

Plan de Mejoramiento del Alumbrado Público de las Principales Avenidas de la Ciudad de Quito Mediante la Sustitución por Lámparas de Inducción

M. Rivadeneira

E. Zaldumbide

*Escuela Politécnica Nacional, ENP
E-mail: miltonrivadeneira@gmail.com
efrain.zaldumbide@hotmail.com*

Resumen

El alumbrado vial, es una necesidad básica de la población, su evolución marca hitos en el desarrollo de nuevas tecnologías. Este artículo se centra en la investigación y análisis comparativo del comportamiento de las lámparas actualmente utilizadas en el alumbrado público de la ciudad de Quito, referidos a los parámetros más importantes de: calidad de iluminación, eficiencia energética e impacto ambiental, para establecer su potencial de mejoramiento, alineado con estándares vigentes en normas internacionales y regulaciones nacionales. Se propone el uso de lámparas de inducción con controles básicos y lámparas de inducción con controles inteligentes, en comparación a las lámparas de descarga actualmente utilizadas. Se desarrollan tres posibles escenarios de análisis: antes, durante y después de la implementación de un proyecto con lámparas de inducción, donde se estiman los beneficios de las mismas: disminución del costo de operación y mantenimiento, reducción del consumo de energía eléctrica, protección del ambiente en varias escalas y la directa influencia en la preservación de la salud, seguridad e integridad de las personas.

Palabras clave—Lámparas inducción, alumbrado público, eficiencia energética, visión humana.

Abstract

The street lighting is a basic need of the population. Its evolution denotes milestones in the development of new technologies. This article focuses on research and comparative analysis of the behavior of the lamps currently used in street lighting in the city of Quito, referring to the most important parameters: lighting quality, energy efficiency and environmental impact. These aspects allow establishing its potential improvement aligned with existing standards based on international and national regulations. The usage of induction lamps with basic controllers and induction lamps with smart controllers is proposed instead of discharge lamps currently used. Three possible scenarios of analysis are developed: before, during and after implementation of a project with induction lamps. In these scenarios, the expected benefits are estimated: decrease of operation and maintenance costs, reduction of power consumption, protection of environment at various scales and direct influence on preservation of health, safety and integrity of individuals.

Index terms—Induction lamps, roadway lighting, energy efficiency, human vision.

Recibido: 22-09-2014, Aprobado tras revisión: 21-11-2014.

Forma sugerida de citación: Rivadeneira, M. y Zaldumbide, E. (2015). "Plan de Mejoramiento del Alumbrado Público de las Principales Avenidas de la Ciudad de Quito Mediante la Sustitución por Lámparas de Inducción". Revista Técnica "*energía*". N° 11, Pp. 108-115. ISSN 1390-5074.

1. INTRODUCCIÓN

El alumbrado público es un área de investigación activa, donde científicos de todo el mundo, debido a su importancia, trabajan permanentemente en función de su desarrollo. En la actualidad existen tres tipos de alternativas que presentan grandes ventajas en este campo de aplicación: lámparas de sodio a alta presión, lámparas de inducción externa y lámparas LED, cada una con características únicas que las distinguen.

En este trabajo se hace énfasis en las lámparas de inducción y en las de sodio de alta presión, comparándolas en cada uno de los parámetros que técnica y financieramente son importantes. El análisis y estimación han tomado en cuenta factores de eficiencia energética, impacto ambiental y confort visual.

2. LA LÁMPARA DE INDUCCIÓN

La lámpara de inducción no es una nueva tecnología, pero ésta ha tenido un desarrollo importante en los últimos años. Antes la inducción magnética se generaba en el interior del bulbo, en la actualidad, se presenta la lámpara de inducción externa de baja frecuencia, que está compuesta por un bulbo, una antena de doble poder y una fuente de poder (alimentación). Después de la llegada de energía a la fuente de poder, el generador de alta frecuencia envía un voltaje constante hacia los dos anillos metálicos, a través de un cable de alta frecuencia. Los anillos, son los encargados de producir un fuerte campo magnético estático en el espacio de descarga de la cáscara de cristal. Así, la ruta circular del campo magnético, motivado por el bucle, forma un circuito cerrado, lo que genera la aceleración de los electrones libres, que chocan con los átomos de mercurio y permiten que el gas que se encuentra al vacío dentro del bulbo, genere una reacción e ionización del mismo, formando un plasma. Cuando los átomos de plasma reaccionan, la energía obtenida anteriormente se irradia en forma de 253.7nm de radiación ultravioleta, cumpliendo con el proceso de transformación en energía lumínica, cuando el fósforo tricolor que posee el bulbo en su superficie interna, es estimulado emitir luz visible. [22]

