

**TELEGESTIÓN PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO DE ALUMBRADO PÚBLICO
EN EL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA**

**ELISEO ORTIZ BUENO
OSCAR ELÍAS SEPÚLVEDA ACERO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA
2016**

**TELEGESTIÓN PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO DE ALUMBRADO PÚBLICO
EN EL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA**

**ELISEO ORTIZ BUENO
OSCAR ELÍAS SEPÚLVEDA ACERO**

**Monografía de grado presentado como requisito para obtener el título de
Especialista en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica**

**Director:
Dra. (c) YULIETH JIMÉNEZ MANJARRÉS
Ingeniería área ingeniería Electronica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA
2016**

DEDICATORIA

*A Dios,
A mi tía Gilma Bueno,*

*Quienes con su permanente aliento y franco respaldo facilitaron el camino para la
conquista de tan importante propósito.*

Eliseo

A Dios, a mis padres a mi esposa y mis hijos

*Porque han estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para
continuar*

Oscar Elías

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por darme todo su apoyo y quererme por sobre todas las cosas.

A Yajaira, Óscar y Valentina por darme su amor, apoyo y confianza en todo momento.

A la Dra. (c) Yulieth Jiménez Manjarrés, quien con sus conocimientos nos guió y apoyó en este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES	19
1.1 JUSTIFICACIÓN	19
1.1.1 Impacto Ambiental	21
1.1.2 Costos y eficiencia energética	23
1.1.3 Sistema de encendido / apagado y regulación del nivel luminoso	28
1.2 ANTECEDENTES DEL SISTEMA DE ALUMBRADO EN BUCARAMANGA	30
2. SITUACIÓN DE LA TELEGESTIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN BUCARAMANGA	35
2.1 MARCO REGULATORIO NACIONAL Y MUNICIPAL PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO	35
2.2 MANTENIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO DE BUCARAMANGA	38
2.3 PROYECTO PILOTO	41
3. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE TELEGESTIÓN	44
3.1 NIVEL 1: LUMINARIAS	45
3.2 NIVEL 2: CABINA DE CONTROL	46
3.3 NIVEL 3: COMUNICACIONES	46
3.4 NIVEL 4: CONTROL REMOTO	48
4. ANÁLISIS CUALITATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS MÁS IMPORTANTES EN LOS SISTEMAS DE TELEGESTIÓN	50

4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS	50
4.1.1 Sistemas de comunicación inalámbrica en iluminación telegestionada	54
4.1.2 Redes inalámbricas de área metropolitana (<i>WNAM</i>)	60
4.1.3 Redes inalámbricas de área extensa (<i>WWAN</i>)	60
4.2 CUADRO COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS MÁS IMPORTANTES	61
4.2.1 Comunicaciones entre niveles para la telegestión	62
4.2.2 Luminarias	64
4.2.3 Centro de control	66
4.2.4 Comunicaciones	67
4.2.5 Control Remoto	68
5. CONCLUSIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas de un proyecto de Alumbrado Público.	30
Figura 2. Distribución del alumbrado público en Bucaramanga	39
Figura 3. Comuna 13, El Tejar.	40
Figura 4. Niveles de un proyecto Telegestionado	44
Figura 5. Sistema mallado de comunicación del alumbrado público.	51
Figura 6. Sistema PLC	54
Figura 7. Protocolo Zigbee modelo esquemático	58
Figura 8. Smart Grig – Zigbee	59

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Oferta informática para la telegestión del alumbrado público.	48
Tabla 2. Métodos y equipos de comunicación en los sistemas de telegestión.	52
Tabla 3. Medios de comunicación entre módulos de sistemas de telegestión.	53
Tabla 4. Redes inalámbricas de red mallada	55
Tabla 5. Redes inalámbricas de red mallada, tipo WPAN.	56
Tabla 6. Especificaciones de la tecnología IEEE 802.15.4 o Zigbee.	56
Tabla 7. Redes Inalámbricas de Área Metropolitana (WNAM).	60
Tabla 8. Tecnologías y uso de las Redes Inalámbricas de Área Extensa (WWAN).	60
Tabla 9. Cuadro de tecnologías y protocolos usados en las comunicaciones entre niveles para la telegestión	62
Tabla 10. Comparación tecnologías en luminarias para el alumbrado público	64
Tabla 11. Cuadro comparativo centro de control [2].	66
Tabla 12. Cuadro comparativo comunicaciones	67
Tabla 13. Cuadro comparativo control remoto	68
Tabla 14. Tecnologías recomendadas para niveles de telegestión.	69

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. MARCO LEGAL SOBRE ALUMBRADO PÚBLICO.	75

RESUMEN

TITULO: TELEGESTIÓN PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO DE ALUMBRADO PÚBLICO EN EL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA*.

AUTORES: Eliseo Ortiz Bueno
Oscar Elías Sepúlveda Acero**

PALABRAS CLAVES: Telegestión, Retilap, Luminaria, Alumbrado Público, Resolución, Uso racional de la energía.

DESCRIPCIÓN:

Este documento muestra una visión global acerca de beneficios, dificultades y costos de implementación del alumbrado público telegestionado, prominente solución a la iluminación pública moderna compuesta por lámparas led que, por su longevidad, tamaño, bajo consumo y alta eficiencia, reducen el impacto en el medio ambiente.

Para todo esto se requiere conocer las exigencias técnicas y legislativas contenidas en los reglamentos nacionales y propios de cada municipio. Una vez alcanzado esto, se encontró que la tecnología de mayor aceptación a nivel mundial es la Zigbee y fue esta la que se implementó en los proyectos de la ciudad. Dicha tecnología cumple y brinda las soluciones a las demandas de la norma Retilap respecto al consumo energético, eficiencia y compromisos medio ambientales, entre otros. Existen tecnologías de diferentes niveles de telegestión de alumbrado público tales como luminarias LED, comunicación PLC (Power Line Communications o Líneas Eléctricas de Comunicaciones), BPL (Broadband over Power Lines o Banda Ancha sobre Líneas Eléctricas), comunicación y control Bluetooth, control remoto infrarrojo y otras más, pero es la Zigbee que por alcance, capacidad, consumo energético y eficiencia, es la de mayor beneficio y conveniencia de uso.

