

Escenarios de Integración de Sistemas Inteligentes de Iluminación Fotovoltaica en las Autopistas del Ecuador

C. Vargas¹ M. García¹ D. Guevara¹ A. Ríos²

¹Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial
Universidad Técnica de Ambato

²Investigador Prometeo

E-mail: c.vargas0028; mgarciad.guevara; a.rios@uta.edu.ec

Resumen

El artículo propuesto describe las características en el diseño e implementación de un control inteligente de iluminación integrado con módulos fotovoltaicos. Asimismo, se presenta un innovador sistema inteligente de control de alumbrado público con el fin de reducir el tiempo de funcionamiento de las luminarias, y por tanto, el consumo energético en el alumbrado de las autopistas. Finalmente, se describe un análisis de la factibilidad económica del sistema de iluminación renovable y su impacto en el ahorro de energía para las actuales y futuras autopistas de la República del Ecuador.

Palabras Clave— Alumbrado público, autopistas inteligentes, control de iluminación, ahorro energético.

Abstract

The proposed article describes the features in the design and implementation of intelligent lighting control integrated with photovoltaic modules. Also, an innovative intelligent lighting control in order to reduce the operating time of the lights, and therefore the energy consumption for lighting of the highways is presented. Finally, an analysis of the economic feasibility of renewable lighting system and its impact on energy savings for current and future highways of the Republic of Ecuador is described.

Index terms— Lighting, smart highways, light control, photovoltaic panels.

Recibido: 12-10-2015, Aprobado tras revisión: 24-12-2015

Forma sugerida de citación: Vargas C.; García M.; Guevara D.; Ríos A. (2016). "Escenarios de Integración de Sistemas Inteligentes de Iluminación Fotovoltaica en las Autopistas del Ecuador". Revista Técnica "energía". N° 12, Pp. 251-261.

ISSN 1390-5074.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de iluminación pública de autopistas y carreteras causan un excesivo consumo de energía eléctrica. Las luminarias de las autopistas y carreteras presentan elevadas potencias unitarias y reducida eficiencia luminosa con el correspondiente consumo de energía y coste económico. El excesivo consumo energético de las autopistas es uno de los más graves problemas de los sistemas energéticos de cualquier país [1].

Se estima que el consumo de electricidad en sistemas de iluminación representa el 15 % del consumo total de energía eléctrica a nivel mundial y el 5 % de las emisiones de gases de efecto invernadero -GEI-, según The United Nations Environment Programme, UNEP – Global Environment Facility [2].

En varios países industrializados existe una gran preocupación por optimizar los sistemas de iluminación pública de las autopistas.

En China, el consumo energético asociado a la iluminación de autopistas representa el 30 % del total del consumo nacional [3]. En el Reino Unido, al año 2014, se calculó un aproximado de 9 millones de farolas con una facturación de 110 millones de libras al año. En los Estados Unidos, la producción de electricidad es causante del 62,6 % de las emisiones de dióxido de Azufre, el 21,1 % de las emisiones de dióxido de Nitrógeno, el 40 % de las emisiones de carbono [4].

En el Ecuador, en el año 2012, la potencia instalada fue de 176 MW correspondientes a 1 millón 104 mil 72 luminarias de diferentes tecnologías. La tasa de crecimiento del servicio de alumbrado público entre los años 2006 y 2012 fue del 3 %. Se prevé que para el período entre 2012 y 2021 el porcentaje de crecimiento sea del 7 % [5]. El servicio de alumbrado público representa una parte fundamental e indispensable para la movilidad, ornamentación y seguridad ciudadana. Sin embargo, este servicio presenta uno de los rubros de mayor consumo energético. Según el Ministerio Coordinador de los Sectores Estratégicos - MICSE -, en el año 2013, el consumo eléctrico del alumbrado público representó el 5,68 %, correspondiente a 189 MW de la demanda máxima del Sistema Nacional Interconectado y el 4,95 % del total de energía consumida en los diferentes sectores de la economía nacional, equivalente a 944 GWh [6].

La investigación relacionada a la eficiencia energética en alumbrado público requiere novedosas herramientas que evalúen el comportamiento de este servicio público. Una gran cantidad de investigadores, en todo el mundo, desarrollan numerosos proyectos de innovación tecnológica de control del flujo luminoso, plataformas de control y gestión, y sistemas remotos de transmisión inalámbrica para el control de encendido y apagado de luminarias [7]. En este sentido, la constante evolución tecnológica asociada a optimizar el funcionamiento de autopistas tiene como objetivo transformar las autopistas convencionales en modernas infraestructuras con grandes funcionalidades tecnológicas, denominadas autopistas inteligentes.