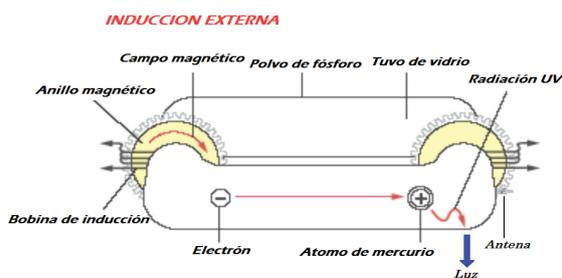


Figura 1: Lámpara de inducción externa

3. COMPARACIÓN ENTRE LÁMPARAS

Para determinar la calidad de una instalación de alumbrado público, es necesario intervenir en cada uno de los parámetros que lo afectan.

3.1 Visión

La manera tradicional de modernización generalmente se destinaba a diagnosticar la validez de la iluminación de los entornos, pero actualmente se deben tomar en cuenta nuevos conceptos, como:

- Visión Fotópica
 - Visión Mesópica
 - Visión Escotópica
- } Lúmenes / pupila

Los cuales hacen referencia a la manera en que el ojo humano trabaja ante distintas condiciones de luz, ya que no se comporta de igual manera cuando hay mucha luz, luz media o poca luz, respectivamente.

Tabla 1: Regiones de visión del ojo humano

| Fotoreceptores | Visión | | |
|----------------|------------|----------|--------------------------|
| | Fotópica | Mesópica | Escotópica |
| Conos | X | X | |
| Bastones | | X | X |
| | Luz de día | | Condiciones de oscuridad |

Los lúmenes pupila parametrizan lo anteriormente señalado, mostrando la relación “S/P” que existe entre la región escotópica “S” y fotópica “P” de las áreas de visión, las cuales toman fundamento en conceptos como:

- Rendimiento del color
- Reproducción cromática
- Temperatura del color
- Distinción de formas

La manera como se ha venido definiendo la eficiencia de las lámparas es mediante el uso de los lm/W que hacen referencia a la cantidad de flujo luminoso de una fuente de luz en relación a su potencia. Pero debido a la relación S/P se introduce una nueva forma de medida, los Plm/W que toman en cuenta los “Lúmenes pupila”.

Los lúmenes pupila no tenían relevancia alguna al no poseer fuentes de iluminación que trabajen en una región diferente a la fotópica, pero esto cambia con el apareamiento de las lámparas de inducción y las lámparas LED, añadiendo la necesidad de analizar los sistemas de iluminación con estándares de calidad más exigentes.

Tabla 2: Comparación de lúmenes pupila

| Fuente de luz | Lumen por vatio convencional (lm/W) | Factor de corrección (S/P) | Lúmenes pupila por vatio (Plm/W) |
|----------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Halogenuro metálico | 85 | 1,49 | 126 |
| Inducción (5000°k) | 80 | 1,97 | 158 |
| Sodio a alta presión | 72 | 0,63 | 45 |
| LED | 90 | 2,1 | 190 |

3.2 Comparación de Parámetros

3.2.1. Factor de Potencia

El factor de potencia del conjunto luminaria presenta la necesidad de uso de capacitores para su compensación en el caso de las lámparas de descarga, mas no en las lámparas LED, ni las de inducción externa.

Tabla 3: Comparación del factor de potencia

| | Factor de potencia sin corregir | Factor de potencia máx (corregido) |
|-------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Mercurio AP | 0,61 | 0,85 |
| Sodio AP | 0,44 | 0,9 |
| LED | 0,95 Sin necesidad de capacitor | |
| Inducción E | 0,95 Sin necesidad de capacitor | |

3.2.2. Temperatura de Funcionamiento

Las lámparas de descarga, por sus características de operación, emiten mayor calor y sobretodo, en el período de encendido, que dura generalmente de 5 a 10 minutos, debido a la descarga inicial de sus electrodos, y a su electrodo de funcionamiento normal, que continua emitiendo calor.

