



Evaluación de la depreciación luminosa y la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado viario

Evaluation of the luminous depreciation and the energy efficiency of the road lighting systems

Israel Omar - Mockey Coureaux
Joaquín Ricardo – Cuervo Escalante
Maikel - Rodríguez González

Recibido: Julio del 2011
Aprobado: Diciembre del 2011

Resumen/ Abstract

El alumbrado público en la Ciudad de Santiago de Cuba tuvo una reanimación entre los años 2006-2008, donde se sustituyó gran cantidad de las lámparas y luminarias. Con el paso del tiempo se ha constatado un aumento del número de lámparas fuera de operación y la afectación al servicio que brindan estos sistemas. Este trabajo centra su análisis en la influencia que ha tenido la depreciación luminosa en la eficiencia energética de una instalación de alumbrado público de esta ciudad a través de mediciones de campo. Los resultados permiten evaluar la depreciación luminosa total de la vía en estudio desde el año 2006 al 2010, observándose un empeoramiento en el último año de explotación propiciado fundamentalmente por la depreciación de las lámparas. Se realiza la evaluación de la eficiencia energética demostrándose su paulatino empeoramiento a un ritmo que coincide con el de la depreciación luminosa total del sistema.

Palabras clave: alumbrado viario, depreciación luminosa, eficiencia energética.

The public lighting in Santiago de Cuba city had a renovation during the years 2006-2008, it was substituted a lot of lamps and luminaries. After having lapsed some time, an increase of the number of burned amps has been verified and the service of these systems has been affected. This paper focus in the influence that has had the luminous depreciation in the energy efficiency of an road lighting facilities of this city, through field mensurations. The results allow evaluating the total luminous depreciation of the road through a study from 2006 to 2010 years. A worsening has been corroborated in the last year of exploitation; the depreciation of the lamps has being the main cause. It is carried out the energy efficiency evaluation and it is demonstrated their gradual worsening to a tendency that coincides with the depreciation luminous total of the system.

Key words: road lighting, luminous depreciation, energy efficiency.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de alumbrado, así como, sus componentes tienen una vida finita y en algún instante de tiempo deben reemplazarse. Las propiedades de las lámparas cambian constantemente y de forma gradual hasta llegar al final de

su vida útil. Además, la suciedad en las luminarias se va incrementando y el efecto combinado provoca una reducción del nivel luminoso de un 20 - 50% o más, dependiendo de la aplicación en cuestión, los equipos que se empleen y el tiempo entre acciones correctivas.

El alumbrado público en la Ciudad de Santiago de Cuba sufrió una reanimación muy abarcadora entre los años 2006-2008, donde se renovó y sustituyó gran cantidad de lámparas y luminarias. Con el paso del tiempo se ha constatado un aumento del número de lámparas fuera de operación y la afectación al servicio que brindan estos sistemas. El presente trabajo centra su análisis en la influencia que ha tenido la depreciación luminosa en la eficiencia energética de una instalación de alumbrado público de esta ciudad. Para la determinación de la depreciación luminosa se realizan mediciones anuales de iluminación en condiciones de campo durante 4 años.

DEPRECIACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO VIARIO

Durante la vida de cualquier instalación de alumbrado, la luz disponible disminuye progresivamente y de forma gradual. La velocidad de la reducción está en función de las condiciones ambientales, las características de los dispositivos utilizados, las condiciones de operación y el tiempo de explotación. En el caso de los sistemas de alumbrado viario esta depreciación se acentúa por estar más expuestas a la contaminación ambiental y la intemperie, así como el tiempo de funcionamiento prolongado. En el diseño de estas instalaciones se debe tomar en cuenta esta reducción luminosa a través del uso del Factor de Pérdida de Luz también llamado Factor de Mantenimiento, y durante su explotación se debe establecer un programa de mantenimiento apropiado para limitar esta reducción.

