



La programación del mantenimiento del alumbrado viario y el impacto en su eficiencia energética

The road lighting maintenance schedule and the impact in their energy efficiency

Israel Omar Mockey- Coureaux
Eduardo Roberto - Manzano

Recibido: Enero del 2010

Aprobado: Marzo del 2010

Resumen/ Abstract

Se presenta un estudio acerca de la influencia de las acciones de mantenimiento en las instalaciones de alumbrado viario. Se abordan los aspectos relacionados con las causas de depreciación de estos sistemas y las acciones de mantenimiento para su corrección. Se conceptualiza la eficiencia energética para el caso del alumbrado viario y se mencionan todos los aspectos relacionados con ello. Los autores llaman la atención acerca de que frecuentemente los análisis para incrementar la eficiencia de estos sistemas de alumbrado solo se centran en las posibilidades de cambio y mejoramiento de las lámparas, balastos, luminarias, así como las técnicas de regulación y control. En el artículo se hace énfasis en cómo a través del establecimiento del programa de mantenimiento que se defina se puede impactar en la eficiencia energética desde la etapa de diseño y durante su explotación, resaltando las potencialidades en esta vía poco estudiada hasta este momento.

Palabras clave: alumbrado viario, depreciación luminosa, eficiencia energética

A study about maintenance actions influences in road lighting efficiency is presented. The aspects related with the causes of the luminous depreciation of road lighting systems and the maintenance actions are approached for their correction. The energy efficiency is conceptualized for the road lighting case and all the aspects can be impacted to increase it are mentioned. The authors emphasis stands out that attention that usually the analyses to increase the efficiency of these systems is frequently focused only on the possibilities of change and improvement of the lamps, ballasts, luminaries and the control and regulation techniques to increase the efficiency of road lighting. The paper analyses how through a maintenance schedule it can impact on the energy efficiency from the design stage and during their exploitation, standing out the potentialities in this way little studied until this moment.

Key word: depreciation lighting, energy efficiency, road lighting

INTRODUCCIÓN

El alumbrado viario abarca la iluminación de autopistas y calles públicas de toda clase, ayudando la seguridad tráfico y facilita la circulación de todos los usuarios[1]. También tiene un amplio papel social ya que permite reducir el crimen y el temor a las actividades vandálicas, y contribuye a la vida comercial y social de las ciudades durante la noche. En la ciudad actual, según define [2], el alumbrado viario cumple una función social muy relevante, que se concreta a: garantizar la seguridad en la circulación de vehículos y personas, la reducción de actos delictivos facilitando la vigilancia y disuadiendo las posibles acciones contra personas y bienes materiales, promover la vitalidad urbana y ayuda a configurar el paisaje urbano.

Para que estas instalaciones mantengan sus prestaciones a lo largo de su vida deben realizarse acciones de mantenimiento que permitan restaurar sus cualidades y poder continuar cumpliendo estas funciones.

DESARROLLO

Características energéticas de las instalaciones de alumbrado viario

Las instalaciones de alumbrado viario se alimentan con electricidad y aunque constituyen una carga eléctrica menos significativa que las cargas industriales y residenciales, sus implicaciones energéticas no se pueden despreciar.

Según fuente del año 2007 de la Unión Eléctrica de Cuba (UNE) se informa que a pesar de que el alumbrado público constituye solo el 0.01% de todos los consumidores del país, su consumo eléctrico tiene un peso del 2%.

Los aspectos distintivos de la carga eléctrica del alumbrado viario se pueden resumir en:

1. Es una carga eléctrica monofásica.
2. La magnitud de la carga eléctrica es constante y estable en el tiempo luego de encendida, a no ser que varíe la tensión de alimentación.
3. Las lámparas demandan su potencia activa de forma bastante estable durante toda su vida.
4. Además de la potencia eléctrica demanda por las lámparas, los equipos auxiliares requeridos para su funcionamiento demandan de un 10 - 25% de la potencia de la lámpara.
5. Funcionan durante un período de tiempo grande, aproximadamente 11 horas al día y durante todo el año. Ello implica que, para el caso de Cuba según [3], el trabajo anual es alrededor de 4015 horas.
6. Este tipo de carga, aunque es de pequeña demanda eléctrica tiene un consumo energético considerable, lo que trae consigo un significativo impacto energético.
7. Estas cargas funcionan durante el horario pico (18:00 - 22:00), por lo que contribuye en el período de tiempo donde el sistema eléctrico experimenta los peores indicadores técnico económicos.
8. El factor de potencia depende del tipo de lámpara y balasto. Para las lámparas de descarga de alta intensidad este factor se encuentra entre 0,5 y 0,6. Cuando las luminarias incorporan capacitor para la corrección de este fenómeno entonces es mejorado hasta 0.9.
9. La carga de alumbrado se emplaza de forma bastante uniformemente distribuido a lo largo del circuito, por lo que su estudio de régimen resulta bastante sencillo.
10. El único portador energético que utilizan es la electricidad.
11. Según [4], es necesario resaltar que el suministro de la electricidad que consume el alumbrado viario involucra a toda los componentes del sistema eléctrico: generación, transmisión y distribución. Por ello comparte toda la infraestructura necesaria para proveer de energía eléctrica al resto de los consumidores eléctricos. Por ende, se deben compartir los esfuerzos para hacer un uso racional y eficiente de la energía.

