

DISEÑO DE ILUMINACIÓN LED DE ALTA EFICIENCIA EN EL PROYECTO MICRO-RED DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

María Elisa BRIÑÓN, Hugo Alberto CARDONA

Universidad Pontificia Bolivariana; Cir 1 #70-01, Medellín, Colombia.

mariaelisa.brinon@upb.edu.co

Resumen: La iluminación es un sector que consume cerca del 20% de la energía producida (Díaz, 2014), por este motivo se están buscando nuevas alternativas de iluminación con luminarias LED que permiten ahorros considerables respecto a las tecnologías convencionales. En este trabajo de grado se busca realizar el análisis y estudio de esta nueva tecnología LED para el alumbrado público de la micro red, definiendo unas troncales de iluminación estratégicas y planteando un diseño apropiado para el campus de Laureles de la UPB, evaluando diferentes luminarias LED disponibles para determinar cuáles cumplen de forma rigurosa con las especificaciones técnicas esperadas y con el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP. *Copyright © UPB 2015*

Palabras clave: Alumbrado público, LED, Iluminación, Micro-red, Dialux, RETILAP

Abstract: Lighting is a sector which consumes approximately 20% of the produced energy. Nowadays, new alternatives, such as LED lighting, are being researched because it allows a considerable saving compared to the conventional methods. That is why this degree project seeks for an analysis and a study of this new LED technology for the Micro Grid's public lighting and proposes a proper design for the Laureles campus of the UPB. This will be done by a rigorous evaluation of different LED lights, to see which of those lights meet the expected technical specifications and the public lighting technical regulation RETILAP.

Keywords: Street lighting, LED, lighting, Micro-grid, Dialux, RETILAP

1. INTRODUCCIÓN

La iluminación en el sector, público, privado, industrial, comercial y residencial consume cerca del 20% de la energía en una ciudad como Medellín. Las nuevas alternativas de iluminación con LED permiten ahorros de más del 50% con respecto a las tecnologías ahorradoras más eficientes convencionales (vapor de sodio, fluorescente, halógena, etc) con la ventaja de cumplir normas ROHS, que en el momento de desecharlas no producen mayor contaminación ambiental.

Por estas razones en Colombia se han expedido diferentes decretos y normas, con el fin de obligar a las grandes industrias y edificios públicos a reemplazar las bombillas incandescentes por luminarias de alta eficiencia y ahorradoras. En el año 2008 el Ministerio de Minas y Energía declaró el uso racional y eficiente de la energía (URE) asunto de interés social, ambiental y económico, para promover a nivel nacional el uso racional de energía, usando fuentes de mayor eficiencia para garantizar el suministro continuo y confiable. Además también se promueve el uso de fuentes de energía no convencionales para aprovechar los recursos naturales. Luego en el año 2010 se prohibió la comercialización y uso de las luminarias incandescentes. El gobierno se ha esforzado por crear una base normativa para exigir cumplimiento de éstas, respecto a la instalación de la iluminación, como se ve reflejado en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y en la NTC 2050.

Sin embargo al quedar vacíos en las normas sobre iluminación, en Abril de 2010 entró en vigencia el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), el cual tiene como objetivo fundamental: “establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendientes a garantizar: los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético, la protección del consumidor y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos originados, por la instalación y uso de sistemas de iluminación” (Ministerio de Minas y Energía, 2010). Es decir que señala las exigencias y especificaciones mínimas para que las instalaciones de iluminación garanticen la seguridad y confort con base en su buen diseño y desempeño operativo, así como los requisitos de los productos empleados en las mismas.

El presente documento se enfoca en el análisis de las luminarias LED para alumbrado público, con el fin de realizar un adecuado diseño e instalación de las troncales de las tres troncales del proyecto de la Micro-red de la Universidad Pontificia Bolivariana.

2. MICRO-REDES INTELIGENTES

2.1. Concepto de Micro-Red Inteligente

Una Micro-red es una red eléctrica inteligente capaz de integrar las acciones de todos los usuarios conectados a ella, tales como generadores, consumidores y aquellos actores que llevan a cabo ambas operaciones, con la finalidad de distribuir eficientemente un suministro eléctrico que sea sustentable, económicamente competitivo y seguro. Otra buena definición es: “Red eléctrica autónoma e interconectada que integra de manera eficiente los sistemas de generación distribuida, sistemas de control, protecciones y la gestión de usuario”. (López Jiménez, 2013)