2. SISTEMAS DE CONTROL DEL FLUJO LUMINOSO

Un sistema de iluminación se puede clasificar en función del área de instalación, funcionamiento y su utilización. Los sistemas de iluminación en su inicio fueron controlados de forma manual con interruptores individuales en cada luminaria, a éste tipo de control se lo conoció con el nombre de control de primera generación. En la actualidad, las luminarias son manipuladas a través de un control óptico temporizado, que opera en función de la variación de resistencia de un dispositivo sensible a la luz que enciende las luminarias al anochecer y las apaga automáticamente al amanecer.

El control inteligente gestiona el flujo luminoso en cada luminaria, en términos anglosajones este proceso se conoce como dimming control. El control del flujo luminoso se aplica en cualquier fuente de emisión de luz, pero las luminarias LED, presentan grandes ventajas y facilidad en el control de la intensidad de luz a emitir. Un eficiente control del flujo luminoso en luminarias LED implicará un gran ahorro en la facturación de energía eléctrica. En los siguientes párrafos se presentan ejemplos de sistemas de control del flujo luminoso.

En Bangladesh, en el año 2014, se realizó un estudio de un sistema de iluminación que presenta un importante ahorro energético en las zonas rurales. El sistema de iluminación está conectado a un sistema fotovoltaico, la energía captada por los paneles solares es almacenada en baterías selladas.

Este sistema reveló que una luminaria fluorescente compacta consume 767 kWh al año, mientras que una luminaria LED consume 329 kWh al año con el mismo nivel de luminosidad.

Además, el sistema de iluminación es controlado por una unidad central de procesamiento que regula el máximo nivel de luminosidad en función de sensores de presencia, Fig 1. En este sentido, el sistema de iluminación controlada alcanza un importante ahorro energético [8].

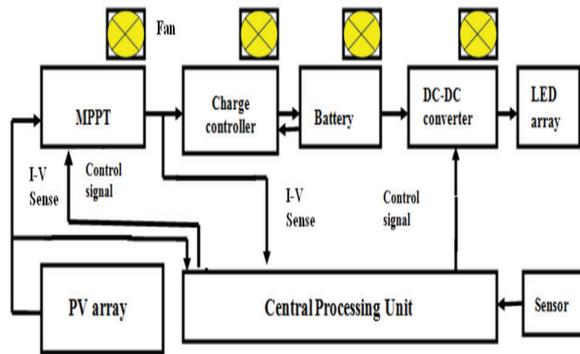


Figura 1: Sistema de iluminación propuesto en Bangladesh [8]

La modulación por ancho de pulso, PWM, permite atenuar el flujo luminoso de las luminarias. En [9], se aplica señales PWM que controlan el flujo luminoso de las luminarias en función de la corriente que circula.

Así la corriente se limita a un intervalo entre 20 y 50 mA, con una frecuencia de conmutación de 500 kHz. En la Fig.2, se muestra el control PWM para encender y apagar las luminarias consumiendo únicamente la energía almacenada en la batería del sistema renovable.

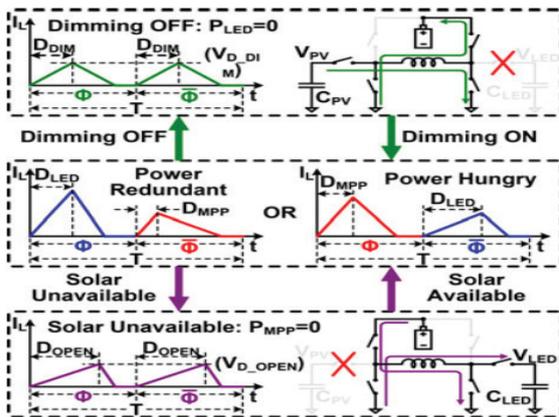


Figura 2: Control del flujo luminoso aplicado a luminarias LED [9]

3. SISTEMAS INTELIGENTES DE ILUMINACIÓN EN AUTOPISTAS

La investigación asociada a los sistemas inteligentes de iluminación pública de calles, vías y autopistas, representa un tema de especial

interés para la comunidad científica. En la actualidad, todas las investigaciones relacionadas con los sistemas de iluminación se centran en implementar dispositivos y elementos que reduzcan significativamente el consumo de energía eléctrica. De esta manera, surgen las más modernas innovaciones tecnológicas relacionadas con la sustitución de luminarias obsoletas e ineficientes por tecnologías LED, la implementación de sistemas inteligentes de control de luminosidad, la integración de sistemas renovables de iluminación y el desarrollo de plataformas de gestión y control de sistemas de iluminación. En los siguientes párrafos, se describen los estudios de diferentes investigaciones realizadas con el objetivo de reducir el consumo energético en iluminación de autopistas. En la década de los 90, Holanda realizó varios estudios de iluminación pública sobre un tramo de 14 kilómetros de una autopista de 6 carriles. Los estudios realizados, permitieron el diseño de un prototipo de control inteligente de iluminación, el prototipo evaluó los niveles de iluminación en función de la capacidad de percepción del conductor y sus acciones para una conducción segura. Los resultados adquiridos en estos estudios, revelan que no existen efectos negativos a niveles de iluminación equivalentes al 20 % del nivel de iluminación convencional. Así, un nivel de iluminación del 20 % satisface flujos reducidos de tráfico nocturno con buenas condiciones climáticas. Por otra parte, desde el año 2000, Estados Unidos de Norte América y China implementaron sistemas de tele-gestión del control de la iluminación pública. Los sistemas de telegestión en su inicio constaban de temporizadores de control de iluminación [10].