CAUSAS DE LA DEPRECIACIÓN

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 [1-2], son: reducción progresiva del flujo luminoso emitido por las lámparas, acumulación de suciedad sobre las lámparas, envejecimiento de los componentes, acumulación de suciedad sobre las partes ópticas de las luminarias, fallo prematuro de las fuentes, las vibraciones del conjunto estructura-luminaria-lámpara, la corrosión de las estructuras de las unidades luminosas, cambios de las propiedades reflectantes del pavimento.

Además existen otras causas, que no se producen de forma acumulativa, como son el uso de balastos, excesivo incremento o disminución de la temperatura dentro de las luminarias, falla prematura de los dispositivos auxiliares, tensión incorrecta en los terminales de las luminarias.

Realmente la mayoría de los autores, tales como: [3-4] solo hacen énfasis en los factores de depreciación del flujo luminoso y en la depreciación por suciedad acumulada en las luminarias. A continuación se abordarán solo estos dos factores.

DEPRECIACIÓN DEL FLUJO LUMINOSO DE LA LÁMPARA POR ENVEJECIMIENTO

La depreciación del flujo luminoso de la lámpara toma en cuenta la reducción progresiva y gradual del flujo luminoso de la lámpara por el deterioro y envejecimiento de los componentes que la forman (FM_{LL}).

La envergadura de esta depreciación es inherente al tipo de lámpara y balasto utilizado y lo establece el fabricante, con base al desempeño de la lámpara desde que inicia su operación y por el tiempo de su vida media. El flujo luminoso publicado por el fabricante es el valor medio después de esas primeras horas de encendido. Sin embargo cabe destacar que en la práctica las condiciones reales de explotación pueden desviarse considerablemente de las de ensayo alterando las características de funcionamiento por ejemplo: a mayor tensión de la nominal las lámparas producen en general mayor flujo luminoso y a mayores ciclos de encendido, menor duración.

En la figura 1, se muestra el efecto de la depreciación luminosa en lámparas de vapor de sodio, correspondiente a datos provistos por el fabricante Philips y utilizados por [5] en su trabajo. Como se observa en lámparas de sodio alta presión, el efecto de la depreciación es menor a medida que aumenta la potencia, tendencia que se manifiesta hasta 250W, valor a partir del cual aumenta

DEPRECIACIÓN POR SUCIEDAD ACUMULADA EN LA LÁMPARA Y LA LUMINARIA

La acumulación de suciedad en el conjunto óptico de las luminarias y en la propia lámpara, trae como consecuencia una pérdida de emisión luminosa y por lo tanto disminución de los niveles de iluminación en el área considerada, (FM_{SL}). Este elemento, después de la depreciación del flujo luminoso de la lámpara, tiene la mayor importancia dentro del factor de mantenimiento.

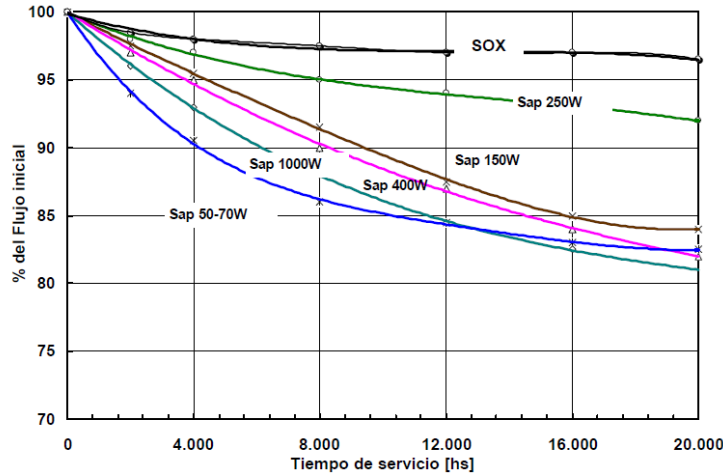


Fig. 1. Depreciación del flujo luminoso para lámparas de Sodio a partir de 100 h cuando se ha estabilizado.