Tiene la característica de que puede autoabastecerse y funcionar de forma independiente, por lo cual es un buen modelo escalable a zonas no interconectadas o en lugares donde es muy costosa la energía eléctrica. Ya que en un inicio solo se utilizaba generación con diésel, con la cual se suelen tener bajas eficiencias en funcionamiento y alto costo de manutención. (Fossati, 2011)

2.2. Aplicaciones de las redes inteligentes

- Zonas no interconectadas:

En Colombia el 66% del territorio nacional, no cuenta con suministro de energía eléctrica continua, debido a fallas en la formulación de proyectos, contratación y ejecución de obras deficiente, mala administración, mantenimiento y operación de los proyectos y de la infraestructura existente, a la escasa presencia

estatal, la actividad de grupos armados, el bajo nivel de ingresos de la población y el difícil acceso a estas zonas.

Utilizar micro-redes inteligentes sería una opción viable para mejorar la calidad de vida de esta parte de la población, ofreciendo energía y telecomunicaciones. (Céspedes, 2012)

- Sistemas renovables dentro de redes locales:

Con el fin de reducir el consumo de la red local o de los generadores diésel, es decir, tener sistemas híbridos que permitan la autosuficiencia respecto a la red eléctrica.

- En la industria militar, en batallones de montaña:

Pues podrían obtener energía y optimizar las operaciones en zonas rurales con sus propias micro-redes inteligentes.

2.3. Ventajas de las Redes Inteligentes

- Reducción en los picos de consumo.
- Permiten que el exceso de energía se incorporen a la red, es decir que el usuario puede ser consumidor y generador de energía a la vez.
- Reducir la dependencia a la red eléctrica con el fin de descongestionarla.
- Durante eventos en la red, como fallas u operaciones por mantenimiento, las micro-redes pueden operar autónomamente, garantizando un suministro continuo y reduciendo el número de interrupciones.
- Diversificar la matriz de generación y así evitar la dependencia de sistemas convencionales de generación. (Fossati, 2011)

3. ILUMINACIÓN Y LUMINARIAS LED

3.1. Conceptos básicos de luz e iluminación

Flujo luminoso: “la parte del flujo radiante que produce una sensación luminosa en el ojo humano” (Caminos, 2011). Este flujo no se distribuye en todas las direcciones del espacio, sino que depende de la disposición y lente del dispositivo empleado para la iluminación. El Lumen es su unidad de medida. El concepto de flujo luminoso está estrechamente relacionado con la potencia eléctrica, con lo cual se puede evaluar el rendimiento de la fuente luminosa.

Iluminancia: Densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. Su unidad es el lux. Un lux equivale a un lumen por metro cuadrado ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$).

Luminancia: Es la densidad superficial de flujo luminoso que traspasa, incide o sale de una superficie siguiendo una dirección determinada.

Deslumbramiento: Sensación producida, dentro del campo visual del observador, por una luminancia suficientemente mayor o menor a la cual los ojos se habían adaptado y que causa molestias, incomodidad o pérdida temporal de la visibilidad. (Ministerio de Minas y Energía, 2007). Este fenómeno reduce la capacidad visual debido a una iluminancia que a la que el ojo no puede adaptarse.

Ley de la inversa de los cuadrados: La iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia existente entre la fuente de luz y la superficie iluminada.

Temperatura de color: Es un indicador del color de luz de una fuente luminosa. Este color corresponde a aquella con la que el cuerpo negro presenta el mismo color que la fuente analizada.

Índice de reproducción cromática: Aspecto cromático que presentan los cuerpos iluminados con una fuente, respecto al que presentan con una luz de referencia (el sol), es decir, la capacidad de una fuente de reproducir los colores de los objetos.

3.2. Componentes de las luminarias LED

La luminaria se puede dividir en cinco componentes, a saber:

- Carcasa: Es el receptáculo donde se ensambla la luminaria. Normalmente suele estar hecha de aluminio de fundición, inyectado. Puede ser fija o ajustable con la capacidad de movimiento de ciertos grados para la orientación final de la luminaria.
- Driver: Fuente de corriente constante, ya que los LEDs y micro LEDs, se alimentan con ésta. No se debe trabajar con fuentes de voltaje, para evitar que se sobrepase la corriente máxima de trabajo o de operación de los LEDs y se produzcan daños en éstos.
- LED: Elemento que produce la luz, los LEDs, normalmente una serie de éstos en arreglos matriciales, de acuerdo a la potencia requerida o sistemas de microLED.