En los años 2005 y 2008, se desarrolló el proyecto E-Street. Los países participantes adoptaron el esquema de telegestión del servicio de alumbrado público de autopistas. El esquema de telegestión consta de un grupo de sensores que recogen información de las condiciones climáticas y el flujo vehicular. La información recogida es procesada en unidad central, que a través de una red de segmentos de caja regula el nivel de iluminación de las luminarias, Fig. 3 [11].

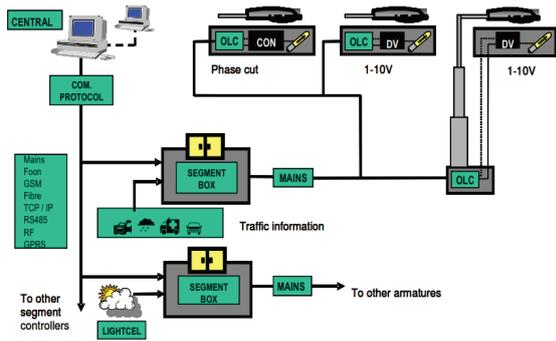


Figura 3: Esquema del sistema de telegestión del proyecto E-Street [11].

En [11], se presenta el ahorro energético anual obtenido por la implementación de un sistema de telegestión de control de la iluminación en autopistas de Noruega. Una cabina de control contiene un sistema de programación y control de 100 luminarias que opera en función a los datos astronómicos de la localización geográfica. En Europa, se obtendrán mayores ahorros de energía en invierno que en verano. La implementación de sistemas de telegestión de los sistemas de iluminación, basados en datos meteorológicos, permite ahorros de energía de hasta un 45 % en relación a los consumos convencionales sin ningún tipo de control o reemplazo de luminarias ineficientes.

La interconexión de 100 servidores en la ciudad de Oslo, permiten la monitorización del sistema de iluminación pública a través del servicio de Internet. Este sistema permitió controlar 55000 luminarias conectadas a la red del servicio de alumbrado público empleando la tecnología Power Line Communications, PLC, Fig. 4 [12].

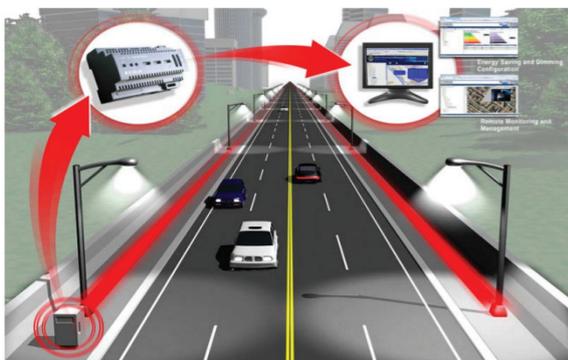


Figura 4: Sistema de monitorización en la ciudad de Oslo [12].

En República Checa, en función del proyecto E-Street, se implementó un control de iluminación individual para cada luminaria. Así, en la ciudad de Praga, se han instalado sistemas de

ahorro de energía como el sistema de telegestión Luxicom.

Inicialmente, se tenía un consumo energético de 5080 kWh/año, con la implementación del moderno sistema de telegestión se consume 3911 kWh/año, se calcula un ahorro del 23 %. El moderno sistema controla las luminarias por zonas establecidas a través de internet, Fig. 5 [11].

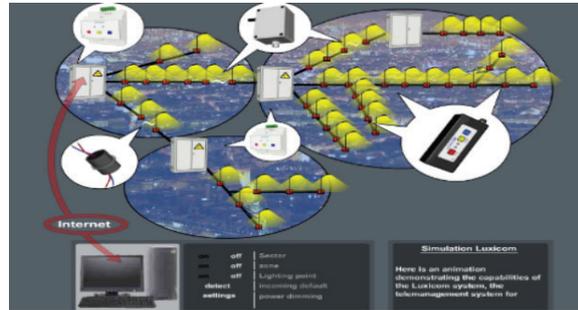


Figura 5: Esquema del sistema de telegestión Luxicom [11]

En el año 2009, en Polonia, la empresa Elektroim S.A. realizó una importante investigación sobre la implementación de un sistema de gestión del alumbrado público denominado “Júpiter”. El sistema de gestión es monitoreado través de un Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos, - SCADA-. Este sistema establece una comunicación GPRS entre una estación de operación control y los interruptores de caja que regulan el flujo luminoso de las luminarias empleando la tecnología PLC, Fig. 6 [13].