Con los resultados obtenidos mediante el uso e implementación de esta tecnología en la ciudad, se ha conseguido que la prestación del servicio de alumbrado público tenga un alto potencial a futuro. Acatar las recomendaciones de este proyecto contribuiría a que la ciudad se convierta en pionera en la telegestión y logre reducir el costo por consumo energético, aprovechar el tiempo de vida de las luminarias y el sistema de control para su funcionamiento, y dar mayor luminosidad al espacio público de Bucaramanga.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Especialización en sistemas de distribución de energía eléctrica. Director: Ing. Yulieth Jiménez Manjarrés

ABSTRACT

TITLE: REMOTE FOR ELECTRICAL PUBLIC LIGHTING IN THE MUNICIPALITY OF BUCARAMANGA *.

AUTHORS: Eliseo Ortiz Bueno
Oscar Elías Sepúlveda Acero**

KEYWORDS: Telemanagement, RETILAP, luminaire, public lighting, resolution, rational use of energy.

DESCRIPTION:

This paper gives an overview about benefits, challenges and costs of implementing the lighting remotely managed, a prominent solution to modern public lighting consists of LED lamps, for their longevity, size, low power consumption and high efficiency, reduce the impact on the environment.

For all this we need to know the technical and legislative requirements contained in domestic and regulations specific to each municipality. Once this is achieved, it was found that the most widely accepted technology worldwide is the Zigbee and it was this which was implemented in the city projects. This technology meets and provides solutions to the demands of the RETILAP standard for energy consumption, efficiency and environmental commitments, among others. There are different levels of technology remote management of public lighting such as LED lighting, communication PLC (Power Line Communications and Power Line Communications), BPL (Broadband over Power Lines or broadband over power lines), Bluetooth communication and control infrared remote control and others, but it is the Zigbee that range, capacity, energy consumption and efficiency is of greater benefit and convenience of use.

With the results obtained through the use and implementation of this technology in the city, it has made the provision of street lighting has a high potential for the future. Follow the recommendations of this project would help the city become a pioneer in remote management and achieve cost reducing energy consumption, make the lifetime of the luminaires and control system for its operation and provide more light into space Bucaramanga audience.

* Monograph

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Specializing in distribution systems of electric power. Director: Ing Yulieth Jimenez Manjarrés.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de alumbrado, especialmente los presentes en el sector público, están diseñados aún de acuerdo a los viejos estándares de confiabilidad los cuales usualmente no tienen las ventajas de las últimas tecnologías desarrolladas en este campo¹. En la mayoría de casos el atraso en la implementación de nuevas tecnologías en el sistema de alumbrado público está relacionado con la tasa de retorno de las inversiones realizadas por los municipios en la construcción de estas facilidades. Sin embargo, el reciente aumento en la sensibilidad de las sociedades por preservar el medio ambiente ha motivado a las empresas encargadas de la construcción de luminarias a utilizar materiales medio ambientalmente más amigables, además de permitir con ellos significativos ahorros en el consumo de energía².

Algunas soluciones a los retos propios de sistemas de alumbrado como la tasa de retorno de inversiones, operación y mantenimiento, consumo energético entre otras, son las que en la actualidad es posible encontrar. En primer lugar y siendo quizás la más intuitiva, el uso de nuevas tecnologías tanto en las luminarias como en su modo de operación, refiriendo de esta manera los sistemas de iluminación pública telegestionados. Estos sistemas combinados con tecnología de punta tales como los Led (*Light Emitting Diode*) brindan una muy buena solución porque ofrece muchos beneficios como el ahorro en el consumo eléctrico hasta del 85% respecto a las demás tecnologías³, mayor longevidad de las luminarias y menor

¹ Los nuevos sistemas de Alumbrado público cuentan no solo con tecnología más eficiente, sino además con una gestión integrada del servicio donde se contempla tanto el mantenimiento de las instalaciones como la administración energética y financiera.

² SCHRÉDER Alumbrado Público: Apagado o Iluminación Inteligente? Schröder S.A. 2014

³ CIRCUTOR. Soluciones para la gestión del alumbrado público Barcelona: Circutor 2013

costo operativo día a día⁴. Al respecto se han realizado muchas investigaciones ^{5 6 7 8}, las cuales han considerado esta posibilidad, diseñando avanzados sistemas de iluminación pública telegestionados basados en tecnología Led. Al mismo tiempo se daría cumplimiento a lo establecido en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (Retilap) de la resolución 180540 de marzo 30 de 2010 del Ministerio de Minas y Energía para Colombia en su sección 210.1.c., la cual establece que:

“En los proyectos nuevos o remodelaciones de sistemas de iluminación de avenidas, grandes áreas o parques deportivos, donde se tienen altos consumos de energía, se debe considerar la posibilidad de reducir los consumos en las horas de baja circulación de personas o vehículos, mediante la instalación de tecnologías o prácticas apropiadas de control.”

Como se ha venido mencionando, los sistemas telegestionados o de control remoto son revolucionarios ya que envían información de consumo energético, estado de las luminarias, funcionamiento, entre otras, a un centro o base de control. Esto se traduce en una simplificación en la administración del sistema y en grandes ventajas al momento de realizar actividades de mantenimiento. El estado del arte en esta opción es rico^{9 10 11}.

⁴ M. D. COSTA, “A high efficiency autonomous street lighting system based on solar energy and LEDs”, de Proc. Power Electron. Conf, Brasil, 2009.

⁵ YUE W., «Design of new intelligent street light control system,» de 8th IEEE Int. Conf. Control Autom, Jun. 9–11, 2010.

⁶ S. d. C., «Sistemas de Telegestión de Alumbrado Público Lumidim».

⁷ S. D. Infraestructura Bucaramanga, «Mejoramiento de los niveles de iluminación y modernización del sistema de alumbrado público a tecnología led, complementado con sistema de telegestión en la transversal Oriental del Municipio de Bucaramanga,» Secretaría De Infraestructura, Bucaramanga, 2013.

⁸ J. PINTO, «Proyecto Piloto de telegestión del servicio de Alumbrado Público de la ciudad de Bucaramanga,» Bogotá, 2010.

⁹ L. ASSAF, «Iluminación y medio ambiente problemas y soluciones,» San Miguel de Tucuman.

¹⁰ E-STREETLIGHTING, «Un sistema Telegestionado de Alumbrado Exterior Inteligente para el seguimiento, control, medición y diagnóstico del Alumbrado Público,» 2008.

¹¹ J. PINTO Op. Cit.

Finalmente, la tercera opción podría ser el uso de las energías alternativas locales disponibles, en lugar del uso de energía proveniente de fuentes convencionales, las cuales traerían efectos muy positivos al medio ambiente. Una de las energías alternativas más comúnmente utilizada en sistemas de iluminación pública a nivel global es la energía solar fotovoltaica¹².