- Ópticas: Mecanismo refractivo con el cual se puede tomar la luz producida por el LED y distribuirla de acuerdo a los patrones necesarios en el sitio donde se va a instalar la luminaria para obtener la mejor distribución y homogeneidad de acuerdo a la separación entre las luminarias. Existen 2 tipos de materiales principales para la creación de las ópticas de policarbonato o cristal.
- Telegestión: Dispositivo que se encarga de adquirir datos de parámetros específicos de la luminaria y transmitirlos por cable, RF o microondas al centro de control para almacenar los datos en tiempo real, para conocer su consumo, eficiencia y los parámetros necesarios de las luminarias.

3.3. Ventajas de las luminarias LED

-Eficiencia lumínica: El mayor porcentaje de la energía suministrada se convierte en luz, es decir que existe un bajo consumo de energía con una gran emisión lumínica.

Baja temperatura de operación: De todas formas los LEDs de potencia requieren disipadores térmicos que extraigan la temperatura generada por el funcionamiento del LED, para garantizar un correcto funcionamiento.

Larga vida útil: Los LED tienen una vida útil de aproximadamente 100.000 horas o más, siempre y cuando la temperatura de operación se encuentre por debajo de los 65°C.

Flexibilidad cromática: Usando los colores básicos aditivos (verde, rojo y azul) se pueden obtener todos los colores de luz, permitiendo diversas aplicaciones de los LED.

Radiaciones espurias: Las lámparas convencionales emiten altas dosis de luz ultravioleta e infrarroja; por el contrario, con los LED se puede garantizar la ausencia total de este tipo de ondas.

Son fácilmente dimerizables, es decir, que se puede variar el flujo luminoso dependiendo de la necesidad de iluminación. Para dimerizar las luminarias es necesario variar la corriente de alimentación. Cuentan con encendido inmediato, logrando el 100% de su intensidad luminosa en microsegundos. (Briñón Vélez, 2014)

Reproducción de color (CRI): El LED tiene una mejor reproducción de color respecto a la mayoría de luminarias, por lo cual es óptima para la iluminación pública.

Las luminarias LED no producen efecto estroboscópico, es decir que no presentan parpadeo, ya que se alimentan con corriente directa. El flicker o parpadeo genera cansancio visual, ya que hace que el ojo se adapte a las disminuciones de luz contrayendo y dilatando la pupila rápidamente. (Briñón Vélez J. , 2015)

4. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS ADICIONALES PARA ALIMENTACIÓN Y CONTROL DE LAS LUMINARIAS

4.1. Telegestión

La telegestión es un sistema que permite realizar un control y supervisión remoto de los equipos de una red, además de las señales de entrada y salida, a través de la comunicación en una o dos vías entre un centro de control (fijo o móvil) y los equipos. (Rueda Valdivieso, 2014)

La operación de un sistema de alumbrado público, bajo un modelo de telegestión, está fuertemente relacionada con los principios de optimización de los recursos, de la maximización de los beneficios, como es el ahorro de la energía, prevención de daños en las luminarias y mejorar la calidad y confiabilidad del servicio de alumbrado ofrecido a la comunidad. (Suárez Acevedo, 2010)

Ventajas de la implementación de telegestión

- Se puede controlar el buen funcionamiento de la instalación.
- Se pueden enviar órdenes a distancia.
- Almacenar información sobre las luminarias y su funcionamiento.
- Información predictiva de fallo de las luminarias o información sobre algún fallo.
- Enviar alarmas al centro de control ante cualquier

eventualidad o falla de las luminarias.

- Optimización de los equipos, pues al estar vigilados las 24 horas del día se puede asegurar su correcto funcionamiento y además, ante la presencia de alguna falla, se envía una alarma para poder tomar las acciones necesarias.
- Se podrá obtener un ahorro de energía, ya que las luminarias funcionarán con total capacidad cuando sea absolutamente necesario y podrán ser dimerizadas dependiendo de la iluminación ambiental del momento.
- Mejoras en el mantenimiento del alumbrado público. (Instaladora Rey Peña S.L) (Sofrel LACROIX) (Acuña Roncancio, 2011)

4.2. Baterías

Son elementos que convierten energía química en energía eléctrica por medio de un proceso químico transitorio, después cesa su actividad y se deben renovar sus elementos constituyentes, ya que sus características resultan alteradas.

Su funcionamiento se da con una reacción química que produce en el terminal negativo una gran cantidad de electrones y en su terminal positiva una ausencia de éstos, con lo cual se genera una diferencia de potencial haciendo circular una corriente que saldrá del terminal negativo hacia el positivo, pasando a través del circuito al que está conectado. (Padrón Jabib, 2013)

Las baterías han tenido un gran desarrollo en los últimos años logrando una relación potencia/peso muy alta. Son dispositivos

indispensables hoy en día, ya que se utilizan, de forma masiva, en la sociedad, en celulares, vehículos de transporte, relojes, computadores, radios y hasta en cargas esenciales, las cuales necesitan suministro constante, así que cuando falla la red se conectan a las UPS (uninterrupted power source) para garantizar un suministro continuo de energía.

