

Implicaciones energéticas del alumbrado viario en el centro urbano de la ciudad de Santiago de Cuba

Israel O. Mockey
Maykel Lobaina
Yoel Lamoruth

Yoendi R. Alonso
Enrique Castilla
Ernesto E. Martínez

Katia Trepeau

Recibido: Abril del 2008
Aprobado: Mayo del 2008

Resumen / Abstract

El trabajo expone los resultados del estudio luminotécnico y la evaluación del impacto energético de las 40 vías públicas más importantes del centro urbano de la ciudad de Santiago de Cuba. Se identifican las causas y consecuencias del problema presentado, demostrándose que estas instalaciones a pesar de que poseen una demanda eléctrica poco significativa sí presentan un consumo de energía eléctrica apreciable que requiere de un diseño y explotación a partir de políticas adecuadas para logra la mayor eficiencia energética durante todo su ciclo de vida. Las soluciones planteadas permiten ahorrar 792,15 MWh/año lo que constituye una reducción del 67,7 % respecto al consumo actual.

Palabras claves: Eficiencia energética, alumbrado viario, impacto económico, nivel luminoso

This paper exposes the lighting study results and energy impact evaluation of the 40 more important public roads in the urban center of Santiago de Cuba city. The causes and consequences of the problem are identified. It is demonstrated that these facilities, in spite of possessing a not very significant electric demand, presents an appreciable electric power consumption that incentivates to be designed and exploded from appropriate politics for it achieves the biggest energy efficiency during all their cycle of life. The outlined solutions allow to save 792,15 MWh per year that which means a reduction of 67,7 % regarding the current consumption.

Key words: Efficiency energy, road lighting, economic impact, luminous level

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Santiago de Cuba es la segunda en importancia del país, no solo económicamente sino también social y culturalmente. Su centro urbano es la zona más importante socialmente de la ciudad, pues ahí se ubican varias instituciones político-culturales que lo convierten en una de las principales atracciones turísticas de la ciudad. En esta zona predominan las vías públicas con carácter residencial y en menor medida las comerciales.

El centro urbano de la ciudad de Santiago de Cuba tiene una delimitación bastante irregular. Para este estudio se definió dentro de él la zona comprendida entre Plaza de Marte y Avenida Jesús Menéndez en la dirección este-oeste y entre Paseo Martí y Trocha en la dirección norte-sur. Esta área está conformada por un número importante de vías irregulares por sus dimensiones y trayectorias. De ellas se estudiaron las 40 más importantes, quedando excluidas aquellas que por su corta extensión y su similitud a las

estudiadas no tendrían un valor significativo en este análisis. En general, estas vías clasifican como residenciales, aunque algunas de ellas tienen secciones con características comerciales. Las vías analizadas fueron:

1. Calles que se encuentran ubicadas entre la calle Martí y Trocha: Barnada, Calle Nueva, San Agustín, Clarín, Reloj, Calvario, Carnicería, Moncada, San Bartolomé, San Félix, San Pedro, Santo Tomás, San Fermín, Corona, Padre Pico, Gallo, Jobito, Peralejo, Rastro y Carlos Dubois.

2. Calles que se encuentran ubicadas entre la Alameda y Plaza de Marte: San Fernando, Princesa, Santa Rosa, San Carlos, Santa Rita, Rey Pelayo, Santa Lucía, San Basilio, Heredia, Aguilera, San Gerónimo, San Francisco, San Germán, Trinidad, Habana, Los Maceo, San Mateo, San Antonio, San Ricardo y Santa Isabel.

El estudio centra su atención en las instalaciones de alumbrado de estas vías, y fue desarrollado en el período comprendido entre enero de 2006 y julio de 2007, por lo que los cambios operados en estas instalaciones posteriores a este estudio no han sido considerados.