Lo que se busca con esta monografía es encontrar la mejor opción para la telegestión del alumbrado público en la ciudad de Bucaramanga. De acuerdo con esto, el documento se estructura de la siguiente manera. En el presente capítulo se realiza una pequeña introducción al tema y se brinda una puesta en escena de la situación actual en el municipio de Bucaramanga. En el capítulo 2 se incluye una descripción del sistema eléctrico del municipio, enfocándose en los aspectos legislativos, técnicos, características del sistema de telegestión del alumbrado público y un caso piloto desarrollado en Bucaramanga asociado al uso de esta tecnología. En el capítulo 3 se presenta la mejor aproximación en la descripción del funcionamiento del sistema brindando sus especificaciones técnicas, sistemas de control y operación, además de traer a contexto las tecnologías usadas y sus beneficios. El capítulo 4 abarca una descripción de las tecnologías más influyentes en los sistemas de telegestión del alumbrado público así como también una tabla de las tecnologías más favorables a nivel comercial. Por último, se presentan las conclusiones en cuanto a las opciones tecnológicas recomendadas para proyectos telegestionados de alumbrado público en la ciudad.

El objetivo general de este trabajo es proponer un sistema de telegestión para alumbrado público del municipio de Bucaramanga, Santander, en tanto que los objetivos particulares que permitieron cumplirlo son los siguientes:

- i. Describir el estado actual del sistema eléctrico de alumbrado público en la ciudad de Bucaramanga.

¹² Ibíd.

- ii. Señalar las especificaciones de un sistema de telegestión en miras de mejorar la eficiencia eléctrica y la calidad del servicio eléctrico del alumbrado público.
- iii. Explorar las tecnologías que podrían conformar el sistema de telegestión.

1. GENERALIDADES

1.1 JUSTIFICACIÓN

El alumbrado público constituye sin lugar a dudas un activo importante ya que proporciona la sensación de seguridad de los ciudadanos en las calles, autopistas y avenidas, lo cual genera una invitación al uso de los espacios públicos. Sin embargo, uno de los mayores problemas es el costo operativo que tiene debido a su alto consumo energético. Por esta razón es que en el municipio se empieza a buscar tecnologías que contribuyan con el eficiente uso de la energía como lo es la telegestión.

Al utilizar dicha tecnología se puede tener control sobre los niveles de iluminación en el momento adecuado, identificar las luminarias con fallas y por supuesto, permitir el control de las mismas en tiempo real. Estas redes telegestionadas no solo pueden tener ahorros energéticos importantes, sino también mejorar drásticamente el servicio de mantenimiento y seguridad en las calles¹³. Dentro de los muchos beneficios que trae el uso de la telegestión en el alumbrado público se pueden nombrar también que mejoraría la organización de mantenimiento preventivo y correctivo, eliminaría las rondas nocturnas para la detección de daños, reduciendo a su vez el tiempo de respuesta. Al poderse medir en tiempo real y controlar de manera automática y manual el consumo de energía, y con el uso de nuevas tecnologías como los *Led* se pueden crear perfiles de atenuación para iluminar cuando es necesario por condiciones de tráfico o uso¹⁴.

¹³ *Ibíd.*

¹⁴ L. ASSAF Op. Cit.

Por último, se puede supervisar y registrar los parámetros eléctricos de la instalación como tensión, potencia, intensidad, factor de potencia, y consumo energético, al utilizar un software que permita tener un histórico de los datos, aportando una trazabilidad de las averías, facilitando a su vez los informes para auditorías, etc. Todo esto brinda información adicional del tiempo de vida del alumbrado público y gestión de ese inventario para nuevas adquisiciones.

El software destinado a la telegestión del alumbrado público deberá permitir:

- Integrar los sistemas georeferenciados en búsqueda de facilitar la ubicación de aquellos equipos en falla.
- Realizar el control y monitorización remota de los sistemas de alumbrado público.
- Tener bajo vigilancia constante todas las luminarias dispuestas en los centros de control (punto a punto), proveyendo las alarmas de falla de los equipos a través de mensajes de texto, e-mails y ayudando al control de *on – off* de cada luminaria de manera individualizada o bien en grupos previamente definidos por el usuario.
- Generar órdenes de cargo tanto en mantenimiento como en repotenciación, así como los reportes de normalización, distribución del trabajo, tiempos de ejecución, combustible y otros con el fin de obtener los mejores resultados en las labores de normalización, expansión y reposición del servicio.

Además de lo anterior el software debe tener interfaces con otros sistemas a citar:

- Con el sistema eléctrico de media y baja tensión.
- Con el sistema de atención a preguntas, quejas y reclamos - *PQR* – del servicio de alumbrado público.
- Con el sistema de información de infraestructura del alumbrado público.

1.1.1 Impacto Ambiental Son distintos los motivos por los cuales los sistemas de alumbrado público tienen impacto en el medio ambiente. Como primera medida, porque son grandes consumidores de energía, más cuando la energía consumida por estos sistemas proviene de generadores que consumen combustibles fósiles (Carbón, Gas, ACPM) los cuales se encuentran entre los principales productores de emisores contaminantes. En segundo lugar, estas al contener metales pesados se unen a la cadena de contaminantes en la atmósfera al final de la vida útil de las luminarias, además de que existen algunos efectos biológicos asociados a la luz. Todos los años miles de lámparas desechadas provenientes de las instalaciones de alumbrado público son arrojadas a los basurales, conteniendo grandes cantidades de metales pesados los cuales son liberados al medio ambiente¹⁵. Por último, contaminación lumínica relacionada con la excesiva producción de esta¹⁶.

Con las nuevas tecnologías se lograría aumentar la vida útil de las luminarias, además de comprometer a los constructores de estas a ser más eficientes en sus procesos y utilizar insumos medioambientalmente más amigables. Cabe mencionar que no solo es el mercurio o gases contenidos en cada unidad sino las emisiones asociadas a los combustibles fósiles utilizados en la generación eléctrica.

Hoy por hoy la vida útil de las luminarias es uno de los factores a tener en cuenta en todos los proyectos de alumbrado público. En Colombia el Retilap en el aparte 200.3.3 Duración o Vida Útil De La Fuente Lumínica cuenta con las indicaciones sugeridas a los fabricantes sobre este particular¹⁷. Además, señala todas las disposiciones ambientales vigentes en especial las del Decreto 4741 de 1995 donde se dictan lineamientos a seguir para los proyectos de alumbrado público.

