

Eficiencia energética en reconversiones Led del alumbrado público

Pablo Ixtaina, Braian Bannert, Nicolás Bufo
Laboratorio de Acústica y Luminotecnia – LAL CIC
pixtaina@gmail.com

Resumen: El LAL CIC, Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas, es el Centro Oficial de la provincia de Buenos Aires (Argentina) en lo referido a iluminación. Entre sus funciones se encuentra la asistencia técnica a municipios, actividad que tiene actualmente su eje en las reconversiones de instalaciones de alumbrado público a tecnología led. Las asistencias que se realizan abarcan múltiples aspectos: elaboración de especificaciones técnicas, estudios de la instalación, clasificación de calzadas, capacitación de personal, estudios de ofertas, pruebas de campo, etc.

El objetivo central de estas reconversiones es el aumento de la eficiencia del alumbrado y con ello el ahorro de energía. En este sentido, el trabajo presenta un estudio sobre la cuantificación de la eficiencia energética, a partir de relacionar el coeficiente de utilización de la luminaria, su eficacia y los resultados luminotécnicos obtenidos con su instalación en una determinada geometría. El índice utilizado, Densidad de Potencia Normalizada en iluminancia, P_{NE} , permite la rápida comparación entre distintas alternativas, combinando la eficiencia propia de la luminaria, con el rendimiento real de su fotometría en la geometría particular de la calle a iluminar.

El trabajo se completa con simulaciones mediante software y el cálculo de P_{NE} en instalaciones reales reconvertidas, lo que permite realizar una primera clasificación energética del alumbrado público para el estado actual de la tecnología.

Palabras claves: eficiencia energética, led, alumbrado público

Abstract: The Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas, LAL CIC (Buenos Aires, Argentina) is the Buenos Aires province Official Research Center in lighting. The technical assistance to municipalities in re conversion to led technology of public lighting installations is nowadays an important activity. The assistance covers many aspects: preparation of technical specifications, installation studies, classification of roadways, training of personnel, studies of offers, field tests, etc.

Increase the efficiency of the lighting system and energy saving are the target of these reconversions. In this sense, the paper presents a study on the quantification of energy efficiency, from the relation between the utilization coefficient of the luminaire, its efficiency and the results obtained with the luminaire in a given geometry. The index used, Normalized Power Density in illuminance, P_{NE} , allows the rapid comparison between different alternatives, combining the own efficiency of the luminaire, with the actual performance of its photometry in the particular geometry of the street to illuminate.

The work is completed with software simulations and the calculation of P_{NE} in real reconverted installations, which allows to built a first energetic classification of public lighting for the current state of the technology

Palabras claves: Energy efficacy, led, public lighting

I. INTRODUCCION

Considerando el esquema de la fig. 1, la iluminancia media que produce una luminaria led sobre la calzada puede obtenerse a partir de (1).

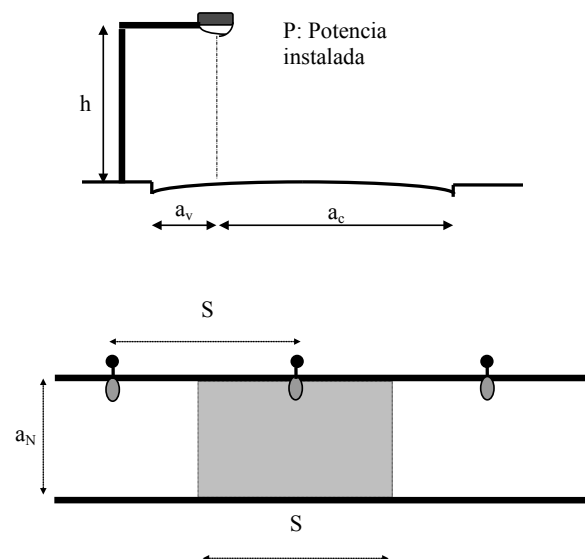


Fig. 1. Esquema elemental de la calzada

$$E = \frac{\mu v + \mu c}{a_N S} \quad (1)$$

En (1), E es la iluminancia media sobre la calzada [lx], a_N el ancho de la calzada y S la separación entre columnas. El flujo luminoso que llega a la calzada se ha cuantificado en (1) a partir de la utilización absoluta lado calzada, μc (obtenido para la distancia transversal del lado calzada a_c) y la utilización lado veredea, μv , obtenido para la distancia a_v .

Definimos la Densidad de Potencia Normalizada en iluminancia (P_{NE}) como:

$$P_{NE} = \frac{P}{a_N S E} \quad (2)$$

P_{NE} permite una rápida comparación de la eficiencia energética de la instalación, combinando la eficacia propia de la luminaria, con el eficiencia de la "forma" de emisión para la geometría particular de la calle. En (2), P representa lo potencia [W] que contribuye a cada área de calzada, $a_N \times S$ representa la superficie iluminada [m^2] y E la iluminancia lograda [lx].