Tabla 4: Comparación de la temperatura de funcionamiento

| | Temperatura de funcionamiento °C |
|-------------|----------------------------------|
| Mercurio AP | 300 |
| Sodio AP | 350 |
| LED | 40 |
| Inducción E | 80 |

3.2.3. Vida Útil

El filamento o electrodo es la principal causa de la disminución en la vida útil de las lámparas que lo utilizan, las lámparas LED si bien no disipan tanto calor, este es suficiente para mermar su vida útil de manera considerable, debido a la sensibilidad de sus componentes.

Tabla 5: comparación de la vida útil

| | Vida útil (h) |
|-------------|---------------|
| Mercurio AP | 10000 |
| Sodio AP | 22000 |
| LED | 50000 |
| Inducción E | 100000 |

3.2.4. Tiempo de Encendido

El tiempo de encendido y de reencendido de las lámparas de descarga es determinado por la necesidad de calentar su filamento hasta que este llegue a una temperatura óptima, este parámetro dificulta realizar un control instantáneo de las lámparas, debido a su lenta capacidad de respuesta.

Tabla 6: Comparación del tiempo de encendido

| | Tiempo de encendido (min) |
|-------------|---------------------------|
| Mercurio AP | 4-5 |
| Sodio AP | 5-10 |
| LED | instantáneo |
| Inducción E | instantáneo |

3.2.5. Temperatura del Color

Si se toma en cuenta que la luz del sol es la luz más blanca conocida, con una temperatura del color de 5500°K, la tabla a continuación distingue la diferencia entre las lámparas analizadas.

Tabla 7: Comparación de la temperatura del color

| | Temperatura del color (°K) |
|-------------|----------------------------|
| Mercurio AP | 4000 |
| Sodio AP | 2500 |
| LED | 6000 |
| Inducción E | 5000 |

3.2.6. Índice de Rendimiento del Color

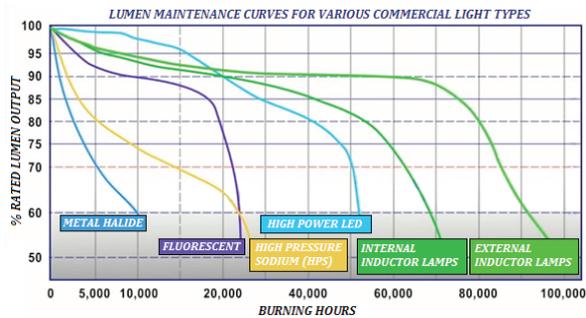
La capacidad de las lámparas de reproducir los colores de los objetos que iluminan, es determinada por el índice CRI, se destacan las lámparas de inducción y las lámparas LED, por su alto rendimiento.

Tabla 8: Comparación del índice de rendimiento del color

| | Índice de rendimiento de color (CRI) |
|-------------|--------------------------------------|
| Mercurio AP | 45 |
| Sodio AP | 60 |
| LED | 75 |
| Inducción E | 90 |

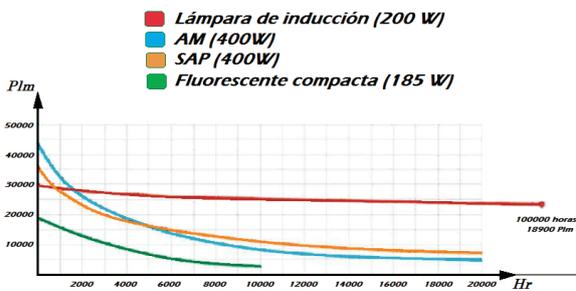
3.2.7. Mantenimiento de Luminancia

El pasar del tiempo afecta las características de su trabajo y de su entorno, en lo referente a la lámpara trabajando bajo condiciones normales, su luminancia va decreciendo en el tiempo; a continuación se muestran gráficos referentes a este tema, tomando en cuenta tanto lúmenes como lúmenes pupila.