¹⁵ *Ibíd.*

¹⁶ *Ibíd.*

¹⁷ M. d. M. y E. d. Colombia, «Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público,» Bogotá, 2010.

Si bien el alumbrado público en el municipio se diseña con el objeto de brindar la mayor sensación de seguridad a la población, es necesario mencionar que existen algunos problemas relacionados al uso inadecuado y excesivo del alumbrado público, por ejemplo la contaminación lumínica, la cual se define como la propagación de la luz artificial hacia el cielo nocturno. Esta es causada entre otras por la falta de control sobre la iluminación decorativa en edificios, luminarias carentes de control luminoso horizontal y mala distribución de las luminarias en la vía¹⁸.

Desde el punto de vista de las comunicaciones, las tecnologías inalámbricas podrían ser la solución para la comunicación de la telegestión del servicio de alumbrado público, al permitir crear un sistema en el que el municipio tenga la información a su disposición en cualquier momento a través de un simple acceso web en Internet. La utilización de la telefonía móvil por su parte, permite la gestión total del sistema a través de Internet mediante el uso de aplicaciones especializadas. Además, permitiría ayudar al trabajo diario de los servicios de mantenimiento, la interacción entre las cuadrillas y el centro de control sería de manera instantánea al hacer uso de las nuevas tecnologías aplicaciones y recursos que poseen los celulares. De manera que los sistemas que utilizan, por ejemplo, power line communications (PLC) estarían migrando a las nuevas tecnologías de comunicación inalámbrica.

Este sistema telegestionado facilitaría el buen funcionamiento del alumbrado público del municipio con una eficiencia y ahorro energético entre el 80 % y 85 %^{19 20}, optimizaría la fiabilidad del alumbrado exterior y reduciría los costos de mantenimiento, siendo además la herramienta que permitiría gestionar de manera eficiente la red de alumbrado.

¹⁸ *Ibíd.*

¹⁹ CIRCUTOR Op. Cit.

²⁰ ARELSA, «Street Lighting,» Telemanagement and Energy Saving, Barcelona, 2014.

1.1.2 Costos y eficiencia energética Cuando se habla de eficiencia energética se trata de un interés global en la sociedad actual. Un servicio de alumbrado público limpio y económico es la base para el desarrollo de cualquier proyecto en las ciudades modernas. La no utilización de combustibles fósiles tiene un impacto directo en la mejora del medio ambiente. Sin embargo, la eficiencia energética persigue también un beneficio económico en la reducción de costos de mantenimiento y modernización así como también un aumento de su competitividad²¹.

Todos los sectores consumidores de energía apuntan a encontrar soluciones que mejoren su uso energético y el alumbrado público en las ciudades no es la excepción. Es así como se diseñan programas para sus instalaciones, donde el vector costo de la energía aparece en cualquier planteamiento estratégico que se realice. Estos planes de mejora vienen acompañados de barreras en su implementación implícitamente. Por ejemplo, las inversiones, que en algunas oportunidades llegan a ser muy altas, y la incertidumbre respecto al ahorro a conseguir.

La eficiencia energética se basa en los ahorros obtenidos a través de la implementación de nuevas tecnologías o mejoramiento de las mismas. Cuando se habla de ahorro energético se da la garantía que mediante nuevos modelos de gestión, información y comunicación se pueda dar una solución a estas dos barreras anteriormente mencionadas. Por una parte, al evaluar las inversiones de las mejoras energéticas, reduciendo el riesgo económico por parte del municipio en el caso de Bucaramanga. Por otra parte, asegurándose del cumplimiento de los ahorros estimados pues de esto depende la inversión en nuevos proyectos de la misma clase²².

²¹ FUNDACIÓN DE LA ENERGÍA DE LA COMUNIDAD DE MADRID, «Guía de Gestión Energética del Alumbrado Público,» Madrid, 2012.

²² *Ibíd.*

En Colombia, el Retilap en su capítulo 5 sección 510.6, uso racional de energía en alumbrado público, demanda que: *“Los diseños de alumbrado público deben tener presente el uso racional y eficiente de energía, por lo que se hace exigible la aplicación del concepto de densidad de potencia eléctrica, para lo cual se requiere del uso de fuentes de alta eficacia lumínica y luminarias de la mayor eficiencia”*²³. Para Bucaramanga, el sistema integrado de gestión del servicio de alumbrado público está certificado por el ICONTEC, bajo las normas ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 y OSHAS 18001:2007 con el propósito de garantizar a la comunidad la satisfacción mediante la prestación eficiente e ininterrumpida de este servicio, optimizando recursos y mejorando continuamente los procesos, apoyados con personal calificado y la aplicación de tecnologías de punta.

Todo esto se enfoca a actividades de prevenir y mitigar la contaminación del medio ambiente y a garantizar la seguridad y prevención de lesiones y enfermedades del personal, identificando y valorando los riesgos e impactos ambientales, cumpliendo con los requisitos legales aplicables²⁴. Hoy en día, el manejo integral del alumbrado público lo realiza directamente el municipio de Bucaramanga, como se explica en el sitio web de la secretaría de alumbrado público. La energía demandada para este servicio se adquiere a través de subasta inversa a la comercializadora de energía que mejor precio por kW-h le ofrezca al municipio. La facturación y el recaudo de este impuesto se realiza a través de las diferentes comercializadoras de energía que tienen usuarios en la ciudad, como la ESSA, RUITOQUE S.A ESP, VATIA S.A., ISAGEN S.A., entre otras²⁵.

La Electrificadora de Santander S.A, tuvo a su cargo el manejo integral del alumbrado público desde el año 1979 hasta el 2001 (22 años), es decir, suministraba la energía requerida para el servicio de alumbrado público, facturaba

²³ M. d. M. y E. d. Colombia, Op. Cit.

²⁴ ALUMBRADO PÚBLICO DE BUCARAMANGA, Institucional [En línea] disponible en: <http://alumbrado.bucaramanga.gov.co/institucional>, [citado el 22/04/2015]

²⁵ Ibíd.

y recaudaba el impuesto, realizaba el mantenimiento y la expansión de obras nuevas. Sin embargo, el municipio le adeuda a la ESSA cerca de 3 mil millones de pesos por concepto de alumbrado²⁶. A partir del 2003, el alumbrado público del municipio se incluye dentro de las funciones misionales de la secretaría de infraestructura, la cual es la encargada hasta la fecha de este²⁷. Cada uno de los proyectos de iluminación pública del país bajo la reglamentación actual deben contar con una evaluación del diseño fotométrico, eléctrico, de calidad, ambiental y urbanístico, además de una evaluación financiera del proyecto donde se comparen dos o más alternativas, recomendando una que presente el menor costo en toda la vida útil del proyecto. Para dicha evaluación se emplea la metodología de “*Costo Anual Equivalente*”.