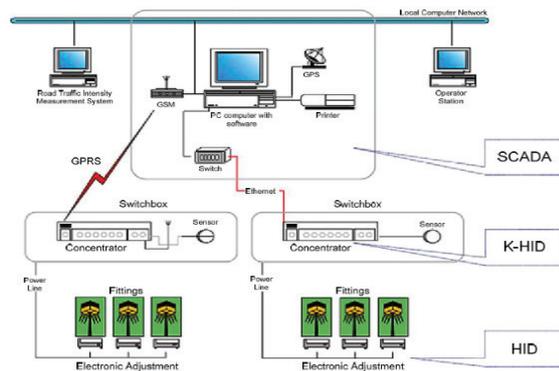


Figura 6: Sistema de gestión del alumbrado público Júpiter [13]

En [14], la intensidad de las luminarias LED es regulada en función de la información captada por sensores electrónicos de detección de presencia, alcanzando así un importante ahorro energético. Asimismo, la intensidad luminosa se incrementará cuando los sensores detectan la presencia de personas, Fig. 7.

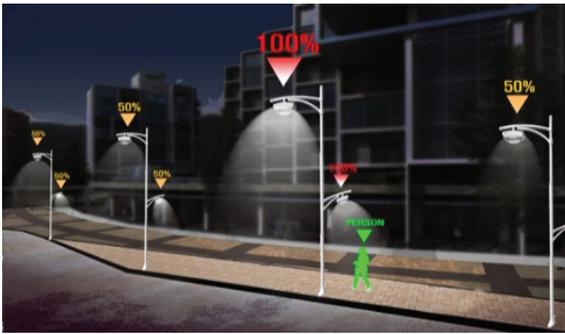


Figura 7: Control del flujo luminoso en luminarias LED [14]

El servicio de alumbrado público puede ser optimizado mediante el empleo de las nuevas tecnologías de iluminación. En este sentido, se puede emplear modernos sistemas iluminación compuestos por dispositivos electrónicos inteligentes y luminarias de alta eficiencia energética de tecnología LED. Un sistema de control inteligente de iluminación se puede definir como un moderno control de iluminación, que emplea tecnologías informáticas, sistemas de comunicaciones, sistemas de automatización y electrónica de potencia [15].

4. SISTEMAS RENOVABLES DE ILUMINACIÓN PÚBLICA

El progresivo avance de las tecnologías de iluminación permite integrar sistemas renovables con luminarias de alta eficiencia para un mejor servicio. En los siguientes párrafos, se presentan experiencias asociadas al consumo energético en iluminación pública con sistemas renovables.

En Líbano, en el año 2011, el sistema de iluminación público consume 180 MWh/año, el 35 % se destina a la iluminación de las autopistas internacionales. El Departamento de Energía de Líbano, predice que el consumo de energía del sistema de iluminación público se reduciría en un 50 % al reemplazar las luminarias de sodio de alta presión, HPS, por luminarias LED. Adicionalmente, si se empleasen sistemas de generación híbridos, basados en energía solar y eólica, el ahorro de energía sería muy considerable e implicaría una importante reducción de emisiones de CO₂. En la Fig. 8, se observa el diagrama de un sistema híbrido para iluminación pública presentado por el Departamento de Energía de Líbano [16].

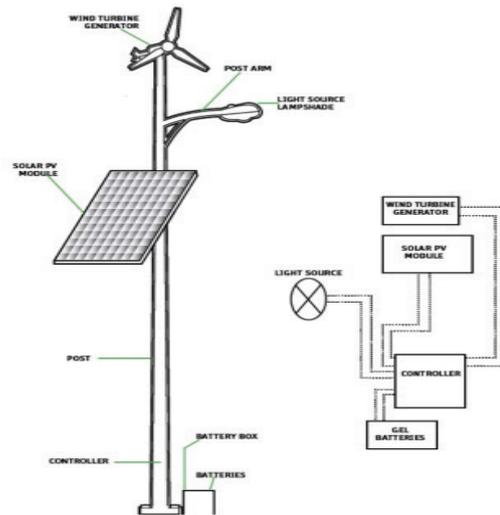


Figura 8: Diagrama de bloques del sistema de iluminación híbrido [16]

En Estados Unidos, en el año 2011, se realizó un estudio para gestionar el servicio de alumbrado público a través de una micro-red.

Se estima que la implementación de una micro-red en las vías de la ciudad de Lincoln, podría generar un ahorro energético de 1.5 millones de dólares y reducir así las emisiones contaminantes en más de 12.000 toneladas de CO₂, con la implementación de sistemas de generación eléctrica híbridos, Fig. 9 [17].