En la ciudad actual, el alumbrado cumple un papel de importancia relevante, que se puede resumir en los siguientes aspectos: Seguridad para la circulación de vehículos y personas, creando las condiciones de visibilidad adecuadas a la densidad, velocidad y complejidad de la circulación y la reducción de actos delictivos, facilitando la vigilancia y disuadiendo las posibles acciones contra personas y bienes.¹

DESARROLLO

Para la evaluación de la situación actual de las vías estudiadas fue preciso realizar el levantamiento físico y luminotécnico de las mismas. A continuación se detallan los principales resultados.

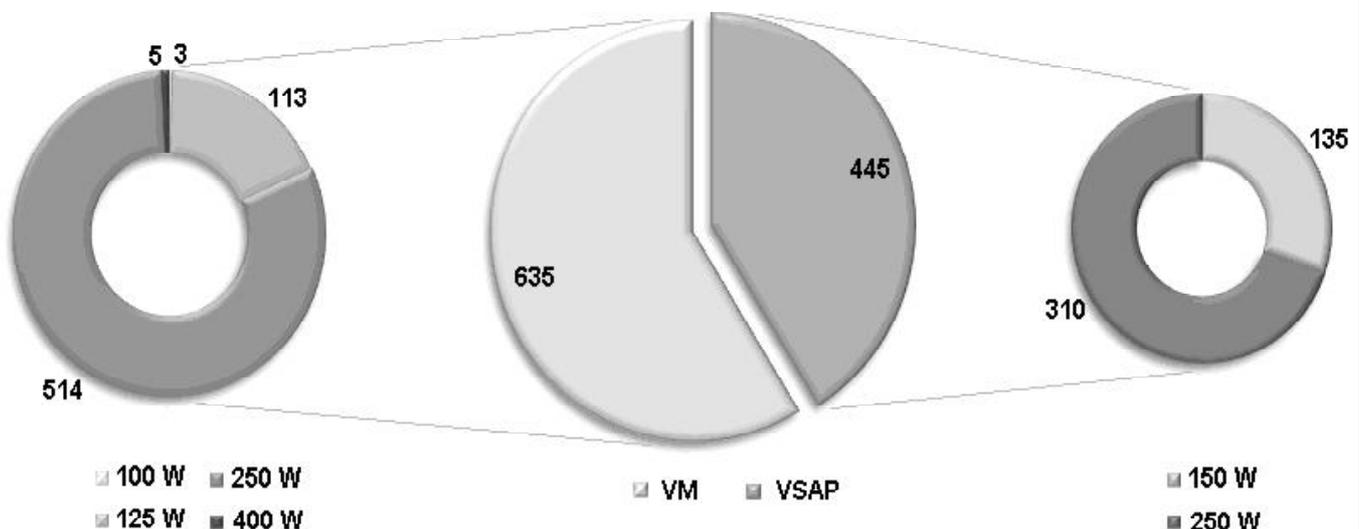
Levantamiento físico

Para comenzar a estudiar las vías seleccionadas fue necesario realizar un levantamiento de cada unidad luminosa por calle y registrar el tipo de lámpara con su respectiva potencia, medir las distancias entre unidades luminosas (lo cual define los tramos), el ancho de la vía, la estimación de la altura del punto de luz, así como la disposición de las unidades luminosas. De este análisis se pueden derivar los siguientes resultados:

1. Fueron censados en total 1 080 puntos de luz, de los cuales 635 poseen lámparas de vapor de mercurio (VM) para un 58,8 % y 445 de vapor de sodio de alta presión (VSAP) para un 41,2 %. En la figura 1 se muestra la composición por tipos y potencias. Como se puede observar existe una gran diversidad en cuanto a las potencias utilizadas, además es mayoritario el empleo de lámparas de VM, las cuales tienen una baja eficiencia.

2. Durante el estudio se detectaron un total de 294 lámparas fuera de servicio, lo que representa un 27,2 %. Se consideran fuera de servicio las lámparas permanentemente falladas y aquellas que operan de forma intermitente.

3. La distancia entre unidades luminosas consecutivas varía en las vías estudiadas entre 3,6 y 117,3 m. En total existen 402 tramos con distancias fuera del rango recomendable (entre 3 y 5 veces la altura del punto de luz),² lo cual constituye el 34,6 % del total.