Para calzadas tipo A o B, [1] prescribe la aplicación de la Técnica de Luminancia. En tal caso, la eficacia de la instalación se puede cuantificar con la densidad de potencia normalizada P_N , definida como la potencia instalada por unidad de área de camino, referida al nivel de luminancia L [cd/m^2] producido (3).

$$P_N = \frac{P}{a_N S L} \quad (3)$$

Pracki [2] elaboró una propuesta de clasificación energética para instalaciones de alumbrado vial. Su estudio se basó en la simulación, mediante software, de varias alternativas de instalación: dos geometrías, pavimento estándar oscuro y claro, dos formas típicas de distribución luminosa de luminarias y variadas eficacias de lámparas. Las combinaciones logradas generaron un rango de valores posibles de P_N , que posteriormente fue utilizado para calificar energéticamente a la instalación.

La tabla I, extraída de la referencia citada, muestra el sistema de clasificación propuesto, que califica las instalaciones según su potencia normalizada en siete niveles, desde la mayor eficiencia (clase A) a la menor (clase F).

Tabla I: Clasificación en función de la potencia normalizada

Clase de eficiencia energética		P_N [$W/m^2/cd/m^2$]
A	La mayor eficiencia energética	<0,2
B	Muy eficiente	0,2 – 0,4
C	Eficiente	0,4 – 0,6
D	Eficiencia intermedia	0,6 – 0,8
E	Poco eficiente	0,8 – 1,0
F	Muy poco eficiente	1,0 – 1,2
G	La menor eficiencia energética	>1,2

Ahora bien, para calzadas de tipo urbano, como avenidas, calles céntricas en ciudades, zonas residenciales, la Norma IRAM indica la aplicación de la Técnica de Iluminancia -calzadas tipo C, D, E y F en (1)- La clasificación mostrada en la tabla I deja de ser aplicable, ya que tanto los valores calculados como medidos dentro del área de evaluación se expresan en iluminancia, quedando el cálculo de P_N mediado por el coeficiente de luminancia medio del pavimento de la instalación.

De aquí surge el interés por el coeficiente P_N , cuya valoración permitiría clasificar en forma global el desempeño energético de la luminaria led en la instalación.

II. ANÁLISIS TEÓRICO

Considerando la fig.1, podemos suponer una eficiencia máxima de la luminaria en la instalación asignando un ancho de calzada tendiente a infinito. En tal hipotética situación, todo el flujo de la luminaria emitido en el hemisferio inferior alcanzaría la calzada y los coeficientes μv y μc de (1) tomarían sus valores máximos. Si a esta hipótesis le adicionamos la suposición que la emisión en el hemisferio superior es mínima y despreciable, podemos establecer la siguiente aproximación:

$$\mu v + \mu c \approx \phi_T \quad (4)$$

Siendo ϕ_T el flujo total emitido por la luminaria. Se remarca que (4) constituye solo una aproximación:

Por un lado, el flujo luminoso total de la luminaria surge de la integración sobre el ángulo sólido que la contiene espacialmente y con centro justamente en el centro fotométrico de la luminaria [3]. Por su parte, la utilización surge de integrar sobre "franjas" de superficie de calzada (franjas longitudinales al camino, en este caso).

Por su parte, solo en el caso (excepcional) de luminarias "full cut off" tendremos cero emisiones para ángulos elevados, sin considerar que es bastante común la instalación sobre pescantes con inclinaciones distintas de 0° , por lo que (lamentablemente) rara vez la energía se dirige íntegramente hacia abajo.

Con las aclaraciones anteriores, podemos re escribir la ecuación (2) como:

$$P_{NE} = \frac{P}{\mu V + \mu C} \quad (5)$$

Tomando en cuenta (4), podemos aproximar la máxima (y teórica) densidad de potencia normalizada en iluminancia como la inversa de la eficacia real de la luminaria. Por ejemplo, considerando una luminaria con 105 lm/W, su límite en una instalación será $P_{NE} = 0,0095$ y seguramente obtendremos valores mayores cuando se instale en una calzada real, dependiendo de cómo se adapte su emisión a la geometría particular.

III. APLICACIÓN.

A modo de ejemplo, analizaremos la luminaria cuyo diagrama polar se muestra en la figura 2.

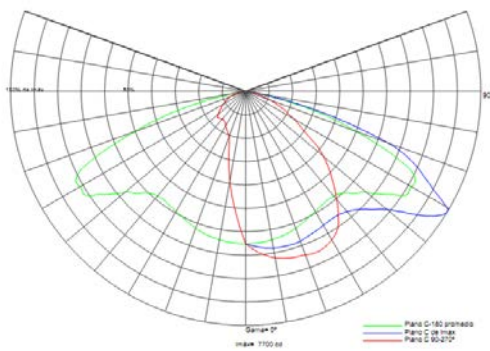


Fig. 2. Luminaria ejemplo

La tabla II muestra sus parámetros característicos, que pueden obtenerse a partir de su curva de utilización (Fig. 3).