La suciedad que se puede acumular en la lámpara depende en gran medida de la protección que le brinde la luminaria. Solo en el caso de las luminarias abiertas sería significativa la acumulación de suciedad en ellas. Es por eso que se suele abordar este factor desde el punto de vista solo de la luminaria.

La rapidez y severidad con la que se acumula la contaminación en las luminarias varía considerablemente de acuerdo con su naturaleza y fabricación (índices de protección, IP), de la altura de montaje, el grado de humedad y polución de la atmósfera circundante. Así mismo, esta variable depende del volumen y naturaleza del tráfico vehicular circundante, el clima, los patrones de viento y del sitio del proyecto. Sin embargo, la causa tal vez más importante es el tiempo que media entre dos acciones de limpieza consecutivas.

La cantidad de suciedad acumulada depende del grado de hermeticidad del conjunto óptico y del ambiente en el cual se instala la luminaria, como se muestra en la tabla 1.

En cuanto a la depreciación por suciedad en las luminarias existen diferentes comportamientos que presentan divergencia entre algunos autores e instituciones de acuerdo con sus experiencias. A continuación se explican los elementos distintivos de cada modelo propuesto por dichas referencias.

Van Dusen, según [5]: Estudia la depreciación por polución atmosférica para distintas categorías de luminarias y tipos de ambientes. De los tipos de luminarias que analiza se han seleccionado las curvas correspondientes a luminarias descritas como cerradas provistas de buenas juntas mecánicas de cierre, para hacer una analogía con la situación en estudio donde se emplean luminarias con buena hermeticidad.

IESNA, según [5]: Adopta parcialmente los resultados de Van Dusen, considerando sólo un período de 8 años para el cual realiza un ajuste de los datos. Bajo las condiciones más desfavorables, de ambiente muy sucio, el efecto sobre el flujo emitido por las luminarias (sin considerar la depreciación de la lámpara) produce una reducción del 30% respecto al inicial al cabo de 8 años de explotación. Ver figura 2.

Tabla 1. Categorización de los ambientes según [5].

Categoría de ambiente	Entorno	Tráfico	Partículas en suspensión
Muy Limpio	Ausencia de actividades cercanas que generen humos o polvo y baja contaminación ambiental	Escaso generalmente limitado a zonas residenciales o áreas rurales	0 a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Limpio	Ausencia de actividades cercanas que generen humos o polvo y baja contaminación ambiental	Moderado a intenso	150 a 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Moderado	Presencia de algunas actividades que generan humos o polvo		300 a 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sucio	Presencia de humos o polvo generado por actividades cercanas que pueden ocasionalmente envolver la luminaria		600 a 1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Muy Sucio	Presencia de humos o polvo generado por actividades cercanas que frecuentemente envuelven la luminaria		1200 a 2400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

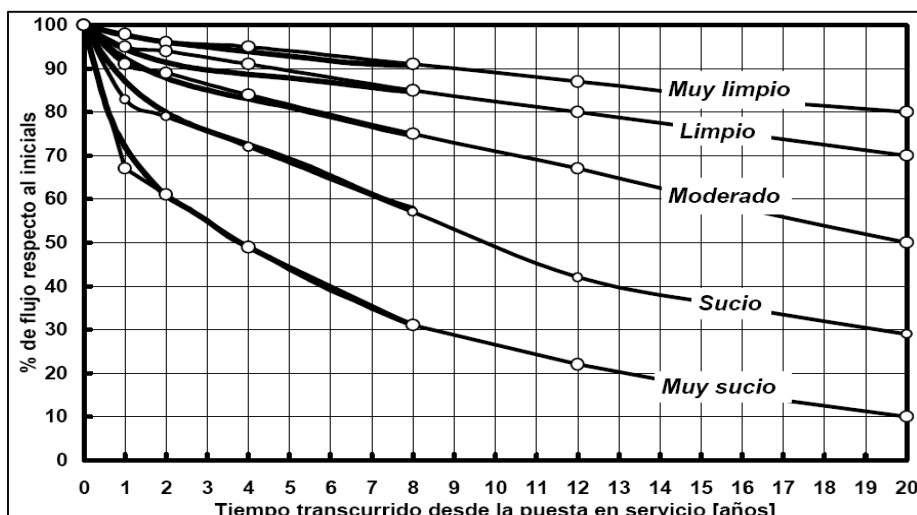


Fig. 2. Depreciación de luminarias de alumbrado público, con cierre hermético y cinco tipos de ambientes publicadas por Van Dusen (trazo fino) y la IESNA (trazo grueso).