En la Micro-red de la UPB, para el almacenamiento de energía se utilizará un sistema BESS (Batería energy storage system), para almacenar la energía generada por los paneles solares instalados en las porterías peatonales. Las baterías serán de plomo ácido de gel selladas, que requieren poco mantenimiento y son menos lesivas con el medio ambiente. (UPB, 2014)

4.3. Paneles solares

Las celdas fotovoltaicas son dispositivos fotoeléctricos que convierten la energía lumínica en energía eléctrica sin antes pasar por un estado de energía térmica, por medio de materiales capaces de modificar sus características eléctricas cuando se ven sometidos a la radiación electromagnética. Estos materiales son los semiconductores. (Valencia Gallón, 2013)

Su funcionamiento se basa en el paso de electrones de los materiales semiconductores a un estado situado en la banda de conducción, por la energía obtenida en la absorción de fotones de la luz del sol. Este fenómeno genera una corriente eléctrica a través del circuito. Cuando se libran los electrones, éstos dejan huecos en el material.

El nivel de energía generado por un panel fotovoltaico depende, principalmente de: Tipo de panel y área, nivel de radiación e insolación y longitud de onda de la luz solar.

Son una solución apropiada en muchos sitios lejanos a la interconexión eléctrica para reemplazar plantas eléctricas de combustibles fósiles. Tienen larga vida útil (aproximadamente 25 años) y son de fácil mantenimiento.

El sistema solar fotovoltaico de la universidad cuenta con paneles solares de marca Yingli Solar, los cuales producen 25 kWp y la energía generada se consume por las cargas de iluminación del parqueadero. Es un sistema que se encuentra conectado a la red.

5. METODOLOGÍA

Las áreas a iluminar en la Micro-red son 4 troncales. Las troncales 1, 2 y 4 se asumirán como vías peatonales y la troncal 3 se define como una vía vehicular. Para las zonas peatonales se debe garantizar que peatones y ciclistas puedan distinguir la textura del pavimento, configuración de bordillos, escalones, marcas y señales.

En la Tabla 1 se presenta la clasificación de las vías peatonales y los requisitos de iluminación. Para la iluminación de las troncales de la UPB se asumirán como vías con clasificación P5, ya que la circulación de peatones y ciclistas es baja en horas de la noche y es una zona segura.

La troncal 3 se asumirá como una M5, ya que el flujo vehicular es reducido y la velocidad de circulación es baja. Las consideraciones técnicas del diseño para esta troncal se presentan en la Tabla 2, en la cual se resume la información suministrada en las Tablas 510.1.1a, 510.2.1.a y 510.2.1.b, del RETILAP.

Tabla 1. Requisitos de iluminación para tráfico peatonal P5

Descripción vía	Iluminación (lx)		Uniformidad
	Prom	Mín	
Utilización nocturna muy baja por peatones y ciclistas (P5)	3,0	0,6	0,2

Tabla 2. Requisitos de iluminación para tráfico vehicular M5

Descripción vía	Velocidad circulación	Tránsito vehículos	Iluminancia (lx)	Uniformidad
Vías secundarias	Muy reducida (Al paso)	<100 vehículos/hora	9	18%

6. DISEÑOS Y RESULTADOS

6.1. Diseño Troncal de iluminación 1

La primera troncal está ubicada entre la portería peatonal de la circular primera y la portería de la avenida bolivariana. Al ser un

recorrido, para hacer el análisis en el programa, se dividió en tres partes. En la siguiente Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para la primera troncal.

Se aclara que la troncal 1.3 ya está construida y en funcionamiento, por este motivo únicamente se modeló con la luminaria allí instalada.

Por la baja densidad de arborización las troncales 1 y 3 se hace el diseño teniendo en cuenta que las luminarias ubicadas en estas troncales sean alimentadas por paneles solares respaldados por baterías.

Tabla 3. Resumen resultados Troncal 1

Troncal 1.1		
Luminaria	Iluminancia Media E_m (lx)	Uniformidad E_{min}/E_m
Microplus Germany	15	0.340
Philips	22	0.269
Schreder	11	0.5
Troncal 1.2		
Luminaria	Iluminancia Media E_m (lx)	Uniformidad E_{min}/E_m
Microplus Germany	14	0.196
Philips	16	0.216
Schreder	10	0.337
Troncal 1.3		
Luminaria	Iluminancia Media E_m (lx)	Uniformidad E_{min}/E_m
Cree	19	0.225

6.2. Diseño Troncal de iluminación 2

Esta troncal se encuentra ubicada por todo el Boulevard llegando hasta la portería peatonal nueva de la 70.