La evaluación debe cumplir con los siguientes requisitos²⁸:

- Los costos no pueden superar los establecidos por la CREG, en la metodología para el cálculo del mayor valor del servicio.
- Realizarse a precios constantes de la fecha de análisis, en pesos colombianos.
- En cada alternativa se deben considerar todos los costos del proyecto.
- Las alternativas deben ordenarse de menor a mayor costo anual equivalente.

El alumbrado público en la ciudad de Bucaramanga se rige bajo cuatro principios base tomados del Retilap, los cuales son: cumplimiento de los requerimientos de visibilidad necesarios en las diferentes zonas de la ciudad, la cantidad y calidad de luz necesaria para su adecuado funcionamiento, confiable a la ciudadanía, y por último, cómodos a la visión de transeúntes y conductores.

Dentro de los requerimientos de visibilidad exigidos y aplicados a partir de la implementación del Retilap en el territorio colombiano, Santander se ha esmerado

²⁶ *Ibíd.*

²⁷ *Ibíd.*

²⁸ M. d. M. y E. d. Colombia, Op. Cit.

en construir un alumbrado público adecuado para el normal desarrollo de las actividades de vehículos y peatones. Para cumplir con esto se debe realizar una cuidadosa selección de luminarias con altos desempeños fotométricos, de tal forma que se alcancen los requerimientos exigidos por ley de luz y de distancias entre postes, alturas de montaje, y por supuesto el menor consumo con máxima potencia de las luminarias que sea posible.

Dentro de la cantidad y calidad de luz implementada hoy en los proyectos desarrollados en la ciudad bajo el reglamento, el objetivo establecido en el alumbrado público se enfoca en permitir el uso de los andenes y calzadas en las horas de la noche por los usuarios de una manera cómoda y segura. Los parámetros de seguridad se alcanzan cuando el alumbrado permite que las velocidades mínimas seguras reglamentarias de la ciudad se cumplan evitando cualquier obstáculo. Los niveles de iluminación pública deben procurar que un piloto vea con claridad y suficiente tiempo las aceras, los bordes, señalizaciones, intersecciones, separadores y en modo general tener una visión global de la vía.

Retilap indica que la seguridad de un peatón se logra si la iluminación le permite distinguir un obstáculo móvil o fijo construido por una superficie de (0,20 m X 0,20 m) por un factor de reflexión de 0,15 con la premisa de que la iluminación es apropiada si este puede distinguirla a una distancia de 10 metros o más. Por otra parte, los automovilistas a una velocidad de 60 km/h deben ser capaces de percatarse del mismo obstáculo entre los 100 y 200 metros. Como se puede inferir la seguridad varía dependiendo del lugar donde se encuentre la persona, es decir, la noción de seguridad en carreteras es diferente a la de los cascos urbanos. Para un automovilista en carreter lo más importante se concentra en conocer de manera perfecta el trazado de la vía o tener una guía visual correcta²⁹. *El conductor verá los obstáculos como siluetas, pues generalmente el contraste resulta negativo.* Por el contrario, en los cascos urbanos los automovilistas se

²⁹ Ibíd.

enfrentan a circulaciones más densas haciendo que los obstáculos sean más frecuentes aunque las velocidades frente a las de carreteras son mucho más lentas. Por lo tanto, la densidad vehicular, la naturaleza y la velocidad de circulación juegan un papel muy importante en el diseño del alumbrado público, pues en cualquier caso se deben evitar deslumbramientos y riegos de error, bien sea en carreteras o pasos peatonales las exigencias se ajustaran para evitar cualquier riesgo.

Todo esto debe conducir a una guía calculada de visibilidad en las que están comprometidas, además de los dos parámetros anteriormente mencionados, la confiabilidad de la percepción y la comodidad visual. Los objetos solo pueden ser percibidos cuando cuentan con un contraste superior al mínimo requerido por el ojo. Además de proporcionar un nivel elevado de luminancia en el fondo y un bajo nivel de luminancia para el obstáculo³⁰; la percepción se ve comprometida igualmente y de manera directa, con mayores niveles de deslumbramiento fisiológico.

Por último, la comodidad visual de un conductor se encuentra constituida por dos factores importantes que son: la visión de la calzada al frente del volante y su visión periférica de la misma. La falta de comodidad en cualquiera de ellas se traducirá en cansancio en sus ojos, factor ligado en la seguridad del tráfico vehicular. Es por esto que se debe velar por brindarles a los conductores el grado de comodidad requerida para que sus ojos se adapten rápidamente a los cambios de iluminación a lo largo de las vías. Como ejemplo se podría mencionar uno de los efectos más comunes llamado el *Efecto Cebra* que es un valor bajo de iluminación uniforme longitudinal. Una instalación de iluminación debe tener como fin asegurar una continuidad lumínica sobre las vías.

³⁰ Si se desea más información al respecto se puede consultar el documento completo: Resolución No. 180540 de Marzo 30 de 2010 sección 500 requisitos generales de diseño de alumbrado público.

1.1.3 Sistema de encendido / apagado y regulación del nivel luminoso En Bucaramanga el encendido y apagado de las luminarias del alumbrado público se realiza mediante el uso de fotocontroladores, cuya función en principio es encender y apagar de forma automática el alumbrado público en función de la cantidad de nivel luminoso. Los tipos más utilizados son los de tipo electromagnético y electrónico. Dichos elementos de control se encuentran regulados por el Retilap, en su sección *370 Fotocontroles para Alumbrado Público*³¹, las cuales son adaptaciones de normas como la ANSI C136-10 y la NTC 2470.

Con la entrada en vigencia del Retilap en el país, los proyectos de iluminación se han transformado desde su origen, pues antes de realizar un proyecto de iluminación es necesario estar al tanto de la arquitectura del espacio a iluminar, su distribución física, condiciones ambientales, meteorológicas y de seguridad, pues dependiendo de su entorno es que se deben tomar las decisiones acordes a los requerimientos plasmados en el reglamento.