Tabla II: Parámetros característicos de la luminaria ejemplo

Flujo:	14.733	klm	Luminaria 1	
Potencia:	140.72	W	PNE _{mín}	0.00957 W/m ² lx
η	104.7	lm/W	PNETeor	0.00955 W/m ² lx

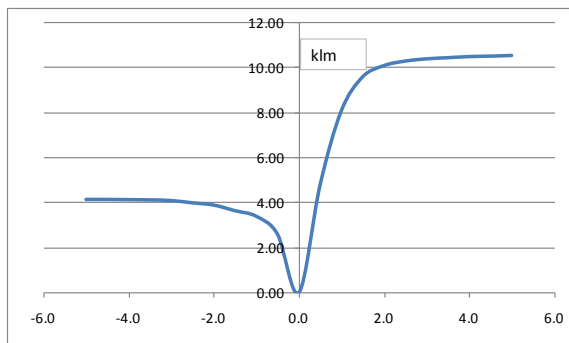


Fig. 3. Curvas de utilización

Se puede observar que su mejor prestación energética ($P_{NE} \approx 0,0096$ W/m²lx) se logra abarcando desde aprox. 1 vez la altura de montaje lado vereda hasta 2 por el lado camino.

La tabla III presenta un conjunto amplio de valores de P_{NE} obtenidos para combinaciones de relaciones "altura de montaje/ ancho de calzada". La zona sombreada se corresponde con diferencias menores al 5% del mínimo, e implican un criterio válido de eficiencia energética.

Tabla III: P_{NE} calculado para la luminaria 1 (ejemplo)

		Camino									
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
Vereda	0.5	0.01902	0.01716	0.01665	0.01617	0.01599	0.01581	0.01576	0.01574	0.01572	0.01572
	1.0	0.01315	0.01224	0.01198	0.01173	0.01163	0.01153	0.01151	0.01150	0.01149	0.01149
	1.5	0.01153	0.01082	0.01062	0.01042	0.01035	0.01027	0.01025	0.01024	0.01023	0.01023
	2.0	0.01108	0.01042	0.01023	0.01005	0.00998	0.00991	0.00989	0.00988	0.00988	0.00988
	2.5	0.01091	0.01027	0.01009	0.00991	0.00984	0.00977	0.00975	0.00975	0.00974	0.00974
	3.0	0.01082	0.01020	0.01002	0.00984	0.00977	0.00970	0.00968	0.00968	0.00967	0.00967
	3.5	0.01078	0.01016	0.00998	0.00981	0.00974	0.00967	0.00965	0.00964	0.00964	0.00964
	4.0	0.01074	0.01012	0.00994	0.00977	0.00970	0.00964	0.00962	0.00961	0.00961	0.00961
	4.5	0.01073	0.01011	0.00993	0.00976	0.00969	0.00963	0.00961	0.00960	0.00959	0.00959
	5.0	0.01070	0.01009	0.00991	0.00974	0.00967	0.00961	0.00959	0.00958	0.00957	0.00957

IV. P_{NE} en una instalación

Con la idea de cuantificar las diferencias entre los valores de P_{NE} logrados en una instalación y el valor teórico, se simuló instalaciones mediante software Dialux [3], empleando la luminaria utilizada en el punto anterior (luminaria 1) junto con otras tres de diferente distribución luminosa y eficacia. Los resultados obtenidos para una configuración particular (vano: 35 m, ancho de calzada 7 m, 8,5 m de altura de montaje, 1,5 m de saliente, inclinación 0°) se muestran en la tabla IV y la figura 4.

Tabla IV: Simulación para vano: 35 m, ancho de calzada 7 m, pescante 1,5 m, inclinación 0°

	Em [lx]	P [W]	PNE [W/m ² lx]	η [lm/W]	1/ η	Dif. [%]
L1	42	140.7	0.0160	104.7	0.00955	67.0
L2	46	133.7	0.0138	115	0.00870	59.2
L3	19	82.8	0.0208	91.1	0.01098	89.0
L4	59	137.0	0.0111	129.9	0.00770	43.6