Por todas estas características se puede comprender la importancia energética de los sistemas de alumbrado viario, no solo por el consumo de electricidad, sino también por el momento en que ocurre.

LA DEPRECIACIÓN EN EL ALUMBRADO VIARIO

A su vez, este tipo de instalaciones reúnen un conjunto de características que explican el por qué se deprecian de forma significativa, entre las más importantes se pueden resaltar:

- Las instalaciones operan todo el año a la intemperie por lo que tienen una elevada exposición a la suciedad, contaminación y agentes atmosféricos.
- Sus componentes funcionan 11h al día y más de 4000 h/año.
- Las acciones de mantenimiento se realizan a gran altura (6 ÷ 15m) y requieren recursos especializados (Brigadas, carro cestas, materiales de repuestos)
- Son sistemas extendidos territorialmente y se accede a un solo punto de luz a la vez.

Por tanto se puede afirmar que las acciones que se requieren para corregir su depreciación, además de imprescindibles constituyen acciones con cierto grado de complejidad y costosas.

Las principales causas que influyen en el deterioro de las características de las instalaciones de alumbrado público, su funcionamiento y por tanto, algunas de ellas, en el valor de la iluminación y luminancia mantenida sobre la vía, según la referencia 6, son:

- a. Reducción progresiva del flujo luminoso emitido por las lámparas.
- b. Acumulación de suciedad sobre las lámparas.

- c. Envejecimiento de los componentes (reflectores, refractores, etc.)
- d. Acumulación de suciedad sobre las partes ópticas de las luminarias.
- e. Fallo prematuro de las fuentes.

ACCIONES DE MANTENIMIENTO

Las principales acciones de mantenimiento que se realizan en las instalaciones de alumbrado viario son:

1. Limpieza de luminarias
2. Sustitución de la lámpara
3. Sustitución de las luminarias
4. Mantenimiento del poste o báculo
5. Mantenimiento de los cuadros de control
6. Mantenimiento de las líneas

De estas acciones las dos primeras son las que tienen una influencia más directa en el desempeño luminotécnico y su deterioro acumulado por el tiempo de explotación.

Por la complejidad y el costo significativo de estas acciones, generalmente se combinan y se tratan de desarrollar acciones conjuntas. Las más empleadas según referencia 7, son:

1. Mantenimiento correctivo solo con cambio de lámpara, MC
2. Mantenimiento preventivo con reemplazo masivo de lámparas más limpieza de luminarias, ML+LM.
3. Mantenimiento correctivo con limpieza de las luminarias y simultáneamente reemplazo masivo de lámparas, MC+ML+LM
4. Reemplazo masivo de luminarias, RMLum

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética es definida por referencia 8, como la relación entre las cantidades de energía consumida y de los productos y/o servicios finales obtenidos.

Se podría hablar de máxima eficiencia cuando un sistema cubre una necesidad específica invirtiendo la mínima cantidad de recursos para ello. Según la referencia 9, de la misma forma se puede afirmar que un sistema incrementa su eficiencia energética cuando con un mismo consumo energético logra ofrecer mayores prestaciones. En la referencia 10, la eficiencia energética de una instalación de alumbrado público se define como la relación entre su consumo eléctrico y el producto de la superficie iluminada por la iluminación media en servicio de la instalación, la cual a su vez está fuertemente influenciada por las acciones de mantenimiento que dichas instalaciones reciban.

$$EE = \frac{C_E}{Em \cdot A} \quad (1)$$

donde: EE es el indicador de eficiencia energética; $\left(\frac{kWh}{lux \cdot m^2}\right)$

A menudo tiende a confundirse eficiencia con eficacia, se puede afirmar que con relación a la iluminación de las vías públicas, se puede ser eficaz generando las condiciones visuales y luminotécnicas requeridas, pero no necesariamente ser eficiente con relación a los recursos que se utilizan para lograr el objetivo. Para ser eficiente hay que ser también eficaz pero no necesariamente al revés.