Fuente: GIL

Figura 2: Mantenimiento típico de luminancia (%lm)



Fuente: Ptl Solar

Figura 3: Mantenimiento típico de luminancia (Plm)

3.2.8. Funciones de Protección

Uno de los factores que determina la abrupta descomposición de una lámpara, es la variación de voltaje, en las lámparas de inducción, su voltaje de operación va desde 120 hasta 277 V con una variación de $\pm 10\%$, es decir, desde 108 hasta 305 V, de manera que soporta muy bien las variaciones de voltaje. También los balastos soportan transitorios de 1560 V en 1 min y 2500 V en 1 microsegundo.

3.2.9. Parpadeo

Las lámparas de descarga funcionan a la frecuencia de red, es decir 60 Hz, la característica del funcionamiento en frecuencias de 2,5 kHz de las lámparas de inducción, proporcionan poca sensibilidad de estas al efecto de parpadeo o llamado también flicker.

3.2.10. Contenido de Mercurio

La cantidad de mercurio que algunas lámparas utilizan en su proceso de funcionamiento, produce alta toxicidad e impacto directo en el deterioro de

la salud de las personas, cabe mencionar que todas, excepto las lámparas LED poseen mercurio, pero el utilizado por las lámparas de inducción se encuentra en estado sólido, es decir, que no se volatiliza con el aire, lo cual perjudica no solo a las personas que trabajan directamente con las lámparas, sino también para personas situadas a varios kilómetros.

Tabla 9: Comparación del contenido de mercurio

| | Contenido de mercurio (mg) |
|-------------|----------------------------|
| Mercurio AP | > 10 - 100 |
| Sodio AP | > 10 - 50 |
| LED | 0 |
| Inducción E | < 5 |

3.2.11. Balasto

El balasto utilizado por las lámparas de inducción y lámparas LED es electrónico y presenta la opción característica de dimmerizar en pasos de 10% el flujo luminoso de las lámparas, en contra de los balastos electromagnéticos generalmente usados por las lámparas de descarga.

3.2.12. Distorsión Armónica

Si bien los balastos electrónicos usados en las lámparas LED y de inducción, generan armónicos, los mismos son suprimidos con filtros incorporados en el propio equipo.

Tabla 10: Comparación de la distorsión armónica

| | Distorsión armónica (%) |
|-------------|-------------------------|
| Mercurio AP | $\leq 35\%$ |
| Sodio AP | $\leq 35\%$ |
| LED | < 10% |
| Inducción E | < 10% |

3.2.13. La Fotometría

Es el parámetro que determina la efectividad de la distribución del flujo luminoso y es un factor determinante en alumbrado público, ya que de ésta depende el espaciamiento entre postes, abaratando costos por la disminución del uso de materiales y cantidad de luminarias.

Este aspecto depende no solamente de la lámpara sino también de las características de los elementos constitutivos de la luminaria, tomando en cuenta que entre mejor es la producción del flujo luminoso de la lámpara, no necesariamente es buena su distribución en los alrededores.

En el caso de las lámparas LED aplicadas al alumbrado público, este aspecto incrementa su precio

en gran medida, ya que la luminaria debe poseer una geometría y materiales, tales que permitan distribuir su flujo luminoso de una forma apropiada.

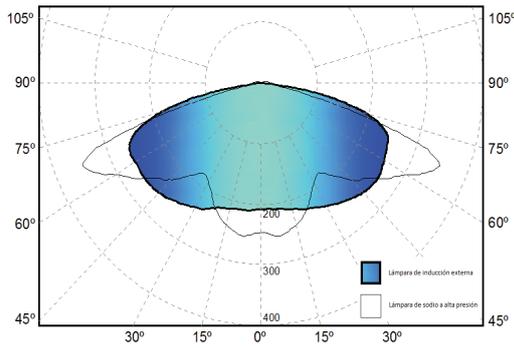


Figura 4: Fotometría Inducción externa vs SAP (C90°-C270°)