Distribución de las lámparas por tipos y potencias

Esta irregularidad presupone una gran afectación en el cumplimiento de la uniformidad luminosa.

4. La altura entre el punto de luz y el plano medio de la calzada presenta una gran variación, incluso entre luminarias consecutivas. Este parámetro varía en las vías estudiadas entre 3,5 y 8 m. Existen 145 punto de luz con menos de 6 m de altura (valor límite establecido para este tipo de instalaciones), para un 13,4 %. En la generalidad de los casos no hay correspondencia entre la altura y la potencia de las lámparas. Esta situación unida a la irregularidad de la distancia entre unidades luminosas compromete el cumplimiento de la uniformidad luminosa.

Levantamiento luminotécnico

Con el fin de poder evaluar los parámetros luminotécnicos fundamentales de cada vía (nivel de iluminación y uniformidad luminosa) se practicaron alrededor de 6 000 mediciones de iluminación. Para evaluar el cumplimiento del nivel luminoso medio (*E_{med}*) en la vía, es necesario conocer el nivel de iluminación medio recomendado, el cual está en correspondencia con la categoría de la vía determinado, fundamentalmente, por la intensidad del tráfico, tanto de vehículos como de peatones.

Tomando en consideración los valores recomendados,³ el nivel luminoso de la calle Aguilera es de 9 lux, para las calles Corona y San Pedro es de 6 lux y para el resto de apenas 3 lux.

Los valores mínimos de uniformidad luminosa media (*U_{media}*) recomendados para la calle Aguilera es de 1:4, el resto basta cumplir con una uniformidad media de 1:6. La uniformidad extrema (*U_{ext.}*) deberá en todos los casos cumplir con la relación 1:10.⁴

Los resultados luminotécnicos fueron:

1. De los 1 160 tramos analizados, en 614 de ellos no se alcanzan los valores exigidos de iluminación media, lo cual constituye el 52,9 %. Las causas fundamentales de esta situación son: Las lámparas fuera de servicio, la excesivas interdistancia y el elevado grado de depreciación existente.

2. En contraste con esta situación, en 355 tramos se supera en más del doble la iluminación requerida, para un 30,6 %. Se puede corroborar que incluso en 21 tramos se llega a superar este indicador en más de 15 veces. Esta situación evidencia el gran derroche energético existente y tiene sus causas fundamentales en el uso de lámparas de mayor potencia que las requeridas y sus emplazamientos a una altura inferior a la recomendada.

3. Solo en 191 tramos se logran los valores exigidos y el grado de sobredimensionamiento no es muy

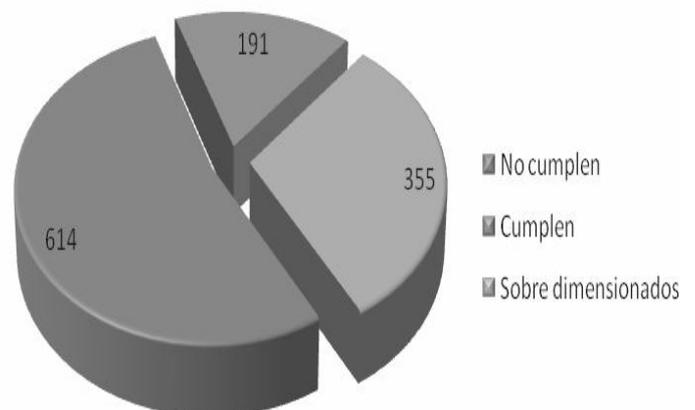
acentuado, para un 16,4 %. Como se puede apreciar en la figura 2, solo alrededor de una sexta parte de los tramos analizados logran cumplir con el nivel luminoso requerido. Esta situación evidencia el gran deterioro luminotécnico y el elevado derroche energético que por supuesto tiene su repercusión energética, económica y medioambiental.