Según [10], la eficiencia energética no se puede entender como el ahorro eléctrico a costa de disminuir las prestaciones de los sistemas de alumbrado, ni tampoco a un costo económico desmedido.

Con el objetivo de identificar los elementos sobre los que se puede incidir para incrementar la eficiencia energética se aplicará el concepto de flujo luminoso y se considerará la demanda eléctrica de todos los elementos que inciden en el consumo energético. Entonces "(1)" toma la siguiente forma:

$$EE = \frac{C_E}{Em \cdot A} = \frac{P_T \cdot t}{F_V} = \frac{(P_{lamp} + P_{aux} + \Delta P) \cdot t}{F_V} \quad (2)$$

De este análisis se desprende que los elementos a partir de los cuales se puede influir sobre la eficiencia energética son:

1. Selección de las lámparas, luminarias y accesorios
2. Requerimientos luminotécnicos racionales
3. Dimensiones de las unidades luminosas
4. Concepción de los circuitos de alumbrado
5. Concepción del control encendido-apagado
6. Concepción de la regulación del flujo según densidad de tráfico
7. Concepción de las políticas de mantenimiento

Recientes estudios muestran un marcado énfasis en el ahorro de electricidad y pierden de vista que el incremento de la eficiencia energética es un concepto más general e integral. Es por eso que se hace más énfasis en los puntos 1, 5 y 6 mencionados anteriormente. Sin embargo, los programas de mantenimiento se abordan desde la óptica del mejoramiento de la calidad del servicio, tal y como lo abordó [6], pero no como un elemento a incidir en la eficiencia energética de estas instalaciones.

ESTUDIO DE CASO

Para ilustrar las reflexiones realizadas se evaluará en un estudio de caso el impacto energético del establecimiento de programas de mantenimiento diferentes del tipo ML+LM. Para ello se tomó una vía típica cuyos datos se muestran en la tabla 1. En el análisis se despreció la influencia de las pérdidas eléctricas en el circuito de alimentación.

Tabla 1	
Datos del ejemplo de caso	
Datos de la vía	
Largo (m)	2000
Ancho (m)	10
Suciedad ambiental	Media
Datos del sistema de alumbrado	
Iluminancia requerida (lx)	15
Grado de protección de la luminaria	IP6X
Factor de utilización	0.40
Tipo de lámpara	VSAP
Potencia de la lámpara (W)	150
Flujo inicial de la lámpara (lm)	16.000
Consumo del balasto (W)	15

Para esta evaluación se ha utilizado el Método de los Lúmenes en su expresión general ajustada a la determinación de la distancia entre unidades luminosas:

$$d = \frac{\Phi \cdot FU \cdot FM}{E \cdot A} \quad (4)$$

donde d es la distancia entre unidades luminosas, m

Para la determinación del factor de mantenimiento se considerará los dos factores fundamentales: la depreciación del flujo luminoso de la lámpara por envejecimiento (FM_{Lam}) y la depreciación de la luminaria por suciedad (FM_{Lum}). Para la modelación de los resultados se obtuvieron las curvas ajustadas a partir del comportamiento de ambos factores tomados de [11], correspondiente en este caso a las lámparas de VSAP y a las luminarias con grado de protección IP6X en ambiente con suciedad media. En la tabla 2 se indican los resultados obtenidos.

Tabla 2			
Resultados del ajuste de las curvas			
Depreciación del flujo luminoso de la lámpara			
Tipo de lámpara	Curva ajustada		R ²
VSAP	$FM_{lam} = 1,01105 \cdot e^{-\left(\frac{(t+4224)^2}{2,15 \cdot 10^9}\right)}$		0,97
Depreciación por suciedad en la luminaria			
Tipo de luminaria	Suciedad ambiental	Curva ajustada	R ²
IP6X	Medio	$FM_{lum} = 1,1862 \cdot e^{-\left(\frac{(\ln t + 0,9399)^2}{400,61}\right)}$	0,99

En la tabla 3 se muestran los resultados de la evaluación para tiempo entre acciones de mantenimiento del tipo remplazo masivo de lámparas junto a limpiezas masivas simultaneas de luminarias (ML+LM) en periodos desde 2.000 hasta 12.000 horas.