CIE, según [6]: Adopta las curvas mostradas anteriormente.

Sin embargo, autores como [5] precisan que es posible encontrar diferencias en cuanto al grado de polución se refiere por lo que para evaluar instalaciones existentes serán necesarias mediciones in situ para ajustar las curvas a valores locales.

MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA DEPRECIACIÓN LUMINOSA

La determinación del factor de mantenimiento en instalaciones reales se puede realizar de tres formas, según [5]:

- Medición en laboratorio:** la luminaria está retirada de la instalación, con su lámpara y equipo auxiliar, cuidando de no alterar el estado exterior de la misma. Bajo condiciones controladas (tensión, corriente, frecuencia y temperatura estables) se mide mediante un sensor, apantallado de flujo directo, la fotocorriente para el estado actual de la luminaria y la lámpara. Luego se efectúa una segunda medición en las mismas condiciones pero con la luminaria limpia. La relación entre la primera y la segunda medición corresponde a la depreciación por suciedad en las luminarias. Una tercera medición se realiza con la luminaria limpia y con la lámpara nueva (del mismo tipo y características) estabilizada (tiempo de estabilización igual a 100 horas), la relación de la segunda medición y la tercera indica la depreciación del flujo de la lámpara por uso. El problema de este tipo de medición es que se requiere de un laboratorio especializado.
- Medición in situ a partir de la iluminación media:** en forma similar al caso "a", se procede a realizar mediciones para el estado actual, con luminaria limpia, luminaria limpia + lámpara nueva. En lugar de una única medición en cada caso anterior, se requiere medir la iluminación sobre la calzada en puntos de una rejilla convenientemente distribuidos para calcular la iluminación media de la luminaria analizada. La iluminación media en cada caso se utiliza para determinar las depreciaciones y el factor de mantenimiento. La medición puede realizarse utilizando un luxómetro manual. El problema de este tipo de medición es que interfieren las luminarias restantes y otras fuentes como faros de coches, alumbrado comercial, etc.
- Medición in situ a partir de una medición única:** la interferencia de otras fuentes es minimizada utilizando un apantallado en el sensor por medio de un cilindro abierto de 25 centímetros de altura para evitar la influencia de otras luminarias durante la medición. El sensor apantallado se coloca bajo la luminaria a medir, antes y después de efectuar las operaciones de limpieza y cambio de lámparas y equipo. En forma simultánea, mediciones de voltaje en la base del punto de luz son efectuadas para buscar las lecturas en caso de variaciones. Se debe tener cuidado de marcar el sitio de ubicación y de controlar los niveles de horizontalidad para no introducir errores de posición al retirar el dispositivo de medición para efectuar las operaciones de limpieza y cambio de lámpara. Según [7], la desventaja de este método es que solo permite caracterizar la depreciación por en un solo punto o dirección y este fenómeno no sucede de forma uniforme ni en la lámpara ni en la luminaria.