Debido a que es un recorrido muy largo también se dividió en 2 sub-troncales, con el fin de facilitar su simulación.

Cuando se instalen las luminarias se debe tener en cuenta la coexistencia de las luminarias con los árboles, ya que esta zona se encuentra altamente arborizada. Si es necesario se deben podar las ramas que generen interferencias con el haz luminoso útil.

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos en la simulación en el *software* Dialux.

Tabla 4. Resumen resultados Troncal 2

Troncal 2.1		
Luminaria	Iluminancia Media $E_m(\text{lx})$	Uniformidad E_{min}/E_m
Microplus Germany	13	0.462
Philips	16	0.265
Schreder	10	0.496
Troncal 2.2		
Luminaria	Iluminancia Media $E_m(\text{lx})$	Uniformidad E_{min}/E_m
Microplus Germany	20	0.236
Philips	23	0.247
Schreder	16	0.241

6.3. Diseño Troncal de iluminación 3

Esta troncal se encuentra ubicada al frente del bloque 11. Es la única troncal en la cual se debe tener en cuenta el flujo vehicular, el cual es muy bajo y por eso se le da la clasificación de M5. Además la velocidad de tránsito por esta vía es al paso.

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos para esta troncal con las diferentes luminarias evaluadas en este diseño.

Tabla 5. Resumen resultados Troncal 3

Troncal 3		
Luminaria	Iluminancia Media $E_m(\text{lx})$	Uniformidad E_{min}/E_m
Microplus Germany	12	0.241
Philips	15	0.205
Schreder	9.8	0.290

6.4. Diseño Troncal de iluminación 4

Esta última troncal de iluminación se encuentra ubicada en el paseo del pensador, un camino peatonal que llega hasta el bloque nueve. En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos para esta troncal de iluminación.

Esta zona de la universidad también cuenta con muchos árboles, motivo por el cual estas luminarias deben conectarse a la red existente o podrían ser alimentadas por paneles solares ubicados en lugares donde la radiación solar sea adecuada.

Tabla 6. Resumen resultados Troncal 4

Troncal 4		
Luminaria	Iluminancia Media E_m (lx)	Uniformidad E_{min}/E_m
Microplus Germany	18	0.282
Philips	17	0.255
Schreder	14	0.309

Como puede apreciarse en el resumen de los resultados, todas las troncales de iluminación, con los 3 diferentes tipos de luminarias utilizadas cumplen con los niveles de iluminancia y uniformidad exigidos por el RETILAP.

Todos los elementos que conformen el sistema deben cumplir con las exigencias propias del RETIE, además de ser aptas para ser instaladas a la intemperie.

7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Luego de realizar el análisis económico para el proyecto se realizaron varias gráficas para comparar diferentes aspectos.

En la Figura 1 puede apreciarse la gráfica en la cual se comparan los costos de administración, operación y mantenimiento para las 3 luminarias utilizadas en el diseño. Puede observarse que en año 16 hay un pico muy alto, pues es cuando debe hacerse el reemplazo completo de las luminarias y lo cual genera un gran sobrecosto.

También se ve que la luminaria con menor costo de mantenimiento y operación es la de Microplus Germany, ya que no es la más costosa y es la que menor potencia consume. Sin embargo la Schreder tiene un comportamiento muy similar, pero el pico más alto en el año 16, ya que esta luminaria presenta el mayor valor inicial en comparación con las otras dos utilizadas.

Luego, en la Figura 2, se presenta el consumo de energía de las tres luminarias analizadas en el diseño y de las luminarias de vapor de sodio de alta presión existentes en las diferentes troncales de la universidad actualmente. Uno de los objetivos de este trabajo de grado es dar motivos para que dichas luminarias serán reemplazadas por tecnología LED.

Como puede apreciarse en dicha gráfica el consumo de las luminarias convencionales es sumamente alto, superando notoriamente cualquiera de las 3 luminarias LED propuestas en el diseño, con lo cual se corrobora el buen ahorro que se tiene con esta tecnología. Puede apreciarse que la luminaria de Microplus Germany es la que menor consumo presenta, por ser la menor potencia requiere (40 W) comparada con las otras dos Schreder (52 W) y Philips (82,5 W).