Tabla 3					
Resultados de la evaluación					
Parámetros	Tiempo entre acciones de mantenimiento (h)				
	4.000	6.000	8.000	10.000	12.000
<i>FM_{lam}</i>	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89
<i>FM_{lum}</i>	0,96	0,94	0,93	0,92	0,91
<i>FM</i>	0,94	0,90	0,87	0,85	0,81
<i>d (m)</i>	60,2	57,6	55,7	54,4	51,8
Número de luminarias	33	35	36	37	39
P _{total} (kW)	5,44	5,78	5,94	6,11	6,44
E total (MWh/año)	21,86	23,18	23,84	24,51	25,83
<i>EE (kWh/lx.m²)</i>	3,63	4,03	4,28	4,51	4,98

De estos resultados se evidencia que al establecer programas de mantenimiento con intervenciones más espaciadas será preciso, en el momento de realizar el diseño, considerar factores de mantenimiento menores y por consiguiente disminuirá el espaciamiento entre unidades luminoso. Ello provoca un incremento en el consumo energético y un empeoramiento del factor de eficiencia energética.

CONCLUSIONES

Una vez concluido el trabajo se puede arribar a las siguientes conclusiones:

1. Las instalaciones de alumbrado viario tienen un impacto energético nada despreciable.
2. Estas instalaciones presentan un elevado grado de depreciación por sus condiciones de explotación.
3. Las acciones de mantenimiento aun cuando son costosas y con cierto grado de complejidad resultan imprescindible para garantizar su funcionalidad.

4. Frecuentemente los estudios para ahorrar electricidad están basados en la eficacia de las fuentes luminosas junto a sus equipos auxiliares y en las técnicas de control y regulación.
5. Apenas se reportan investigaciones encaminadas al establecimiento de programas de mantenimiento que garanticen un funcionamiento racional de estos sistemas
6. A través del establecimiento de los programas de mantenimiento se puede incidir, tanto desde la etapa de diseño como durante la explotación, en la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado viario, garantizando mayores prestaciones luminotécnicas con un mismo consumo eléctrico o manteniendo el nivel luminoso y logrando un menor consumo por el emplazamiento de unidades luminosas más espaciadas.

REFERENCIAS

- [1] BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). *Code of practice for the design of road lighting": Part 1, Lighting of roads and public amenity areas*. BS5489- 1. London: BSI, 2003
- [2] SAN MARTÍN Ramón. "La iluminación como factor del cambio social". *Revista Ingeniería Iluminatului*. ISSN 1454-5837. Editorial MEDIAMIRA. Num.9. 2004. <<http://www.cs.ubbcluj.ro/~hfpop/lec/journal/2000-04/83.pdf>>
- [3] Manual de Consumidores. Ministerio de la Industria Básica en Cuba (MINBAS), Unión Eléctrica (UNE). Año 2002.
- [4] Guía práctica de ahorro de energía eléctrica en comercios y servicios. FIDE. [on line] <www.fide.org.mx/Guias/Guia_practica_de_ahorro_de_energia_elctrica_en_comercios_y_servicios> Consulta 30 de junio de 2009
- [5] COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. *Depreciation of installations and their maintenance*. Reporte técnico CIE 33. Austria: CIE, 1996. ISBN: 3 900 734 64 X
- [6] MANZANO, Eduardo. "Estudio de una metodología para evaluar la calidad del servicio del alumbrado urbano". Tesis doctoral Universidad Politécnica de Catalunya. 2000
- [7] Programa País de Eficiencia Energética PPEE. Chile. 10-5-2008.[on line] www.ppee.cl/576/channel.html. [Consulta: 15 de febrero 2010]
- [8] BORROTO, Anibal. *Gestión Energética Empresarial*. Redactor General. Primera Edición. Cienfuegos: Universo sur, 2002. 63 p. ISBN: 959-257-040-X
- [9] Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior de España. [on line] <www.arcosingenieros.es/reeae.html> [Consultado: 15 de febrero de 2010]
- [10] ALONSO, Pablo. "Eficiencia energética en alumbrado público". [on line] <www.innovativethinking.es/DOCUMENTOS/EFICIENCIA%20EN%20ALUMBRADO.pdf> [Consulta: 17 de febrero de 2010]
- [11] COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. *The maintenance of outdoor lighting systems*. Reporte técnico CIE 154. Austria: CIE, 2003. ISBN: 3-901- 906-24-X.

AUTORES

Israel Omar Mockey Coureaux

Ingeniero Electricista. Categoría docente de Profesor Auxiliar, Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oriente, Master en Ingeniería Eléctrica. Cuba.
email: iomc@fie.uo.edu.cu

Eduardo Roberto Manzano,

Ingeniero Eléctrico, Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Profesor del Departamento de Luminotécnica Luz y Visión, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
email: emanzano@herrera.unt.edu.ar

Nomenclatura

CE: consumo eléctrico; (kWh)

A: área iluminada; (m²)

Em: iluminación media de servicio (lux)

Φ: flujo luminoso inicial de la lámpara, lm

FU: factor de utilización

FM: Factor de mantenimiento (pérdida de luz)

E: iluminancia requerida, lux