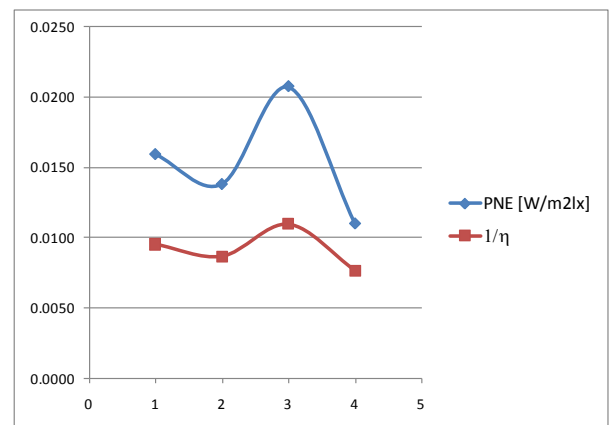


Fig. 4. P_{DE} y mínimo teórico para la instalación simulada

La luminaria 4, de mayor eficacia, es consecuentemente la que presenta el menor P_{NE} en la simulación. Asimismo, posee la menor diferencia entre valor real y mínimo teórico, lo que indica que su distribución es, de las cuatro estudiadas, la que mejor se adapta a esa geometría. Esta diferencia es poco más del doble para la luminaria 3, que, independientemente de ser la de menor eficacia, se adapta menos a la geometría en cuestión.

Si consideramos un pavimento típico de concreto asfáltico para la instalación, para las características de los asfaltos estudiados en los accesos a la ciudad de Buenos Aires [4,5], un coeficiente de luminancia medio posible sería 0,08 cd/m²lx. Con este valor, el P_{NE} correspondiente a la instalación más eficiente de la clasificación mostrada en la tabla I sería:

$$P_{NE} = 0,2 \times 0,08 = 0,0160 \text{ W/m}^2\text{lx}$$

Se puede observar que tres de las luminarias estudiadas (que fueron elegidas al azar de las últimas medidas en el LAL) superan la categoría "mayor eficiencia energética" de la clasificación mostrada, por lo que parece lógico establecer un límite más exigente en virtud del desarrollo de la tecnología led en los últimos años.

V. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

El trabajo propone la reedición del concepto de potencia normalizada, aplicándolo a iluminancia para el caso de alumbrado de vías urbanas, categorías C, D y menores de la clasificación IRAM. La incorporación del P_{NE} en pliegos y especificaciones técnicas sería complementaria e incluso superadora de la exigencia de una eficacia mínima para la luminaria propuesta para el sistema de alumbrado. En base a P_{NE}, se consideraría la eficiencia energética de un modo integral: por un lado, incorporando la eficacia de la luminaria pero además, evaluando simultáneamente el desempeño de la fotometría sobre la geometría a iluminar

Resta establecer los límites de esta nueva clasificación, que deberían rondar, según el resultado del estudio precedente, entre 0,0110 y 0,0160 W/m²lx como máximos para P_{NE} en las condiciones tecnológicas actuales. Una clasificación más completa resultará de los estudios actualmente en curso en el LAL: sobre simulaciones más amplias y a partir de la evaluación de instalaciones reales medidas en el marco de los Apoyos a Municipios en ejecución.

VI. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la CIC PBA, donde P.I. es miembro de la Carrera de Investigador Científico y Tecnológico y B.B. y NB son miembros de la Carrera Científica.

VII. REFERENCIAS

- [1] Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, IRAM AADL J 2022-2, Alumbrado Público, Vías de Tránsito – Clasificación y Niveles de Iluminación. Buenos Aires, 1995
- [2] P. Pracki, "A proposal to classify road lighting energy efficiency", Lighting Res. And Technol. Vol 43, p271-280, 2011
- [3] <https://www.dial.de/en/dialux/>.

- [4] P. Ixtaina, B Bannert, A Gallardo, Efectos de la iluminación led en el coeficiente de luminancia, XIII Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA 2016 – La Serena, Chile 2016.
- [5] P Ixtaina, B Banner, Spectral reflectance of argentinean road surfaces. Proceedings of the Lux Europa 2017 Conference, "Lighting for modern society", Ljubljana, Slovenia, 2017

VIII. BIOGRAFÍAS



Pablo R. Ixtaina (1965, La Plata, Argentina). Ing. Electricista UNLP. Docente en Mediciones Eléctricas e Iluminación para carreras de grado y posgrado en UNLP y UTN. Investigador de la CIC, ha realizado estudios de postgrado, trabajos de perfeccionamiento y visitas científicas en la Universidad

Nacional de Tucumán, Universidad Nacional de La Plata, Centro de Investigaciones Ópticas, Laboratorio LMT (Berlín, Alemania), Philips Lighting Application Centre (Eindhoven, Holanda). Miembro de la Comisión "Alumbrado Público" del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). Posee alrededor de 40 publicaciones en Revistas Científicas y Técnicas, de divulgación y Actas de Congresos.



Braian D. Bannert (1988, Quilmes, Buenos Aires, Argentina). Bachiller en Ciencias Exactas y Naturales. Estudiante avanzado de Ingeniería Electrónica en la UNLP. Es becario de Entrenamiento de la CIC. Actualmente participa en el estudio

de deslumbramiento provocado por luminarias LED.