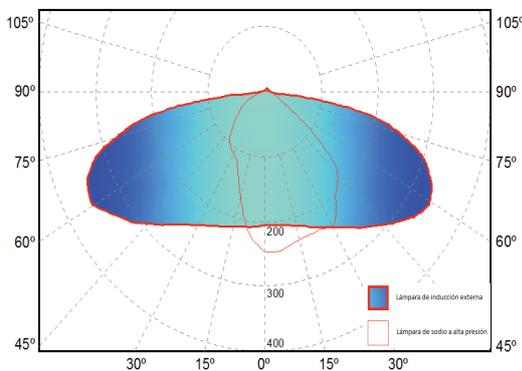


Figura 5: Fotometría Inducción externa vs SAP (C0°-C180°)

4. Estudio de un Caso Específico

En Quito, junio del 2012 a las 7 pm, se mide el flujo luminoso en la superficie o “Iluminancia” de una franja de la Av. Occidental, mediante luxómetro, para compararlo con datos proporcionados por la simulación de la misma mediante el uso del software Dialux.

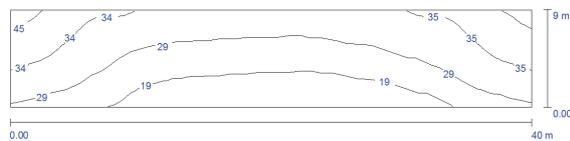


Figura 6: Resultados de mediciones del flujo luminoso en la superficie

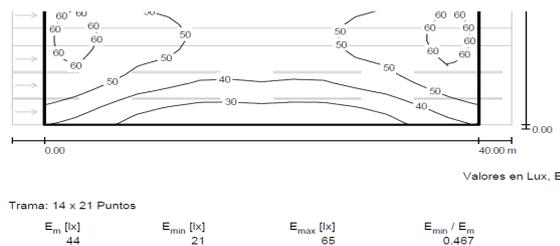


Figura 7: Resultados de la simulación del flujo luminoso en la superficie

Los resultados de la simulación difieren en aproximadamente 30% y 40% con los resultados medidos en el campo, esto se debe principalmente a dos factores, las luminarias de la Avenida Occidental fueron reemplazadas en el año 2008 y como se mencionó anteriormente, estos 4 años de funcionamiento han mermado sus características originales a un rango aproximado del 67% de su “Rated Lumen Output”, con esto se verifica la validez de la simulación en lo que se refiere a la utilización del software.

Se realizaron además simulaciones de la misma franja utilizando lámparas de inducción de 200 y 250W, así se determinó la opción para escoger la lámpara más adecuada para mantener los niveles adecuados de iluminación.

Se resumen a continuación los resultados obtenidos de las simulaciones, con los parámetros que generalmente se toma en cuenta en el diseño de un sistema de alumbrado público.

Tabla 11: Resultados de simulaciones

| | L_{prom} cd/m ² | U_o ≥ % | U_l ≥ % | TI ≤ % | Em lx | E _{min} lx | E _{max} lx | $\frac{E_{min}}{E_{max}}$ | $\frac{E_{min}}{E_m}$ |
|----------------|---------------------------------|--------------|--------------|-----------|----------|------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Norma | 2 | 40 | 50 | 10 | 1x | 1x | 1x | | |
| Sodio 400W | 2.33 | 0.41 | 0.56 | 3 | 44 | 21 | 65 | 0.318 | 0.467 |
| Inducción 200W | 0.8 | 0.59 | 0.54 | 7 | 14 | 6.19 | 25 | 0.247 | 0.445 |
| Inducción 250W | 0.98 | 0.57 | 0.55 | 4 | 18 | 6.91 | 31 | 0.226 | 0.394 |

Los resultados muestran que todas las lámparas cumplen con las condiciones estipuladas por la norma más exigente: “Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic. CIE 115:2010”, excepto que las lámparas de inducción no determinan el mínimo de luminancia promedio, esto se debe a que el software de simulación no ha incluido aún una metodología de cálculo que tome en cuenta los lúmenes reales, es decir los lúmenes pupila, aún así, es interesante tomar en cuenta que, la luminancia de esta simulación es bajo condiciones iniciales y que ésta decae de acuerdo a las curvas anteriormente mostradas.

A continuación se muestra un ejemplo de la calidad de iluminación de una lámpara de inducción de 120W instalada a 6m de altura.