Cada proyecto de iluminación que se desarrolla en el país debe contar con los requerimientos lumínicos necesarios para que se desarrolle determinada tarea. Los niveles de iluminación varían dependiendo del lugar, por ejemplo, una cancha, un parque, un andén, una vía peatonal o una carretera. Las condiciones visuales deben ser las mejores para quien desarrolla dicha actividad. Igualmente, los proyectos deben considerar el tiempo de permanencia, el tipo de luz y los aportes de otras potenciales fuentes luminosas, el máximo ahorro de energía sin que estos lleguen afectar la calidad de la iluminación. En todo proyecto de alumbrado público se debe contar con un plan de mantenimiento del mismo donde se garantice no solo la vida útil de las luminarias respecto a su flujo luminoso sino además de los niveles permitidos los cuales el Retilap denomina *Flujo Luminoso Mantenido*.

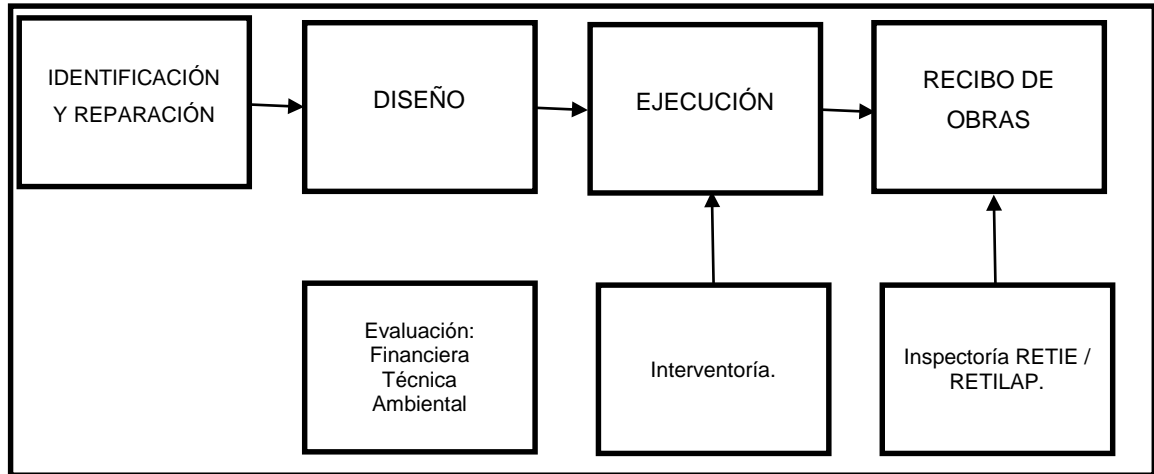
³¹ M. d. M. y E. d. Colombia, Op. Cit.

Los proyectos de alumbrado público deben asegurarse de elegir luminarias y fuentes luminosas teniendo en cuenta los siguientes parámetros: la eficacia lumínica, reproducción cromática, características fotométricas, flujo luminoso, temperatura del color de la fuente, duración y vida útil de la fuente, tipo y características de la luminaria todo esto acorde a los lineamientos del Retilap³². Todos estos criterios deben ser suministrados por los fabricantes y/o comercializadores. En general, todos los productos destinados a la iluminación deben ceñirse a los lineamientos de la sección 300 del reglamento técnico, además de complementarla con informaciones en los catálogos, fichas técnicas o placas de las luminarias, ya que dicha información es requerida en las memorias de cálculo del diseñador.

Los sistemas de alumbrado público deben cumplir 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. A continuación, la Figura 1 indica el proceso al momento de ejecutar proyectos de iluminación en Colombia.

³² Ibíd.

Figura 1. Etapas de un proyecto de Alumbrado Público.



Fuente: M. d. M. y E. d. Colombia, «Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público,» Bogotá, 2010.

Además, promoviendo lo establecido en la Ley 697 de 2001 de Uso Racional y Eficiente de la energía (URE), en Colombia todas las instalaciones de alumbrado público deben someterse a los acuerdos del Retilap, expedido por el Ministerio de Minas y Energía – MME.

1.2 ANTECEDENTES DEL SISTEMA DE ALUMBRADO EN BUCARAMANGA

El sistema de alumbrado público en la mayoría de las ciudades tiene un consumo de energía eléctrica considerablemente alto³³. Además de la deficiencia y la obsolescencia del sistema respecto a un control automatizado y eficaz en el mantenimiento general, se encuentra también la falta de eficiencia de las luminarias. Por ello, es importante asignar recursos al uso de tecnologías que se encuentran disponibles en la actualidad, que son confiables, económicas y más seguras que las actuales³⁴. La optimización, el ahorro de energía y el buen

³³ SCHRÉDER Op. Cit.

³⁴ En la actualidad el alumbrado público usa luminarias con compuestos de Sodio, Mercurio, halogenuros metálicos.

funcionamiento del sistema se pueden implementar satisfactoriamente con proyectos telegestionados³⁵.

El sistema de telegestión en lámparas led de alumbrado público ayuda a reducir los costos de mantenimiento, el consumo de energía y los residuos tóxicos de las bombillas, por ende disminuiría la contaminación ambiental. Factores como la vida útil de las bombillas han cobrado importancia, así como la emisión del calor y la eficiencia lumínica (lúmenes/Watts)³⁶. A nivel mundial este sistema de telegestión evoluciona muy rápidamente y son muchas las exigencias ambientales y económicas que contribuyen para el cuidado del planeta. En el mundo, especialmente en Europa, se destina una buena parte de los recursos económicos y sociales a la investigación de soluciones a esta problemática³⁷.

En los años 90, se dio a conocer el primer sistema de telegestión de alumbrado público *off-line* para controlar el encendido y apagado de las luminarias; a mediados de esa década ya la telegestión era más compacta e inteligente, los controles se operaban desde un sistema por medio de computadores. Para finales de los 90, con más actualizaciones y más investigación se construyeron los sistemas de telegestión integrales con mayor facilidad de instalación, ahorro de consumo energético, seguridad y confiabilidad³⁸.

En la actualidad, los sistemas de alumbrado público son integralmente constituidos, es decir, no solo son más eficientes por el uso de tecnologías de menor consumo energético, sino que además se apoyan en los avances de los sistemas de telecomunicaciones los cuales le brindan mayor solidez a los sistemas telegestionados. Conforme los avances tecnológicos fueron dando frutos,

³⁵ J. LIU, «Street lamp control system based on power carrier wave,» de Int. Symp. Intell. Inf. Technol. Appl. Workshops, Dec. 21–22, 2008.

³⁶ D. R., NUTTALL «Design of a LED Street Lighting System Power,» de 4th IET Conference, 2008.