4. En 984 de ellos no se alcanzan los valores exigidos de uniformidad media, para el 84,8 %. En el caso de la uniformidad luminosa extrema no se logra el requerimiento en 1 046 para un 90,2 %. En la figura 3 se representa estos comportamientos. Las causas fundamentales de esta situación son: Las lámparas fuera de servicio, el gran número de lámparas emplazadas a alturas inferiores a las correspondientes según las lámparas utilizadas y las excesivas interdistancias.

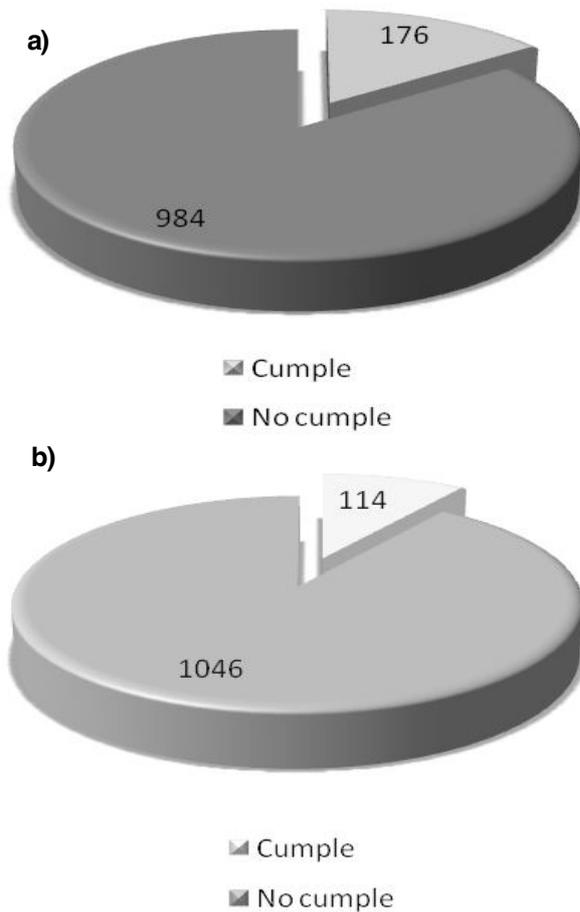
Como se puede observar la situación luminotécnica existente es el resultado de cada una de las deficiencias enumeradas en el levantamiento físico, no solo individualmente sino en muchos casos por la combinación de varias de ellas.

Solución al problema diagnosticado

Para revertir la situación diagnosticada anteriormente se tomaron en cuenta las restricciones que imponen el hecho de emplazar el sistema de alumbrado viario en las propias estructuras de la red de distribución eléctrica⁵ y se aplicó el método para el estudio de estas instalaciones.⁴ Para el análisis de las variantes de solución para cada tramo analizado se aplicó la técnica computacional a través del software Windaluv el cual permite analizar instalaciones con estas características y restricciones.⁶



Estado del cumplimiento del nivel de iluminación media.



Comportamiento de la uniformidad luminosa:
a) media y b) extrema.

3

Tomando en cuenta los criterios de eficiencia energética de estos sistemas^{1,7} las características de las vías estudiadas, los niveles luminosos recomendados y considerando que la altura máxima posible a emplazar las luminarias es de 8 m, solo se analizaron como lámparas posibles a instalar las de vapor de sodio de alta presión (VSAP) de 70 y 100 W. Los resultados más racionales desde el punto de vista luminotécnico de las diferentes variantes analizadas indican que se deben instalar lámparas de VSAP de 100 W en las vías Aguilera y Corona y en el resto de las vías serán de 70 W.

Con estas soluciones, los indicadores luminotécnicos se comportan según muestra la tabla 1. Como se puede observar, el problema existente se logra revertir casi en su totalidad aunque persisten algunos tramos que no cumplen la uniformidad extrema por las restricciones de la distancia entre unidades luminosas al ser emplazadas en las estructuras de la red eléctrica y no existir facilidades para ello en las fachadas de las edificaciones.