Figura 8: Iluminación de una vía pública mediante lámparas de inducción externa

4.1. Control

El Smart Server, combinado con balastos electrónicos basado en la tecnología LonWorks, es la piedra angular de los sistemas de iluminación inteligentes alrededor del mundo.

La manera más avanzada de control, inicio de lo que actualmente se denomina “Smart Grids” en lo que se refiere a alumbrado público, son los Smart Servers los que poseen la facilidad de comunicación con la red en tiempo real de información y respuesta, para realizar el control por luminaria de alumbrado público, generalmente por power line.

4.2. Impacto ambiental

A gran escala, el uso de iluminación de inducción se puede equiparar a la plantación de hectáreas de árboles, la eliminación de miles de coches de las carreteras, el ahorro de gas natural, y la reducción de la demanda de petróleo. Aunque el impacto inmediato de ahorro de energía es claro para todos, desde el punto de vista financiero y ambiental, hay muchos aspectos por tener en cuenta sobre una fuente de luz que dura entre 80.000 y 100.000 horas, respecto de las 10.000 horas de vida útil de las lámparas de mercurio AP y 22.000 de las de sodio AP.

Menor número de reemplazos y por ende menor uso de materiales en lámparas y balastos, menos viajes de barcos y camiones para entregar los productos, menos BTU usados para el enfriamiento de las lámparas, menos uso de mercurio siendo éste una amalgama sólida que se recicla con facilidad.

Los materiales constructivos de las lámparas de inducción (aluminio y vidrio) llegan a ser mucho más reciclables que los mismos LED, llegando hasta un 98% efectivo.

5. EVALUACIÓN FINANCIERA

Existen varias posibilidades para realizar una mejora sustancial en alumbrado público, para esto se determinan proyectos de:

- Instalación
- Reposición
- Equipamiento
- Ampliación

Donde cada uno de estos posee un específico nivel de ventajas.

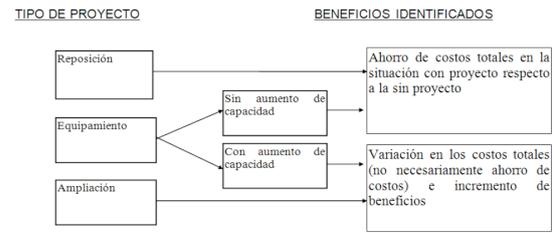


Figura 9: Cuadro de beneficios de tipos de proyectos

5.1. Análisis de Escenarios

Para el análisis de este proyecto se han tomado en cuenta tres posibles escenarios:

5.1.1. Escenario 1

Contempla la instalación de un proyecto de iluminación con todos los componentes que se utilizarán en la instalación de nuevos sistemas de alumbrado público.

5.1.2. Escenario 2

Plantea la sustitución de las luminarias de un proyecto que en su inicio usaba lámparas de sodio a alta presión y que en aproximadamente la mitad de su vida útil se realiza el equipamiento con luminarias de inducción.

5.1.3. Escenario 3

Se refiere a la sustitución por lámparas de inducción, una vez que se ha cumplido la vida útil de las lámparas de sodio a alta presión.

Dependiendo de las variantes de los escenarios, se han identificado y estimado los costos de cada uno y los beneficios, entre los cuales se encuentran:

- Disminución de costos de operación y mantenimiento
- Disminución de emisión de gases de efecto invernadero
- Disminución de contaminación lumínica
- Menor disposición de lámparas contaminantes

5.2. Ubicación del Proyecto

Los escenarios se desarrollan en las dos avenidas más importantes de la ciudad de Quito, la Av. Occidental y la Nueva Vía Oriental.