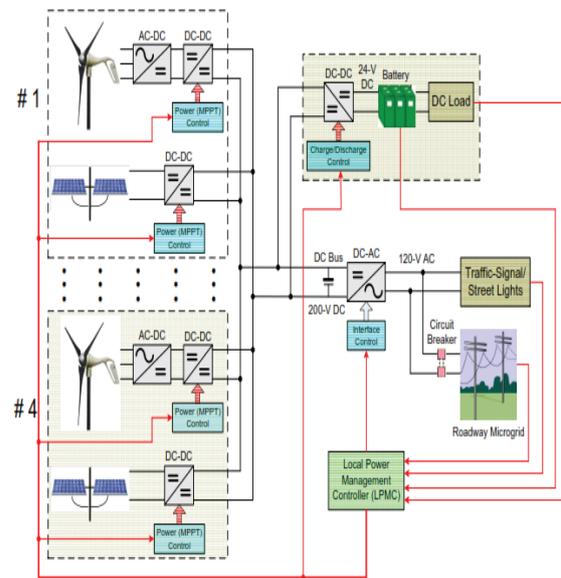


Figura 9: Diagrama de la micro-red de alumbrado público con sistemas renovables [17]

En Dinamarca, en la ciudad de Copenhagen, al año 2013 existían 45000 luminarias, representando un elevado consumo de energía eléctrica. De esta manera se han integrado luminarias LED de alta eficiencia energética en conjunto con un sistema de generación eléctrico híbrido solar - eólico. En la Fig. 9, se presenta el sistema de iluminación renovable [18].



Figura 10: Sistema Renovable de iluminación en Copenhagen [18]

5. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN TÉCNICO - ECONÓMICA DE LA INTEGRACIÓN DEL CONTROL INTELIGENTE DE ILUMINACIÓN EN AUTOPISTAS

Las luminarias LED presentan gran rendimiento en iluminación pública frente a las luminarias tradicionales de sodio de alta presión, vapor de mercurio, incandescente. En la Fig.11, se presenta la escala evolutiva de las luminarias entre los años 1879 a 2012. En el año 1879, las primeras lámparas incandescentes patentadas por Thomas Edison, tenían un nivel de luminosidad por debajo de los 20 lm/W. Las lámparas de vapor de mercurio inician aproximadamente en el año 1904 y al año 2000 su eficiencia luminosa sobrepasó los 50 lm/W.

Desde el año 1938 las luminarias LED incrementaron su eficiencia luminosa hasta el año 2014 donde su nivel fue de 80 lm/W. [19]. De esta manera, se prevé el uso masivo de luminarias LED para el control inteligente de iluminación.

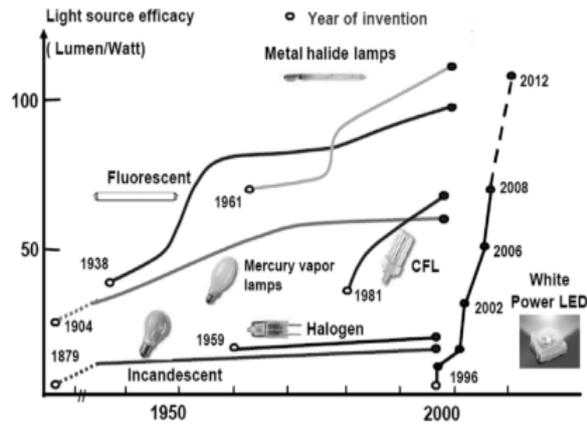


Figura 11: Evolución de las luminarias para alumbrado público [19]

Por otro lado, en el servicio de alumbrado público, a una altura mínima de montaje de las luminarias de 6 metros, se requieren 3000 lm de flujo luminoso.

En la Fig. 12, se presenta la altura de montaje y la relación con la superficie de iluminación [20]. En el país, las instalaciones de las luminarias de alumbrado público van desde los 6 metros hacia los 12 metros. En este sentido, se tiene que a mayor altura de montaje de las luminarias la superficie iluminada es mayor, sin embargo, el flujo luminoso disminuye considerablemente.

Además, las luminarias de sodio de alta presión no poseen un buen rendimiento en la conversión de electricidad a luz. Asimismo, parte de la iluminación que proviene de luminarias de sodio de alta presión es dispersada a la atmósfera provocando la contaminación lumínica.

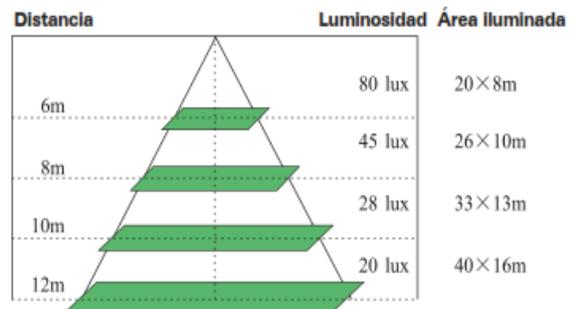


Figura 12: Flujo luminoso requerido a diferentes alturas [20]

En la tabla 1, se presenta una comparación del flujo luminoso entre luminarias convencionales de sodio de alta presión, en términos anglosajones HPS, y las modernas luminarias LED. La comparación se realizó en base al rendimiento que poseen las luminarias LED, este rendimiento cada vez es más alto lo que permite reemplazar luminarias HPS de alta potencia por luminarias LED de menos consumo energético.

