	154 W	115,7 lm/W	A+
GI-5	3.783 lm	36 W	105,1 lm/W	A+
GII-1	6.818 lm	72 W	94,7 lm/W	A+
GII-2	4.363 lm	55 W	79,3 lm/W	A
GII-3	3.391 lm	49 W	69,2 lm/W	A
GII-4	2.354 lm	37 W	63,6 lm/W	A
GII-5	1.233 lm	23 W	53,6 lm/W	B

Tabla 2. Muestras representativas de grupos I y II y su calificación de eficiencia energética

Muestra	Luminancia media	Grado de uniformidad	Cantidad	P _e
GI-1	95 lux	0,75	2/100 m ²	2,5 W/m ² x 100 lux
GI-2	95 lux	0,75	2/100 m ²	2,5 W/m ² x 100 lux
GI-3	95 lux	0,75	2/100 m ²	2,5 W/m ² x 100 lux
GI-4	95 lux	0,75	2/100 m ²	2,5 W/m ² x 100 lux
GI-5	95 lux	0,75	2/100 m ²	2,5 W/m ² x 100 lux
GII-1	95 lux	0,75	2/100 m ²	2,5 W/m ² x 100 lux
GII-2	95 lux	0,75	2/100 m ²	2,5 W/m ² x 100 lux
GII-3	95 lux	0,75	2/100 m ²	2,5 W/m ² x 100 lux
GII-4	95 lux	0,75	2/100 m ²	2,5 W/m ² x 100 lux
GII-5	95 lux	0,75	2/100 m ²	2,5 W/m ² x 100 lux

Tabla 3. Parámetros luminotécnicos calculados para instalación de referencia

Clase	Rangos de ponderación del índice de calidad
A	1-1,5
B	0,75-1
C	0,38-0,75
D	0,19-0,38
E	< 0,19
D	0,8-0,95
E	0,95 o más

Tabla 4. Escalas de calidad lumínica. Clases de eficiencia lumínica de luminarias para interiores

que se aplicará será de 1,1 si la eficacia es mayor a dicha cifra, y de 0,9 si es menor. En el futuro, a medida que la eficacia de los leds supere el corte de 105 lúmenes por watt, se podrá elevar la condición de uso del factor de ponderación, por ejemplo, estableciendo un nuevo corte de 150 lúmenes por watt. Esto asegura una actualización permanente del indicador de calidad lumínica de una luminaria.

Muestra	QL = Pe/N	Factor de ponderación	QLP = fp x QL	Eficiencia
GI-1	1,23	0,9	1,1	A
GI-2	0,9	0,9	0,99	B
GI-3	0,9	0,9	0,81	B
GI-4	0,38	1,1	0,42	C
GI-5	0,38	1,1	0,42	C
GII-1	0,39	0,9	0,35	D
GII-2	0,45	0,9	0,41	C
GII-3	0,46	0,9	0,41	C
GII-4	0,35	0,9	0,31	D
GII-5	0,24	0,9	0,22	D

Tabla 5. Aplicación de los índices de calidad y ponderación a ambos grupos de luminarias bajo análisis

Finalmente, el Índice de calidad lumínica de una luminaria led queda definido como sigue:

$$(8) QLP = fp \times QL = fp \times (PEI/N)$$

Muestras analizadas

Se tomaron en consideración quince luminarias del grupo I y dieciocho del grupo II.

En las siguientes figuras se presentan cinco muestras de cada uno de los grupos, las más representativas, sobre las cuales se aplica la metodología de análisis.

Resultados del análisis

En las siguientes tablas se presentan los resultados de aplicar la metodología para calificación de eficiencia en el consumo de energía según Reglamento (UE) N° 874/2012 [5] (Tabla 2), y los parámetros luminotécnicos y la potencia específica de la instalación de referencia (tabla 3).

En cuanto a la utilización de los índices de calidad lumínica QL y QLP, se propone su aplicación a ambos



Figura 11. Etiqueta global propuesta para luminaria GI-4

conjuntos de muestras para su calificación en la forma de un etiquetado en clases A, B, C, D y E, según la escala que se propone a continuación en tabla 4.

Por lo tanto, como resultado del análisis de los parámetros que definen al índice de calidad y su ponderación por límite de eficacia en lúmenes por watt, se pueden categorizar las luminarias de ambos grupos analizados, según lo expuesto en la tabla 5.