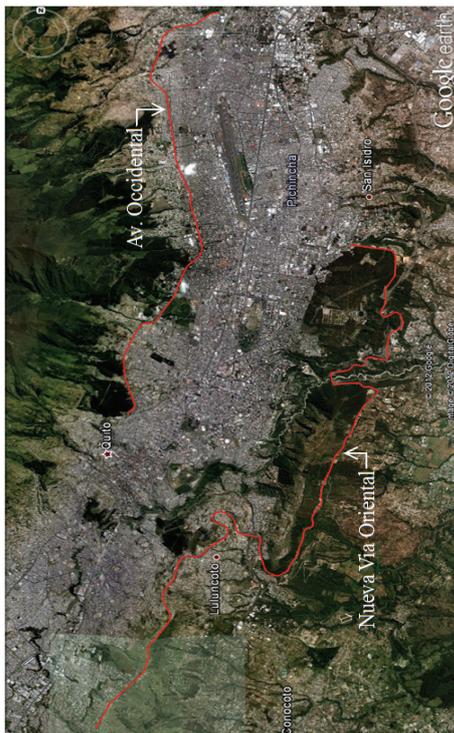


Figura 10: Ubicación del proyecto

El ahorro de energía que se presenta por luminaria debido a la diferencia de potencia real del conjunto y estimando el consumo de las lámparas de sodio en el encendido se determina la siguiente tabla.

Tabla 12: Ahorro de energía por luminaria

| Ahorro de energía | |
|-------------------|--------|
| kWh | % |
| 51,77 | 42,01% |

Para el análisis de los distintos escenarios se realizó una comparación de los costos y gastos identificados por cada uno de los factores que intervienen dentro de cada caso, para estimar el ahorro adicional que se presenta por la implementación de un proyecto que usa lámparas de inducción externa y lámparas de inducción externa con controles inteligentes usando Smart Servers.

Al término del análisis financiero se identifica un beneficio adicional neto para todas los escenarios y se resumen a continuación:

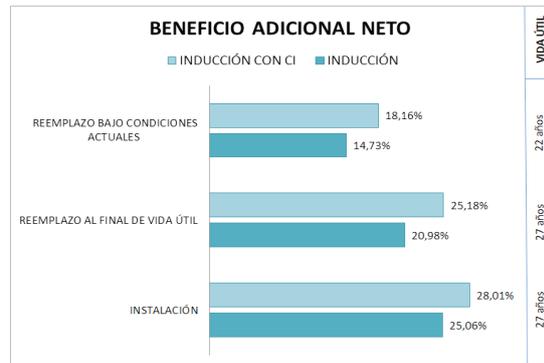


Figura 11: Beneficio adicional neto de distintos escenarios

6. CONCLUSIONES

Los bajos requerimientos de iluminación del alumbrado público con respecto a la iluminación de otras actividades cotidianas del ser humano, han llevado a establecer parámetros que provocan la inconformidad de su calidad, por no considerar aspectos tan importantes como el mecanismo de visión del ojo humano en las condiciones en las cuales se desarrolla: claridad, poca luz u oscuridad.

Los beneficios identificados por la implementación de un sistema de iluminación usando lámparas de inducción con controles inteligentes son:

- Reducción del consumo de energía eléctrica.
- Reducción de efectos tóxicos en la salud de las personas.
- Versatilidad del control del sistema de alumbrado público.
- Disminución de pérdidas en el sistema eléctrico.
- Acceso a información de parámetros eléctricos en tiempo real.
- Mejora del ornato de la ciudad.
- Aumento del confort visual
- Cuidado del ambiente.
- Aumento de la seguridad.

El análisis de viabilidad técnica determinó que es totalmente apropiado el uso de luminarias de inducción externa de baja frecuencia para alumbrado público con control inteligente, dada la funcionalidad on line con aplicaciones web que soportan distintas plataformas, y las características de la información que se presenta en tiempo real.

El análisis comparativo de las luminarias aplicadas al alumbrado público, determina que las lámpara LED no son todavía una alternativa óptima para instalación en vías, su precio, cuatro veces el precio de las lámparas de sodio o dos veces el precio de las de inducción, y su vida útil, las distingue como artículos decorativos, no adecuados para su instalación en condiciones climáticas agresivas.