Tabla 1: Comparación del flujo luminoso a diferentes alturas

Flujo Luminoso Lx, a diferentes alturas				
TiPos de Luminarias	H=6m S=160m2	H=8m S=260m2	H=10m S=429m2	H=12m S=640m2
HPS 250W $\eta=55$	200	123	75	50
HPS 150 W $\eta=55$	103	63	38	26
LED 168 W $\eta=70$	79	48	29	20
LED 112 W $\eta=85$	53	32	20	13
LED 90 W $\eta=85$	78	48	29	20
LED 60 W $\eta=90$	53	33	20	13

En la Fig. 13, se presenta la relación entre luxes y la altura de montaje de las luminarias. En la relación se han considerado los diferentes tipos de luminarias presentadas en la tabla 1. Asimismo, se establece un límite de 35 luxes como valor requerido en la iluminación de autopistas de gran velocidad [21].

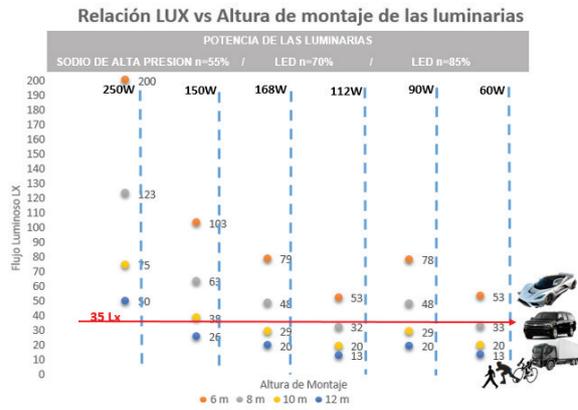


Figura 13: Relación del flujo luminoso y altura de montaje de luminarias

Tabla 2: Coste económico del servicio de alumbrado público en 100 Km de autopista

Tecnología de la luminaria	Potencia Luminaria W	Potencia total instalada en luminarias MW	Consumo energético GWh	Costo luminarias, millones USD	Costo económico anual iluminación pública, millones USD	Costo económico en 20 años millones USD
Sodio de alta presión (HPS)	2 x 250	1,666	7,297	2,000 x 2	0,825	20,500
LED $\eta=50\%$ 2010	2 x 170	1,133	4,962	1,933	0,561	13,153
LED $\eta=85\%$ 2014	2 x 112	0,746	3,267	1,330	0,370	8,730

En el año 2014, este porcentaje se incrementó a un 85 %, de esta manera se estima que una luminaria LED de 112W de potencia nominal sustituye a una luminaria de sodio de alta presión de 250W. En la tabla 2, se presenta el costo económico del servicio de alumbrado público en un tramo de autopista de 100 Km comparado entre las luminarias LED y las luminarias HPS. Se prevé una distancia interpostal de 30 metros, y que en cada poste se alojan dos luminarias. Además, el costo económico está proyectado a un horizonte de 20 años, estimando el tiempo de vida útil de las luminarias LED de 100 000 horas operando 12 horas diarias. De esta manera el costo de las luminarias LED será único en el mencionado período, mientras que una

luminaria HPS deberá ser reemplazada en la mitad del tiempo estimado.

El empleo de las modernas luminarias LED permite alcanzar un importante ahorro económico y energético. Asimismo, el incesante desarrollo tecnológico permite crear innovadores sistemas de control. En este sentido, y en base a experiencias internacionales se presenta una comparación entre un servicio convencional de iluminación empleado en autopistas y diferentes niveles de control del flujo luminoso aplicado en luminarias LED. Según [10], un control de iluminación equivalente al 20 % de la potencia nominal aplicada a las luminarias es suficiente para iluminar el flujo vehicular de una autopista en horas de la noche.

En el estudio se han considerado un coste económico de las luminarias HPS con una potencia de 250W a un valor promedio de 300 dólares, las luminarias LED de 112W con un costo de 200 dólares. En el Ecuador, la tarifa del servicio de alumbrado público es facturada a 11,30 centavos de dólar por kilovatio hora. En la Tabla 3, se presenta los cálculos proyectados a la iluminación de un tramo de autopista de 100 Km, comparando así el servicio de alumbrado público convencional con un servicio controlado. De esta manera se presenta 3 niveles de control del flujo luminoso que van del 25% al 75% aplicado en luminarias LED que consumen 112W de potencia, se prevé que con este control se desplace al servicio de alumbrado público convencional de luminarias HPS.