Los estudios económicos realizados en este trabajo no consideran el ahorro adicional obtenido si se utilizara telegestión, que puede llegar a ser de hasta un 30% adicional, utilizando sensores de presencia o de tráfico de personas. Las luminarias de vapor de sodio no son susceptibles de ser gestionadas debido al sistema de encendido que posee, el cual requiere cerca de 1 minuto en el

mejor de los casos, mientras que estos tiempos en el LED son de despreciables. Además dimerizar las luminarias de vapor de sodio disminuiría su vida útil dramáticamente por lo cual no es muy recomendable y no suele hacerse en este tipo de luminarias.

Por último, en la Figura 3 se hace el estudio del tiempo de recuperación de la inversión inicial. Para hacer este análisis se tiene en cuenta el ahorro que se genera al utilizar las luminarias LED respecto a las convencionales y luego se compara con el CAOM de las luminarias de vapor de sodio de alta presión. Cuando estos 2 valores se igualan puede afirmarse que se recuperó la inversión inicial y, como se ve en la gráfica, luego de ese punto solo siguen ganancias y beneficios. Incluso en el año 16

que es tan crítico, pues hay que reemplazar las luminarias, se sigue teniendo un saldo a favor.

Para recuperar la inversión inicial de la marca Microplus Germany se necesitan 5,21 años, para la marca Schreder se necesitan 5,74 años y para la marca Philips se necesitan 9,89 años.

Luego de apreciar este comportamiento puede afirmarse que invertir en esta tecnología es altamente favorable a mediano y largo plazo, porque así los costos iniciales sean muy elevados, en comparación con las tecnologías tradicionales, el ahorro que se tiene en los años futuros genera gran rentabilidad.

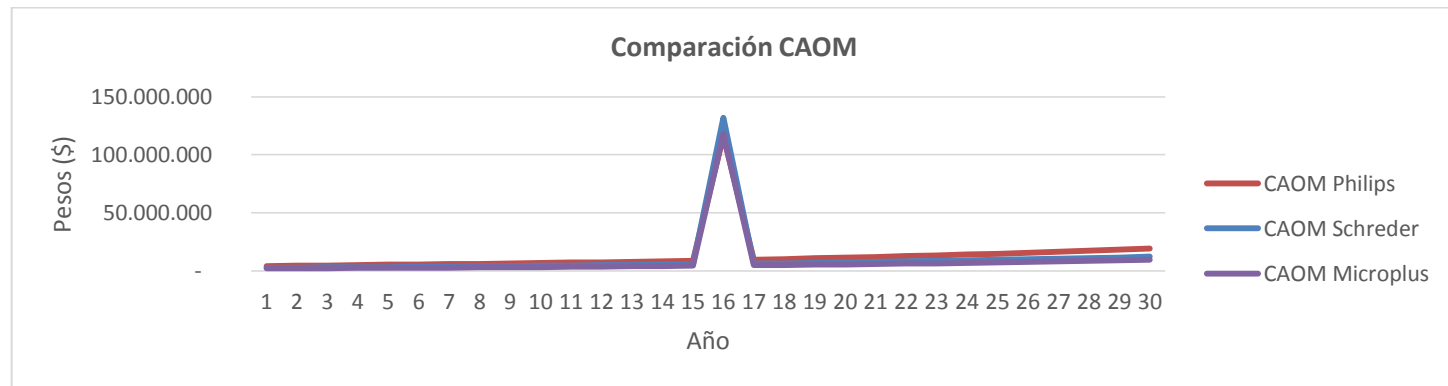


Figura 1. Comparación entre los costos de administración, mantenimiento y operación de las 3 marcas utilizadas