Existe un beneficio adicional neto en cada uno de los tres escenarios de análisis: antes, durante y después de la implementación de un proyecto con lámparas de sodio a alta presión, donde el uso de lámparas de inducción identifica que cuando se añaden controles inteligentes su beneficio en promedio crece 3.5%, apuntando a un beneficio adicional no menor al 14.73% y alcanzando un máximo de 28%, en los escenarios analizados, respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION CIE. "Vocabulario internacional de iluminación". Publicación CIE 17.4: 1987
- [2] HE, Yunjian; REA, Mark; BIERMAN, Andrew; BULLOUGH, John. "Evaluating Light Source Efficacy Under Mesopic Conditions Using Reactions Times". Lighting Research Center. Rensselaer Polytechnic Institute. Troy NY. 12180.
- [3] EEQSA. "Normas para Sistemas de Distribución Parte C Especificaciones Técnicas de Equipos y Materiales". Quito. Edición 2009.
- [4] LAZCANO, Ximena. "Conceptos Básicos de Iluminación". Darlux Iluminación. Juan de la Fuente. 2011.
- [5] RAMIREZ VAZQUEZ, José. "Luminotecnia - Enciclopedia CEAC de Electricidad". Ediciones CEAC S. A. Barcelona. 1982.
- [6] MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. "Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP". Colombia. Agosto 2006
- [7] INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION CIE. "Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic". Publication No. 115. 1995.
- [8] BOYCE, P. R. "Human Factors in Lighting". New York, Macmillan. 1981
- [9] INFANTE VILLAREAL, Arturo. "Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión". Colombia. 1993
- [10] COLOMA YANEZ, Luis. "El Ahorro de Energía en el Campo de la Iluminación". EPN. Quito. Tesis. Diciembre 1999.
- [11] PHILIPS. "Lighting Manual". Paraninfo. Madrid. 1989.
- [12] SILVA TUBÓN, Rommel Fabián. "Estrategias para el Manejo de la Demanda del Sistema de Alumbrado Público". EPN. Quito. Tesis. 2003.
- [13] FLECTOR B.J.C. "Luminotecnia, Principios y Aplicaciones". Segunda Edición. Editorial JOSA. 1971.
- [14] PAVÓN P., Jorge. "Modernización del Alumbrado Público de la Ciudad de Quito". EPN. Quito. Tesis. 1978.
- [15] CRUZ NARVÁEZ, Cesar. "Mejora del Consumo de Alumbrado Público en la E.E.Q.S.A". EPN. Quito. Tesis. 2002.
- [16] ROSERO BOLAÑOS, Guillermo. "Evaluación Técnico – Económica del Aho-rro de Energía en un Sistema de Alumbrado Público". EPN. Quito. Tesis. 1996.
- [17] HERNÁNDEZ, Adiel. "Control Automático del sistema de iluminación de au-las". Universidad Tecnológica del Valle de Mezquital. Ixmiquilpan. Tesis. 2008.
- [18] INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION CIE. "Luminarias para Alumbrado de Carreteras: Datos Fotométricos, Clasificación y Prestaciones". Publicación CIE 34: 1977.
- [19] EFFICIENT LIGHTING INITIATIVE (ELI). "Manual de Iluminación Eficiente". Editorial Universitaria de la U.T.N. Buenos Aires. 2002.
- [20] CONELEC. Regulación No. CONELEC 008/11 - Prestación del Servicio de Alumbrado Público General – APG. Quito. Noviembre 2011.
- [21] MEER; CONELEC; CENACE; CELEC. Plan maestro de electrificación 2012-2021. Ecuador
- [22] MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL, Departamento de Metodologías/División Planificación, Estudios e Inversiones. "Metodología para la formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de reemplazo de alumbrado en la vía pública". Chile. Noviembre 2011.
- [23] http://www.gescomchile.com/files/gescom_100215_iem_-_alta_eficacia_luminica-6.pdf



Milton Rivadeneira Vallejo, nació en Quito, 1953, realizó sus estudios de Ingeniería Eléctrica y de Magister en Administración de Empresas en la Escuela Politécnica Nacional, se especializó en Gestión de Sistemas Energéticos Renovables

en la Universidad de las Naciones Unidas UNU y en la Universidad de los Andes de Colombia. Ha sido funcionario del Ministerio de Energía, Olade, PNUD, BIRF, Conea, Ceaces.



Efraín Zaldumbide Cevallos, nació en Quito, 1987, realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Superior Sucre y continuó sus estudios universitarios en Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional, actualmente se desempeña como

Ingeniero de Campo en Schlumberger del Ecuador.