Se recomienda para las mediciones de la iluminación en el alumbrado viario los métodos de medición in situ a partir de la iluminación media y la medición in situ a partir de una medición única, pues muestran un contraste estadístico con un nivel de significación de un 5%, con respecto al método de la medición en laboratorios según [5]. Por todos los elementos señalados resulta preferible utilizar para estudios de aplicación el método "b"

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética es definida por [8], como la relación entre las cantidades de energía consumida y de los productos y/o servicios finales obtenidos. Por su parte, [9-10] establecen como indicador de eficiencia energética para el alumbrado público el siguiente:

$$\varepsilon = \frac{E_m \cdot S}{P} = \frac{\text{lux} \cdot \text{m}^2}{W} \quad (1)$$

Por su parte la iluminación mantenida sobre la vía no es un parámetro fijo, más bien es una magnitud luminosa que varía constantemente, con una tendencia generalmente a la disminución, y a este proceso se le conoce como depreciación de la iluminación.

$$E_m = E_o \cdot FM \quad (2)$$

Las lámparas varían su comportamiento luminoso a partir de aspectos tales como la temperatura y la tensión de alimentación. Las lámparas de vapor de sodio de alta presión son las más ampliamente utilizadas en alumbrado viario, y en ellas la temperatura no es influyente por poseer un doble bulbo lo cual actúa como aislante térmico, de esa forma las variaciones de la temperatura ambiental no repercuten en la temperatura del tubo de la descarga y por ende tampoco en la presión de trabajo de la lámpara. Desde el punto de vista energético el parámetro que afecta el desempeño de la lámpara es la tensión y por ello la casi totalidad de catálogos y manuales hacen referencia a dicho comportamiento a través de gráficas. Sin embargo, no existen referencias acerca de las variaciones de la potencia demandada por la lámpara a medida que envejece ya que se considera que este parámetro permanece prácticamente constante, según [3].

Entonces resulta fácil entender que con el decursar del tiempo los sistemas de alumbrado viario ven depreciar las prestaciones luminotécnicas y como su demanda eléctrica permanece invariable su eficiencia energética va disminuyendo progresivamente. Sin embargo, en general no se presta atención al fenómeno de la depreciación por su arista energética sino solo por su impacto en los niveles de iluminación y luminancia resultante sobre la vía.

En este trabajo se presenta un caso de estudio que aborda esta problemática.

CASO DE ESTUDIO

Para el estudio se utilizó la vía Calle 4ta del Reparto Sueño de la ciudad de Santiago de Cuba. La misma por su ubicación y características clasifica como una vía residencial, sin embargo posee un tráfico de vehículos más bien moderado pues constituye una de las vías de mayor tráfico de dicho reparto por que le da acceso al Hospital Provincial Saturnino Lora. Su sistema de alumbrado está compuesto por 30 unidades luminosas, siendo irregular la distancia entre unidades luminosas. El ancho de la vía se mantiene prácticamente en toda la vía (6 m), aunque presenta una sección de 4 cuadras en la que el ancho es de 9 m. Las lámparas utilizadas son de vapor de sodio alta presión de 250W emplazadas a una altura el punto de luz en la gran mayoría de las unidades luminosas se encuentra a 8m.

Estas unidades luminosas no se encuentran expuestas a altos niveles de suciedad, pues en esta zona de la ciudad la contaminación es baja y el tráfico de vehículos es moderado. En este sentido, según la tabla 1 se puede clasificar el ambiente como limpio.

El sistema de alumbrado, según datos de la Dirección de Alumbrado de la Empresa Eléctrica (DAEE) de esta ciudad, fue cambiado (sustitución de la lámpara y la luminaria) en el mes de marzo de 2006, como parte de un proceso de reanimación del alumbrado público, que según [11] un año más tarde se desarrolló en prácticamente todas las vías de esta ciudad. Para evaluar la depreciación luminosa en la vía se realizaron mediciones de iluminación media para cada tramo desde el año 2006 hasta el 2010 siempre en la primera quincena del mes de abril. A lo largo de este período de tiempo un total de 7 lámparas estuvieron fuera de servicio (fundidas) por lo que se fueron retirando del estudio los 13 tramos asociados. Igualmente en 4 tramos de la vía el aporte de otras fuentes aledañas a la vía influía significativamente por lo que también fueron descartadas, además en 3 tramos de la vía existía un aporte significativo del alumbrado de las vías que interceptan con la vía en estudio. Finalmente, el estudio se redujo de 29 a 9 tramos.