Comentarios y conclusiones

Respecto de la luminarias del grupo I (uso industrial), todas cumplen con alta calidad de eficiencia energética (clases A+ y A), mientras que respecto de la calidad lumínica, la mejor es la GI-1 (clase A), y las de

peor desempeño lumínico son las luminarias GI-4 y GI-5 (clase C).

En el caso de las luminarias del grupo II (uso civil), la mejor calificada es la GII-2 (clase A de eficiencia energética y clase C de eficiencia lumínica) y la peor es la GII-5 (clase B de eficiencia energética y clase D de eficiencia lumínica).

En la figura 11 se puede observar la etiqueta de doble calidad propuesta para la luminaria GI-4 (A+ y C, respectivamente).

El objetivo de implementar una escala de clases de calidad lumínica (doble etiquetado mediante) obedece al interés de proporcionar al diseñador de iluminación una guía para la elección de la luminaria más adecuada a su proyecto, no solo desde el punto de vista de la eficiencia en el consumo, sino también respecto de la calidad de la iluminación, permitiéndole optimizar la cantidad de luminarias necesarias para alcanzar o superar el grado mínimo de uniformidad que garantiza una distribución luminosa equilibrada y adecuada en el ambiente que se iluminará, con mínimos costos iniciales de instalación, cumpliendo con los niveles mínimos recomendados por las normas que rigen la iluminación de interiores.

Es importante destacar que para poder llevar a cabo la metodología propuesta, es necesario contar con la información fotométrica de las luminarias, como así también mediciones eléctricas bajo condiciones de laboratorio (tensión y corriente estables), por lo cual es necesario contar con certificaciones fotométricas y eléctricas de un laboratorio oficial acreditado.

Con la información fotométrica se procederá a efectuar los cálculos luminotécnicos necesarios para obtener la cantidad de luminarias según procedimiento indicado precedentemente.

El procedimiento propuesto es un primer paso en la consecución del objetivo buscado, y se puede mejorar mediante la introducción de índices de calidad adicionales que tengan en cuenta aspectos tales como el

factor de potencia y la distorsión de la forma de onda de la corriente (contenido de armónicos).

En forma paralela se está trabajando en el mismo objetivo para luminarias de uso en exteriores, en particular en alumbrado público, pero siguiendo las recomendaciones establecidas por el PLAE [8].

Reconocimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Tucumán, proyecto PIUNT E523, por el apoyo en la realización de este trabajo. ❖

Referencias

- [1] Heredia S., Cabello A., Raitelli M., "Caracterización de indicadores de eficiencia energética y fotométrica de luminarias led" en *Libro de resúmenes de las XIII Jornadas Argentinas de Luminotecnia: LUZ 2017*, pp. 45-50. Jimena Lloret-EduTecNe, Buenos Aires, 2017. Archivo digital: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/pub-institucionales/luminotecnia.pdf>
- [2] Sanhueza P., Manzano E., Galleguillos P., Raitelli M., Cabello A., Rodríguez Rübke L. "Luminarias de leds, propuesta de ensayos de calidad" en *Anales XI Jornadas Argentinas de Luminotecnia: LUZ 2013*, AADL-Asociación Argentina de Luminotecnia- Regional Noroeste, San Miguel de Tucumán, 2013.
- [3] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), *Guía técnica de eficiencia energética en iluminación. Oficinas*, Madrid, 2001.
- [4] FENERCOM, Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, *Guía sobre tecnología led en el alumbrado*, Madrid, 2015.
- [5] Diario Oficial de la Unión Europea. Reglamento Delegado (UE) N°874/2012 relativo al Etiquetado Energético de Lámparas y Luminarias. pp. L258/1 – L258/20. 26.9.2012.
- [6] Raitelli M., Cabello A. "Comparación técnica de lámparas tubulares: tecnología led vs. Fluorescente" en *Anales de XI Jornadas Argentinas de Luminotecnia: LUZ 2013*. AADL -Asociación Argentina de Luminotecnia- Regional Noroeste, San Miguel de Tucumán, 2013.
- [7] Assaf L., Ruttkay Pereira F., "Perspectivas de la eficiencia energética en la iluminación: desafíos para el desarrollo" en *Anales de ENCACOTEDI 2003*, Curitiba, 2003
- [8] PLAE (Plan Alumbrado Eficiente – Ministerio de Energía y Minería), *Especificación técnica para la adquisición de luminarias led de alumbrado público*, Buenos Aires, 2017