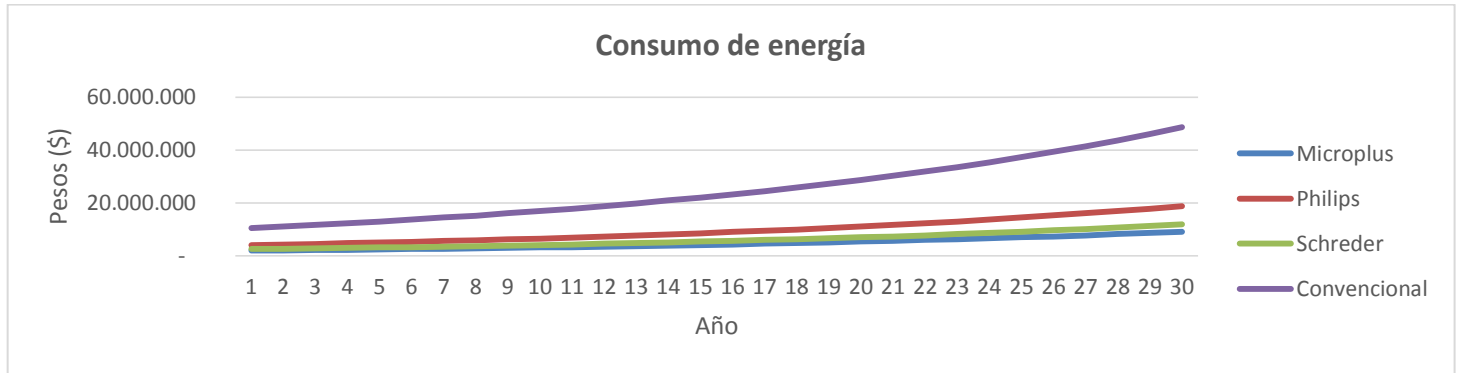


Figura 2. Comparación del consumo de energía de las luminarias

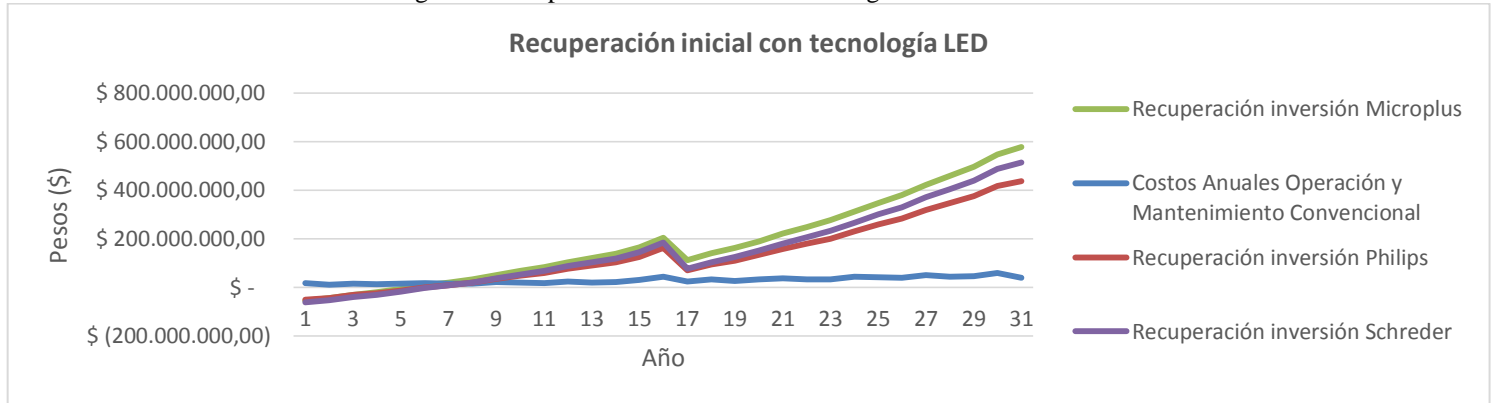


Figura 3. Análisis del ROI (Retorno de la inversión)

8. CONCLUSIONES

Con los tres tipos de luminaria se obtuvieron los niveles mínimos de uniformidad e iluminancia exigidos por RETILAP, sin embargo la luminaria de Scheder fue la que mostró mejor uniformidad, ya que el nivel medio de iluminancia no era el más alto. En troncales peatonales de poco flujo de personas, este no es un factor determinante.

Entre mayor sea la uniformidad, mejor es la distribución lumínica en el suelo, es decir, se evita el efecto cebra (zonas muy iluminadas y otras muy oscuras). Según los resultados y los renders entregados por el *software* Dialux, la luminaria Philips genera dichos puntos muy iluminados y otros no tanto, lo cual visualmente no es muy atractivo en ningún caso.

Luego de realizar el análisis económico puede afirmarse que no solo el precio es el factor determinante para seleccionar una luminaria. Hay que tener en cuenta las características técnicas de la misma, su versatilidad, su consumo energético y los tiempos de retorno de la inversión a la hora de elegir la más apropiada. Con los resultados obtenidos en dicho estudio puede afirmarse que económicamente la luminaria más viable es la de Microplus Germany. Sin embargo dentro de la micro-red se busca evaluar y estudiar diferentes marcas para poder hacer comparaciones, no sólo económicas, sino también técnicas.