En cada momento de medición se puede evaluar la depreciación total del sistema. A partir de coordinaciones con la DAEE, en el año 2010 (4 años después de iniciada la explotación), se pudo medir de forma separada la depreciación por suciedad de la luminaria (al ser limpiadas) y la depreciación del flujo luminoso de la lámpara (al ser cambiada la lámpara). En la tabla 2, aparecen los valores de iluminación media de los tramos finalmente considerados. De estos resultados se puede señalar los siguientes aspectos:

- Desde el mismo inicio (año 2006) existió una gran variación de la iluminación motivado por: gran variación de la distancia entre unidades luminosa y ancho de la vía, ligeras variaciones de la altura del punto de luz (7.8 ÷ 8.5 m), en algunos tramos los árboles interfieren en la iluminación, entre otros.
- Como se puede observar, por la falta de mantenimientos los valores de depreciación alcanzan al cabo de los 4 años valores inferiores a los que se estiman generalmente en el diseño de estos sistemas. Por ejemplo, [1, 2 y 12] estiman el $FM_{LL} = 0,9$ y de los 9 tramos analizados solo 1 de ellos presenta este valor.

Tabla 2: Valores de iluminación media y de depreciación luminosa en los tramos de vías analizados

Tramo	Dimensiones		2006		2007		2008		2009		2010			
	D (m)	A (m)	E (lx)	FM	E (lx)	FM	E (lx)	FM	E (lx)	FM	E (lx)	FM_{LL}	FM_{SL}	FM
5 -6	28	6	51,0	1	48,0	0,94	45,6	0,89	42,7	0,84	40,0	0,88	0,89	0,78
8 - 9	32	6	45,3	1	41,7	0,92	39,6	0,87	37,9	0,84	34,3	0,86	0,88	0,76
11 -12	23	9	74,7	1	68,8	0,92	65,6	0,88	62,2	0,83	58,2	0,87	0,90	0,78
12 -13	54	9	37,7	1	35,1	0,93	33,3	0,88	30,9	0,82	28,9	0,85	0,90	0,77
13 -14	28	9	65,9	1	62,0	0,94	58,2	0,88	54,0	0,82	50,9	0,87	0,89	0,77
14 -15	32	9	58,9	1	54,3	0,92	51,0	0,86	47,7	0,81	43,3	0,85	0,87	0,74
15 -16	45	9	48,2	1	44,4	0,92	41,7	0,86	39,7	0,82	36,5	0,85	0,89	0,76
16 -17	51	9	25,5	1	23,8	0,93	22,2	0,87	21,1	0,83	20,2	0,90	0,88	0,79
22 -23	30	6	73,3	1	68,3	0,93	65,5	0,89	61,4	0,84	57,4	0,86	0,91	0,78

Para comparar estos resultados con las gráficas correspondiente al caso estudiado se representa en la figura 3, en un mismo gráfico el comportamiento de la depreciación del flujo de la lámpara según [Philips] para el caso de las lámparas de VSAP 250W y la depreciación por suciedad de las luminarias para un ambiente limpio según [6]. En esa misma gráfica se representará la curva del FM resultante de multiplicar ambos factores y además se representarán los resultados obtenidos de las mediciones.