Tabla 1
Resultados comparativos de los parámetros luminotécnicos abordados

Parámetros luminotécnicos	Situación actual		Con las soluciones propuestas	
	Rango de variación	No. de tramos que incumplen	Rango de variación	No. de tramos que incumplen
Emed (lux)	80,0 - 0,0	969	100,0 - 0,0	0
Umedia	0,96 - 0,0	984	0,74 - 0,22	0
Uext	0,90 - 0,0	1 046	0,51 - 0,01	94

Evaluación energética e impacto económico de las soluciones propuestas

Para el funcionamiento de las instalaciones de alumbrado viario se requiere de energía eléctrica y para ello es necesario generarla y suministrarla hasta dichas instalaciones, lo cual tiene un impacto energético y un determinado importe económico. El alumbrado viario constituye una carga eléctrica con una demanda menos significativa que las cargas industrial y residencial. Sin embargo, estas instalaciones trabajan un tiempo relativamente grande (en el orden de las 4 000 horas anuales) por lo que sus implicaciones energéticas no se pueden despreciar, ya que además las mismas inciden en el horario del pico eléctrico, momento en el cual deben operar las plantas de menor eficiencia del sistema eléctrico. Es por ello que todas las acciones encaminadas a lograr su funcionamiento con eficiencia energética tienen un significativo impacto energético y económico por cuanto los costos asociados al consumo de electricidad están directamente relacionados.

En la tabla 2 se recogen los resultados de demanda y consumo eléctrico para cada vía por tipo y para cada potencia de lámparas existente en las vías estudiadas, así como los resultados con las variantes propuestas, para ello se consideró además el consumo de los balastros.

Como se puede corroborar, estas instalaciones en su conjunto demandan 291,21 kW en la actualidad, una carga relativamente baja, más sin embargo ellas consumen anualmente alrededor de 1,169 GWh. Esta cifra constituye un valor significativo si se toma en cuenta que solo corresponde a las 40 vías estudiadas, Los puntos de luz analizados constituyen el 10,5% del total emplazado en la ciudad por lo que la generalización de este estudio promete obtener un gran impacto si las otras vías presentan una situación similar a las diagnosticadas.⁸

Tabla 2								
Resultados energéticos comparativos								
Parámetro	Condiciones actuales						Solución	
	Lámparas de vapor de mercurio				Lámparas de VSAP		Lámparas de VSAP	
	100 W	125 W	250 W	400 W	150 W	250 W	70 W	100W
Número de luminarias	3	113	514	5	135	310	998	84
Potencia total por tipo y potencia (kW)	0,36	16,95	154,20	2,40	24,30	93,00	83,83	10,08
Demanda total (kW)	291,21						93,91	
Disminución de la demanda (kW)	197,30							
Consumo anual (MWh)	1 169,21						377,05	
Ahorro de energía anual(MWh)	792,16							

Con las soluciones propuestas, solamente en las 40 vías estudiadas, se logra reducir la demanda eléctrica en 197,30 kW y con ello disminuir el consumo anual de estas instalaciones en 792,15 MWh, lo cual significa una reducción de ambos parámetros en un 67,7 % respecto a los actuales.

Para la evaluación de la factibilidad de esta inversión, según el procedimiento definido por la Unión Eléctrica, se consideró como fondos absorbidos el costo de los recursos empleados, tomando del libro de costo de materiales del Presupuesto de la OBE Provincial Santiago de Cuba en fecha enero de 2006. Además, se consideró el salario, descanso retribuido, seguridad social, transporte, aporte sobre el salario, gastos técnicos administrativos y otros gastos de la brigada que acometerá el remplazo. Para el horizonte de la inversión analizada de 10 años se consideró que a los 5 años se realizará el remplazo colectivo de todas las lámparas.

Se consideraron además, entre los fondos generados: Los beneficios por reducción de combustible, por liberación de redes y por liberación de capacidad en las plantas generadoras.