El empleo de las modernas luminarias LED permite una gran integración tecnológica con sistemas renovables de generación eléctrica. Así, un escenario a considerar es la integración de un sistema fotovoltaico de iluminación pública. El sistema permite utilizar la energía captada por la radiación solar, almacenarla en baterías y utilizarla en horas del servicio de alumbrado público. El

empleo de energía limpia que proviene de fuentes renovables aporta significativamente a la transformación energética del país y a los lineamientos establecidos en el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017. El escenario que se plantea corresponde a la implementación de un sistema fotovoltaico asociado al servicio de alumbrado público.

Se compara el desempeño del servicio de alumbrado público operando con el sistema de generación eléctrica. Para el cálculo de la potencia instalada se ha tomado como promedio 4 horas de radiación solar pico. Asimismo, se analiza el informe presentado por la Agencia Internacional de Energía Renovable, su acrónimo en inglés – IRENA-. En el informe se deduce que el costo de las instalaciones fotovoltaicas para autopistas equivaldrá a los precios de pequeñas instalaciones fotovoltaicas. Las instalaciones para autopistas en gran escala son económicamente muy sustentables. De esta manera se estima el costo económico del alumbrado público convencional comparado con luminarias LED a un rendimiento del 85% con luminarias de 112W

Tabla 3: Coste económico del servicio de alumbrado público convencional y niveles de iluminación

Servicio de alumbrado público	Potencia luminarias W	Potencia total instalada MW	Consumo energético GWh	Costo luminarias, millones USD	Costo económico anual iluminación pública, millones USD	Costo económico en 20 años millones USD
Convencional HPS	2 x 250	1,666	7,297	4,000	0,825	20,500
LED Controlado 3/4	2 x 112	0,746	2,452	1,870	0,277	7,410
LED Controlado 1/2	2 x 112	0,746	1,653	1,870	0,185	5,570
LED Controlado 1/4	2 x 112	0,746	0,817	1,870	0,092	3,710

Tabla 4: Coste económico del servicio de alumbrado público con sistema fotovoltaico entre luminarias HPS y LED

Tipo de Luminaria	Potencia luminarias W	Potencia Solar fotovoltaica por Poste	Potencia solar instalada MWp	Costo Instalación Solar Millones USD		
				2013 6 USD/W	2016 3 USD/W	2017 2 USD/W
Convencional HPS	2 x 250	1500	5,000	30,000	15,000	10,000
PV LED $\eta=50\%$ 2010	2 x 170	1020	3,400	20,400	10,200	6,800
PV LED $\eta=85\%$ 2014	2 x 112	672	2,240	13,400	6,720	4,480

En la tabla 4, se presenta el costo económico del servicio de alumbrado público para un tramo de autopista de 100Km si se implementase con un sistema fotovoltaico. Así, se tiene una predicción para el año 2017 donde el costo de instalación por vatio disminuye considerablemente a un valor de 2 USD/W. La sustitución de luminarias LED con un rendimiento del 50% implica un ahorro aproximado de 4 millones de dólares proyectado al año 2017. Si se realiza una comparación con luminarias LED a un rendimiento del 85% y en el mismo año proyectado en comparación a luminarias HPS se obtiene un ahorro de más de 5 millones de dólares.

7. CONCLUSIONES

El empleo de sistemas inteligentes para el servicio de alumbrado público convencional es una innovadora técnica que permite el ahorro energético. Además, la integración de las modernas luminarias de tecnología LED permite que el sistema de iluminación se integre con los novedosos sistemas fotovoltaicos de iluminación. El ahorro obtenido es muy importante gracias al empleo de nuevas fuentes de energías renovables aportando así a los lineamientos establecidos en el Plan Nacional del Buen Vivir, asociado así a la promoción de la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Secretaria de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, SENESCYT, por su especial apoyo en el desarrollo de la presente propuesta, gracias a la financiación del Proyecto de Investigación

PROMETEO: “Evaluación técnico-económica y medioambiental de la integración de energías renovables y técnicas de diseño y gestión eficiente en sistemas de edificación y transporte sostenibles, aplicación práctica a la ciudad de Ambato”.

REFERENCIAS

- [1] Carlos Vargas, David Guevara, and Alberto Rios. Viabilidad económica del control de la iluminación fotovoltaica en autopistas del ecuador, 2014.
- [2] En.lighten. Efficient lighting for developing and emerging countries. Disponible en: <http://www.enlighten-initiative.org/>, Septiembre 10, 2015.
- [3] Yuanbo G Shuming D Jin L Ziru W and Zhang X. Plc based street lighting energy saving equipment and its remote monitoring system. *Ap- pled Mechanics and Materials Vol 734* (2015) Trans Tech Publications, Switzerland pp 975-979, 2015.
- [4] L'hadi I., M. Rifai, and Y. Salih Alj. An energy-efficient WSN-based traffic safety system. school of science and engineering al akhawayn university in frane, morocco. In *Information and Communication Systems (ICICS)*, 2014 5th International Conference on, pages 1–6, 2014.
- [5] Rossana Loor. Alumbrado público en el ecuador. INER Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2012.