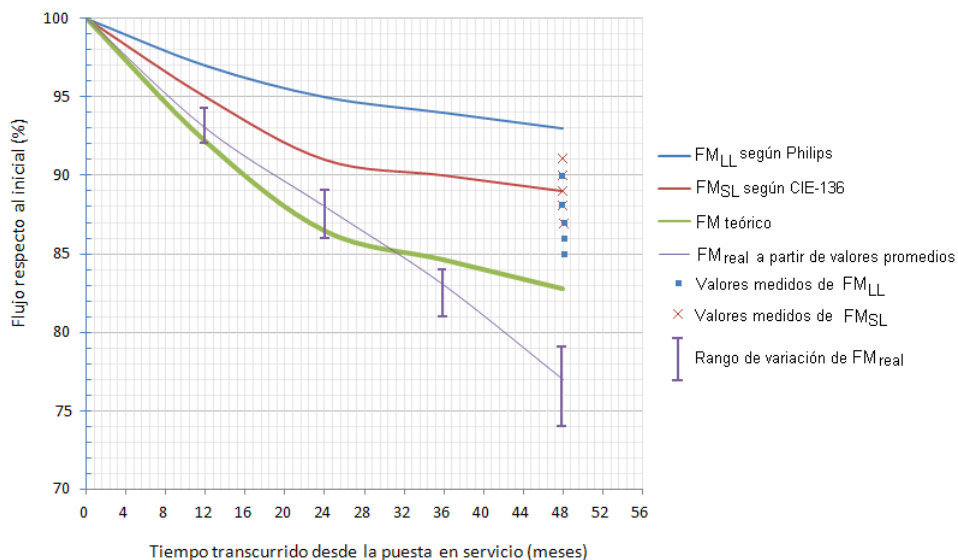


Fig. 3. Resultados de las mediciones de depreciación FM_{LL} y FM_{SL} trazados con las curvas de referencias.

De estos resultados se puede señalar:

1. Los valores medidos de FM_{SL} a los 4 años de explotación dan como resultados factores que se encuentran alrededor de los recomendados por [6]
2. Los valores medidos de FM_{LL} se comportaron con una mayor dispersión y una tendencia a ser menores respecto a los valores recomendados por Philips. Este comportamiento puede atribuirse al hecho de que las lámparas empleadas no se corresponden a este fabricante.
3. Los valores de FM medidos son superiores hasta casi el mes 32 de explotación, momento a partir del cual continua su tendencia a la reducción casi lineal a diferencia del $FM_{teórico}$ resultante de la multiplicación de FM_{LL} según los datos utilizados por [5] y FM_{SL} según [6], quien tiene un comportamiento más atenuado. Considerando los dos resultados antes mencionados se podría atribuir este resultado al desempeño de la lámpara en este sentido.

En la tabla 3, aparecen los resultados de la evaluación de la eficiencia energética, tomando en consideración los valores medidos de iluminación en cada año. Para el cálculo de la eficiencia se consideró dos lámparas por tramo y la demanda eléctrica del balasto igual a un 10% de la potencia de la lámpara. Como se puede observar:

1. La eficiencia energética va disminuyendo gradualmente con el decursar del tiempo de explotación
2. La eficiencia energética exhibe una dependencia directa con la depreciación luminosa, lo cual se corrobora al coincidir la relación entre la eficiencia energética obtenida en el 2010 respecto a la del 2006 y el factor de mantenimiento medido.

Tramo	Eficiencia energética ϵ (lux.m ² /W)					Variación
	2006	2007	2008	2009	2010	($\epsilon_{2010}/\epsilon_{2006}$)
5 -6	15,5873	14,6661	13,9195	13,0497	12,2080	0,78
8 - 9	15,8138	14,5740	13,8244	13,2393	11,9679	0,76
11 -12	28,1031	25,8998	24,6998	23,4000	21,9044	0,78
12 -13	33,3043	31,0129	29,4276	27,2695	25,5017	0,77
13 -14	30,1942	28,4097	26,6796	24,7290	23,3215	0,77
14 -15	30,8474	28,4290	26,6799	24,9833	22,6892	0,74
15 -16	35,4927	32,7065	30,6977	29,2283	26,8994	0,76
16 -17	21,3059	19,8358	18,5255	17,6349	16,8244	0,79
22 -23	23,9891	22,3386	21,4223	20,0837	18,7739	0,78

CONCLUSIONES

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

1. Las instalaciones de alumbrado viario por su grado de exposición a la intemperie y el tiempo de uso al año, se deterioran significativamente y el comportamiento de este fenómeno puede diferenciarse de los valores estipulados por los fabricantes al cambiar los parámetros de explotación respecto a los de ensayos.
2. En los sistemas de alumbrado viario la mayor depreciación luminosa ocurren por la suciedad acumulada en las luminarias y por el envejecimiento de las lámparas. Esta última causa es la que tuvo mayor peso en el caso estudiado.
3. La eficiencia energética de estos sistemas es afectada en igual proporción a la depreciación que van sufriendo durante su explotación, por lo que las acciones de mantenimiento también lograrían incrementar este parámetro.