Esta evaluación demuestra la amplia factibilidad económica de ejecución de la solución planteada al reportar un valor actual neto de \$ 413 837,05, un

índice beneficio-costos de 6,31 y una recuperación de las inversiones de 9 meses y 13 días, todo ello para una tasa de descuento del 15 %.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se puede concluir que:

1. Se comprueba el estado deficiente de las instalaciones de alumbrado viario de las 40 vías estudiadas con el incumplimiento generalizado de los indicadores luminotécnicos ya sea por el excesivo sobredimensionamiento de los requerimientos o por el no cumplimiento de ellos.
2. El empleo irracional de las lámparas en cuanto a su potencia luminosa y el uso mayoritario de las de vapor de mercurio provoca un gasto energético considerable ascendente a 1,16 GWh/año, para lo cual se necesita generar electricidad empleando casi 475 t de petróleo al año con un importe, solo por este concepto, de cerca de 62 MCUC. Con las soluciones propuestas se logrará reducir este impacto energético y económico en un 67,7 %.
3. Este estudio evidencia que si bien la demanda eléctrica del alumbrado público no es una carga de consideración dentro del Sistema Eléctrico Nacional, el hecho de incidir en el horario del pico eléctrico y por la magnitud del consumo energético que ella implica, estas instalaciones deben ser diseñadas y explotadas a partir de políticas adecuadas para logra la mayor eficiencia energética durante todo su ciclo de vida.

REFERENCIAS

1. **Pecanins, F y R. San Martín:** "Racionalización del consumo energético en instalaciones de alumbrado público", *Montajes e instalaciones*, 1995.
2. **Mockey Coureaux, Israel Omar y Eustorgio Millán Álvarez:** *Iluminación artificial*, Cubaenergía, La Habana, 2007.
3. *Manual de alumbrado Westinghouse*, La Habana, 1962.
4. **Mockey Coureaux, Israel Omar y Eustorgio Millán Álvarez:** "Metodología para el estudio de instalaciones de alumbrado viario", *Revista Ingeniería Energética*, No. 2, Vol. XXIV, pp. 59-65, 2003.
5. **Lobaina Guerra, Leo Maykel y Yoel Lamoruth Garrido:** "Estudio luminotécnico de las principales vías del casco histórico de la ciudad de Santiago de Cuba", (Informe), Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2006.
6. **Mockey Coureaux, Israel Omar y otros.:** "Windaluv, un software para estudiar y proyectar las instalaciones de alumbrado viario", *Ciencia en su PC*, No. 3, Vol. 1, Santiago de Cuba, 2000.
7. **Verhaar, H:** "Eficiencia energética en iluminación", *Electra*, pp. 68-73, 2007.
8. **Alonso Hidalgo, Yoendi y Enrique Castilla Ramis:** "Estudio luminotécnico de las vías del centro urbano de la ciudad de Santiago de Cuba", (Informe), Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2007.

AUTORES

Israel O. Mockey Coureaux

Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica,

Profesor Auxiliar, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba
e-mail: iomc@fie.uo.edu.cu

Maykel Lobaina Guerra

Ingeniero Electricista, Empresa de Proyectos del Ministerio del Interior (MININT), Santiago de Cuba

Yoel Lamoruth Garrido

Ingeniero Electricista, Taller de Transformadores de la Organización Básica Eléctrica (OBE), Santiago de Cuba

Yoendi R. Alonso Hidalgo

Ingeniero Electricista, Empresa de Mantenimiento del Petróleo, Santiago de Cuba
e-mail: csuarez@cees.uo.edu.cu

Enrique Castilla Ramis

Ingeniero Electricista, Fuerzas Armadas Revolucionarias (FAR), Santiago de Cuba

Ernesto E. Martínez

Ingeniero Electricista, Empresa Eléctrica, Santiago de Cuba
e-mail: ernesto@elecstg.une.cu

Katia Trepeau Domínguez

Ingeniera Electricista, Empresa Eléctrica, Santiago de Cuba, Cuba
e-mail: paecstg@elecstg.une.cu