³⁷ J. y O. ACEVEDO, «Marco Teórico de la Telegestión del Servicio de Alumbrado Público/Fundamentals in Telemangement of Public Lighting Service,» 2010.

³⁸ D. SCHREUDER y SPRINGER, «Outdoor Lighting: Physics, Vision and Perception,» 2008.

fue posible dar una solución muy eficiente e importante a la prestación del servicio de alumbrado público y mejoraron muchos aspectos: ambientales, financieros, técnicos, administrativos y tecnológicos. A partir de la investigación se logró obtener un fuerte impacto en la modernización del sistema y se ha logrado llevar por un buen camino para alcanzar estos objetivos³⁹.

La implementación de este tipo de proyectos se ha venido ejecutando en países desarrollados con infraestructuras excelentes, por el alto costo económico que se requiere para su ejecución, pues los niveles de luminosidad deben adaptarse a las condiciones meteorológicas como la lluvia, la tempestad, niebla, entre otros. Mientras que estos sistemas se enfocan en un buen funcionamiento, su adaptabilidad en países en vía de desarrollo no será fácil pues se requiere contar con capital para desarrollar estos nuevos modelos tecnológicos. Sin embargo, en algunas ciudades de América Latina se ha apostado a proyectos pequeños (parques o avenidas), entregando muy buenos resultados para la sociedad⁴⁰.

ENDESA a nivel mundial es una empresa que ha evolucionado constantemente y satisfactoriamente en miras del progreso sistemático tecnológico e investigativo. ENDESA ha implementado el sistema de telegestión en España en parques con un 30% de efectividad con contadores tradicionales, y es la primera distribuidora europea que cuenta con un plan en marcha de esta magnitud. Este plan de telegestión desarrollado en España por ENDESA se basa en una tecnología desarrollada con éxito por ENEL, una empresa de Italia muy prestigiosa y que trabaja de la mano con ENDESA sobre este sistema. El sistema de telegestión desarrollado por ENEL y ENDESA es la base de desarrollo en la creación de las llamadas ciudades inteligentes *Smartcity* Málaga, *Smartcity* Barcelona, *Cidade*

³⁹ *Ibíd.*

⁴⁰ J. y O. ACEVEDO Op. Cit.

Inteligente Búzios (Brasil) o *Smartcity* Santiago (Chile), que son las primeras experiencias realizadas con éxito en América Latina⁴¹.

Colombia, que afortunadamente cuenta con una infraestructura energética confiable, ha invertido en algunas de las ciudades el servicio de telegestión a cortas distancias. La idea es avanzar con un sistema integral que sea autónomo y confiable, que reduzca considerablemente el consumo energético, el costo del mantenimiento y el impacto ambiental, y que ayude a prolongar la vida útil de los elementos y equipos⁴². Un ejemplo claro de lo anterior se presenta en Medellín, que a pesar de las mejoras tecnológicas al sistema, se siguen realizando visitas permanentes a aquellos lugares donde se ubican los puntos luminosos o luminarias como inspección visual para su mantenimiento.

Lo anteriormente mencionado genera más costos en operación y mantenimiento de las infraestructuras antiguas, viéndose perjudicada la empresa electrificadora, razón por la cual EPM E.S.P (Empresas Públicas de Medellín) en convenio con la Universidad de San Buenaventura desarrollaron un estudio de mercado en miras a realizar un proyecto piloto de telegestión en un tramo de una de las vías principales de la ciudad de Medellín, con el propósito de sistematizar y controlar en forma remota y centralizada las luminarias del alumbrado público, y con ello extenderlo a los municipios del área metropolitana.

En la actualidad no existe un sistema de telegestión integrado en Bucaramanga. Hasta ahora apenas se han implementado sistemas telegestionados en parques y tramos de avenidas donde las distancias del alumbrado público son cortas^{43 44}.

⁴¹ P. RONCANCIO, «Impacto del Alumbrado Público con LEDs en la Red de Distribución,» Bogota, 2011.

⁴² J. PINTO Op. Cit.

⁴³ El municipio de Bucaramanga cuenta en la actualidad con cinco proyectos de Alumbrado Público Telegestionado y uno más que se está desarrollando y cuya fecha de finalización se espera para Marzo de 2016. Información de la oficina de Alumbrado Público de Bucaramanga.

⁴⁴ L. ASSAF Op. Cit.

Para este año se esperan algunos proyectos por ejecutar que vinculan la telegestión con sistemas renovables e inteligentes de alumbrado público⁴⁵.

⁴⁵ ALUMBRADO PÚBLICO DE BUCARAMANGA Op. Cit.

2. SITUACIÓN DE LA TELEGESTIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN BUCARAMANGA

En este capítulo se expondrá la temática relacionada con el marco regulatorio, mantenimiento y distribución del alumbrado público y el proyecto piloto.

2.1 MARCO REGULATORIO NACIONAL Y MUNICIPAL PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO

El Decreto 0095 de 2001 crea la secretaría de alumbrado de la ciudad de Bucaramanga. En sus artículos se establece que es una dependencia de la Secretaría de Infraestructura Municipal, la cual deberá contar con el capital humano y los recursos necesarios para desarrollar satisfactoriamente sus funciones. Dentro de las funciones propias de dicho grupo se encuentran preparar un plan de contingencia por un término de sesenta días para el manejo del alumbrado público, atender y tramitar las reclamaciones, quejas o reclamos que por la prestación del servicio de alumbrado público, deben ser atendidas en forma directa por el municipio. Además, coordinar las actividades de adquisición y suministro de elementos o materiales necesarios para ejecutar las reposiciones y mantenimiento del sistema.

Al decreto anteriormente mencionado se complementa con el decreto 2424 de Julio de 2006 del Ministerio de Minas y Energía, por el cual se regula la prestación del servicio de alumbrado público, en su artículo segundo establece los límites y define lo que es el alumbrado público, así:

ARTÍCULO SEGUNDO. Definición Servicio de Alumbrado Público Es el servicio público no domiciliario que se presta con el objeto de proporcionar exclusivamente la iluminación de los bienes de uso público y demás espacios de libre circulación con tránsito vehicular o peatonal, dentro del perímetro urbano y rural de un Municipio o Distrito. El servicio de alumbrado público comprende las actividades de suministro de energía al sistema de Alumbrado Público, la administración, la operación, el mantenimiento, la modernización, la reposición y la expansión del sistema de alumbrado público.