- [6] Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. Eficiencia energética en alumbrado público. Disponible en: www.iner.gob.ec, 2014.
- [7] M Rivadeneira and E Zaldumbide. Plan de mejoramiento del alumbrado público de las principales avenidas de la ciudad de quito mediante la sustitución por lámparas de inducción. *Energía: Revista Técnica*, (11), 2015.
- [8] I. T. M. Abdul. Efficient load and charging method for solar powered home lighting system of Bangladesh. 2014, 3rd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), pp. 1-3, 2014.
- [9] Yi Zhang and Dongsheng Ma. A single-stage solar-powered LED display driver using power channel time multiplexing technique. *30(7):3772– 3780*, 2015.
- [10] Magnetek. Practical monitoring and control of street lighting using power line modem technology. Magnetek the United States, 2005.
- [11] E. Street. Intelligent road and street lighting in europe. Project Report Disponible en: www.e-streetlight.com, 2006.
- [12] Chiu C. Spanik. The e-street project oslo, norway. Sustainability Innovation Inventory, 2008.
- [13] Robert Pliszczak. Street lighting management system “jupiter”. Master’s thesis, Wrocław University of Technology Faculty of Electrical Engineering Institute of Electrical Engineering Fundamentals, 2009.
- [14] Sung-II Hong, Young-Suk Kim, and Chi-Ho Lin. A LED light control system design by optimal data transfer control algorithm. In TENCON 2014 - 2014 IEEE Region 10 Conference, pages 1–6, 2014.
- [15] Schreder. Control inteligente para una iluminación eficiente. Owllet, 2013.
- [16] F. Slaou and G. S. Case study of hybrid wind-solar power system for street lighting. 2011, 21st International Conference on Systems Engineering ICSEng, pp. 82-85, 2011.
- [17] W. Qiao A. Sharma J. Hudgins E. Jones and L. Rilett. Wind solar hybrid generation-based roadway microgrids. Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE, pp. 1-7, 2011.
- [18] P. Boesgard. Udvikling of CO2 neutralt byrumsarmatur. ELFORSK Project, Development of a carbon neutral luminaire for the urban environment, Final Report, 2013.
- [19] M. Cole and T. Driscoll. The lighting revolution: If we were experts before, we’re novices now. *50(2):1509–1520*, 2014.
- [20] D. Tecnologías. Manual de alumbrado público con leds de alta intensidad. Disponible en: www.dmxledlights.com/docs/Manual Alumbrado Público con LEDs de Alta Intensidad.pdf, 2013.
- [21] Montiel K. Manual Ucc de iluminación. Master en diseño de iluminación arquitectónica. Universidad Politécnica de Madrid, España. Universidad de Ciencias Comerciales. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/54167237/MODULO-UCC-ILUMINACION#scribd>.



Carlos Luis Vargas Guevara.- Nació en Ambato, Ecuador en 1991. Estudió en la Universidad Técnica de Ambato. Egresado de la carrera de Electrónica y Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.



Mario Giovanni García Carrillo.- Ingeniero en Electricidad especialidad “Electrónica” en la Escuela Politécnica del Litoral en el año de 1997. Magister en “Docencia Universitaria y Administración Educativa” Universidad Tecnológica

INDOAMÉRICA en año 2011. Magister en Redes y Telecomunicaciones en la Universidad Técnica de Ambato en año 2008



David Omar Guevara

Aulestia.- Obtuvo el título de ingeniero en Sistemas, en la Universidad Técnica de Ambato en 1997. Master en Redes y Telecomunicaciones en la Universidad Técnica de Ambato en 2007. Es docente

investigador en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.



Alberto Ríos Villacorta.-

Dr. Ingeniero Eléctrico por Universidad Carlos III de Madrid, 2007. Master en Energías Renovables por la Universidad Europea de Madrid, 2004. Ingeniero Eléctrico en Sistemas y Redes Eléctricas por el Instituto

Politécnico de Bielorrusia, 1993. Profesor Ayudante de la Universidad Carlos III de Madrid, 1998-2001. Profesor Adjunto de la Universidad Europea de Madrid, 2001- 2014. Director Técnico del Laboratorio de Ensayos de Turbinas Eólicas y Simulaciones de parques Eólicos, Energy to Quality, 2005-2006. Director del Master Oficial de Energías Renovables de la Universidad Europea de Madrid, 2007-2011. Investigador Postdoctoral en la Universidad Técnica de Ambato desde el año 2014, Beca Prometeo, SENESCYT, Ecuador. Consultor Internacional, Especialista en Energías Renovables y Eficiencia Energética. www.albertorios.eu