REFERENCIAS

- [1]. "Depreciation of installations and their maintenance". Austria: COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE, CIE, (Reporte Técnico CIE 33), 1996, ISBN 390073464X.
- [2]. "The maintenance of outdoor lighting systems". Austria: COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE, CIE, (Reporte Técnico CIE 154), 2003, ISBN 390190624X.
- [3]. "Lighting Handbook. Rea, Mark (prol)". 9th Edition, United States of America: IESNA, 2000, 1354 p., ISBN 0879951508.
- [4]. MOCKEY COUREAUX, Israel Omar, "Iluminación Artificial". 1ra. Edición, La Habana: Cubaenergía, [CD ROM], MILLÁN, Eustorgio, 2006, 328p., ISBN 9597136406.
- [5]. MANZANO, Eduardo, "Estudio de una metodología para evaluar la calidad del servicio del alumbrado urbano". [Tesis doctoral], Universidad Politécnica de Catalunya, 2000.
- [6]. "Guide to the lighting of urban areas". Austria: COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE, CIE, (Reporte Técnico CIE 136.), 2000, ISBN 3900734984.
- [7]. CUERDO ESCALANTE, Joaquín, "Evaluación de la depreciación luminosa en las instalaciones de alumbrado viario". [Trabajo de diploma], Departamento de Electroenergética, Universidad de Oriente, Cuba, 2010.
- [8]. BORROTO, Aníbal, "Gestión Energética Empresarial". Redactor General, 1ra. Edición, Cienfuegos: Universo sur, 2002, 63p., ISBN 959257040X.
- [9]. "Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior: Real Decreto 1890/2008. Instrucción técnica complementaria EA-01". España, 14 de noviembre, p. 4599.
- [10]. "Protocolo de auditoría energética de las instalaciones de alumbrado público exterior. Comité Español de Iluminación". [en línea], 2006, [consulta: 12 de junio del 2011], Disponible en: http://www.inega.es/sites/default/descargas/subvencions/SubvencionsPDF/Protocolo_Auditoria_Alumbrado_Publico.pdf
- [11]. RIQUENES, Orestes, "Revitalizan alumbrado santiaguero", Periodico, Juventud Rebelde. [en línea], [consulta: 9 de abril del 2008], Disponible en: <http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2007-11-02/revitalizan-alumbrado-santiago/>, ISSN 1563-8340.
- [12]. GUTIÉRREZ SANTOS, Francisco, "Fuentes luminosas. Manual de iluminación Holophane". Ciudad México: Holophane, 1999, p. 69-88.

AUTORES

Israel Omar Mockey Coureaux

Ingeniero Electricista., Máster en Ingeniería Eléctrica, Profesor Auxiliar en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oriente, Cuba.

e:mail: iomc@fie.uo.edu.cu

Joaquín Ricardo Cuervo Escalante

Ingeniero Electricista. Labora en la Empresa Eléctrica de Santiago de Cuba.

Maikel Rodríguez González

Ingeniero Electricista. Especialista de Alumbrado público de la Empresa Eléctrica de Santiago de Cuba.

NOMENCLATURA

E_m --- iluminación media mantenida, (lux)

S ---- área iluminada, (m^2)

P ---- potencia demandada por el alumbrado, (W)

E_o ----- iluminación inicial, (lux)

FM --- factor de mantenimiento que toma en cuenta la depreciación de la iluminación

FM_{LL} – Factor de depreciación del flujo luminoso de las lámparas

FM_{SL} – Factor de depreciación por suciedad en las luminarias