A pesar de que los proyectos utilizando luminarias LED tienen un elevado costo inicial, dicha inversión puede recuperarse en un

plazo de 6 años aproximadamente. Y aunque parezca mucho tiempo se deben tener en cuenta todos los beneficios y ventajas que tiene su utilización en proyectos de alumbrado público, además de contribuir con el cuidado del medio ambiente, teniendo menores consumos de energía y no poseer elementos constructivos altamente tóxicos, los cuales serían un problema en el momento de ser desechados.

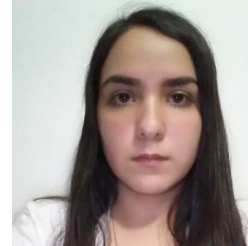
La telegestión es un sistema de gestión de luminarias, con el cual se busca controlar y programar el funcionamiento de las éstas, con el fin de que éstas sean lo más eficiente posible y se logren ahorros adicionales en consumo. La telegestión también permite monitorear cada luminaria independientemente y permite la geo-referenciación con lo cual la misma luminaria puede reportar problemas o fallas al centro de control, sin necesidad de ser revisadas permanentemente.

La tecnología LED presenta grandes ventajas como una excelente reproducción cromática (mayor a 0.75), es decir que reproduce bien los colores de los objetos, ya que emiten todos los colores del espectro visible. Además tienen una rápida respuesta frente a estímulos de corriente, por lo cual son fácilmente dimerizables, adecuando la cantidad de luz emitida según la necesidad y situación. Como pudo apreciarse en el estudio económico tienen un gran ahorro de energía respecto a las luminarias convencionales. Así muchas personas tengan aun la mente cerrada, la luminarias LED son una nueva tecnología, eficiente e innovadora, la cual irá tomando fuerza y se irá posicionando en el mercado desplazando las tecnologías convencionales.

REFERENCIAS

- Alzate Segura, W. (2014). *Eficiencia Energética en iluminación*. Medellín.
- Betancur, M. J., Moreno, J. A., Moreno-Andrade, I., & Buitrón, G. (2006). Practical optimal control of fed-batch bioreactors for the wastewater treatment. *Int. Journal of Robust and Nonlinear Control, Special Issue on Control of (Bio)Chemical Reacting Systems*, 16, 173-190.
- Briñón Vélez, J. (2015). Ventajas y desventajas LED. Medellín, Antioquia, Colombia.
- Caminos, J. (2011). *Criterios de diseño en iluminación y color*. Buenos Aires: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
- Castañeda Duque, J. P. (2010). *Diseño y prototipo de una luminaria de LEDs para el alumbrado público según RETILAP y normatividad actual*. Medellín.
- Céspedes, R. (2012). *Desafíos en el desarrollo de micro-redes inteligentes en zonas aisladas*. Bogotá.
- Díaz, J. F. (12 de Noviembre de 2014). *EFICIENCIA ENERGÉTICA*. Obtenido de <https://juanfrancisco207.wordpress.com/category/eficiencia-energetica/>
- Fossati, J. P. (2011). *Revisión bibliográfica sobre micro redes inteligentes*. Pamplona.
- Galvin Electricity Initiative. (s.f.). *What are Smart Microgrids*. Recuperado el 11 de Febrero de 2015, de Galvin Electricity Initiative: galvinpower.org/microgrids
- Ministerio de Minas y Energía. (2007). *ALumbrado público exterior. Guía didáctica para el buen uso de la energía*. Bogotá.
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP).
- Rueda Valdivieso, P. P. (2014). *Estudio para la presentación de una propuesta para la implementación de un sistema de telegestión del alumbrado público en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Suárez Acevedo, J. A. (2010). *MARCO Teórico de la Telegestión del servicio de Alumbrado Público*. Bogotá.
- UPB. (2014). *Microred*. Medellín.
- Valencia Gallón, J. H. (2013). *Fundamentos de Electrónica Industrial*. Medellín.

AUTORES



María Elisa, **BRIÑÓN ZAPATA**. Bachiller egresado del Colegio Gimnasio los Pinares (2009). Egresada próximo a graduarse del programa de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín. En la actualidad trabaja como profesional en diseño de subestaciones eléctricas de alta tensión en la empresa JCAG Ing Consultor S.A.S. Nacida en Medellín, Antioquia el 5 de abril de 1992.

Hugo Alberto, **CARDONA RESTREPO**. Ingeniero electricista de la Universidad Pontificia Bolivariana (1999) Magister en Transmisión y distribución de energía eléctrica en la misma universidad. Actualmente es el director de la facultad de ingeniería Eléctrica y Electrónica, además de ser docente en la misma facultad desde el año 2001. Es investigador en el grupo de TyD de energía de la Universidad.