Parágrafo: La iluminación de las zonas comunes en las unidades inmobiliarias cerradas o en los edificios o conjuntos residenciales, comerciales o mixtos, sometidos al régimen de propiedad respectivo, no hace parte del servicio de alumbrado público y estará a cargo de la copropiedad o propiedad horizontal. También se excluyen del servicio de Alumbrado Público la iluminación de carreteras que no estén a cargo del Municipio o Distrito.

Queda claro entonces que el alumbrado público incluye todos aquellos transformadores, redes y luminarias que no forman parte del sistema de distribución, y que dicho servicio puede ser prestado directamente por el municipio o a través de empresas de servicios públicos domiciliarios u otros prestadores del servicio de alumbrado público.

Para contextualizar se requiere conocer la definición de espacio público en el municipio de Bucaramanga, por ello, en el Acuerdo Municipal 078 de 2008 que adopta el Plan de Ordenamiento Territorial – (POT) de Bucaramanga. En el artículo 50 del Acuerdo 078 del 2008 el espacio público es la división integral de la calidad del ambiente del municipio de Bucaramanga, el cual comprende las montañas y laderas del oriente, sus ríos y los parques en los cuales se manifiesta el desarrollo social y lo cultural así como las actividades propias de cada sector.

Los artículos 51 a 56 establecen todo aquello que integra el sistema general de espacio público, sus elementos constitutivos, elementos complementarios, etc.

Todos los conceptos técnicos vienen de la sección 120.1 del Retilap. En el Anexo 1 se muestran algunos de los decretos o resoluciones relacionadas con el alumbrado público. El alumbrado público es un servicio no domiciliario con el que se proporciona iluminación a espacios públicos y de circulación, de tránsito vehicular o peatonal, esto hace parte de un sistema integrado de gestión del servicio el cual está certificado por el ICONTEC, bajo las normas ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 y OSHAS 18001:2007, con el propósito de garantizar a la comunidad la satisfacción mediante la prestación eficiente e ininterrumpida de este servicio, optimizando recursos y mejorando continuamente los procesos, apoyados con personal calificado y la aplicación de tecnologías de punta. Todo esto se enfoca a actividades de prevenir y mitigar la contaminación del medio ambiente y a garantizar la seguridad y prevención de lesiones y enfermedades del personal, identificando y valorando los riesgos e impactos ambientales, cumpliendo con los requisitos legales aplicables⁴⁶.

En Bucaramanga no es la Electrificadora de Santander ESSA S.A la encargada de prestar el servicio de alumbrado público. Su función es la de cobrar el impuesto de alumbrado público con las tasas o valores que se definen en el concejo municipal, facilitando el recaudo del dinero, para posteriormente ser entregado a la alcaldía. Dicho impuesto equivale a un porcentaje sobre el consumo de la energía eléctrica domiciliaria; el sector residencial debe cancelar el 10 % sin importar el estrato socioeconómico, el sector comercial debe cancelar el 15 % y el sector Industrial el 5 %⁴⁷.

⁴⁶ Ibíd.

⁴⁷ Ibíd.

Las Leyes 97 de 1913 y 84 de 1915 crearon el impuesto de alumbrado público, destinado a cubrir los costos de la prestación del servicio de alumbrado público. Dicho impuesto tiene como objetivo financiar el valor del consumo de energía, el mantenimiento de las luminarias que se encuentran instaladas las cuales suman un aproximado de 42000 luminarias en Bucaramanga, y tener los recursos para las expansiones o modernizaciones⁴⁸ del servicio en nuevas comunidades o proyectos del municipio.

2.2 MANTENIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO DE BUCARAMANGA

Los consejos municipales facultados por el artículo 117 de la Ley 136 de 1994 pueden definir mediante acuerdos la división del territorio. De esta manera Bucaramanga se encuentra dividida en 17 comunas y tres corregimientos, los cuales usan el alumbrado público no solo con funciones netamente de iluminar los senderos, parques y avenidas, sino también como una herramienta estratégica en la seguridad de cada uno de los barrios que conforman las comunas de Bucaramanga⁴⁹.

En la ciudad de Bucaramanga existen hoy cerca de 12 sectores⁵⁰ donde los hurtos a personas, establecimientos comerciales y bancos han hecho que la calidad de vida de estos disminuya considerablemente. Adicional a estas zonas se encuentran los parques y zonas de poca o nula iluminación nocturna. Es por ello

⁴⁸ Es el cambio tecnológico de las luminarias por otros más eficientes. Para la modernización del Sistema de Alumbrado Público deben tenerse en cuenta los conceptos de uso racional y eficiente de energía establecidos en el numeral 210.3.3 del RETILAP y aquellos contenidos en la Ley 697 de 2001.

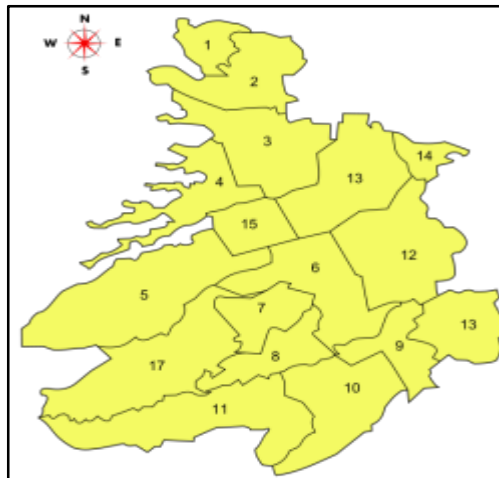
⁴⁹ ALUMBRADO PÚBLICO DE BUCARAMANGA Op. Cit.

⁵⁰ Documento completo VANGUARDIA Santander quiere el título sénior del fútbol [en línea] disponible en: <http://www.vanguardia.com/santander/bucaramanga/28792>.

que el alumbrado público cumple una función en la sensación de seguridad y disminución de estos eventos en la ciudad.

Como se mencionó anteriormente el municipio de Bucaramanga se encuentra dividido en comunas como se puede apreciar en la Ilustración 2. Dicha división ayuda también al control del alumbrado público en su mantenimiento. Según datos de los periódicos locales existen zonas de alta peligrosidad en las noches; la zona Norte, el Centro, parques, Cabecera del llano, el Tejar⁵¹ son las zonas más afectadas por la inseguridad. Adicionalmente, los comunicados de la policía metropolitana de Bucaramanga recomiendan no permanecer, ni transitar por lugares carentes de iluminación pública particularmente a altas horas de la noche, pues los malhechores utilizan la oscuridad para realizar sus ilícitos.

Figura 2. Distribución del alumbrado público en Bucaramanga



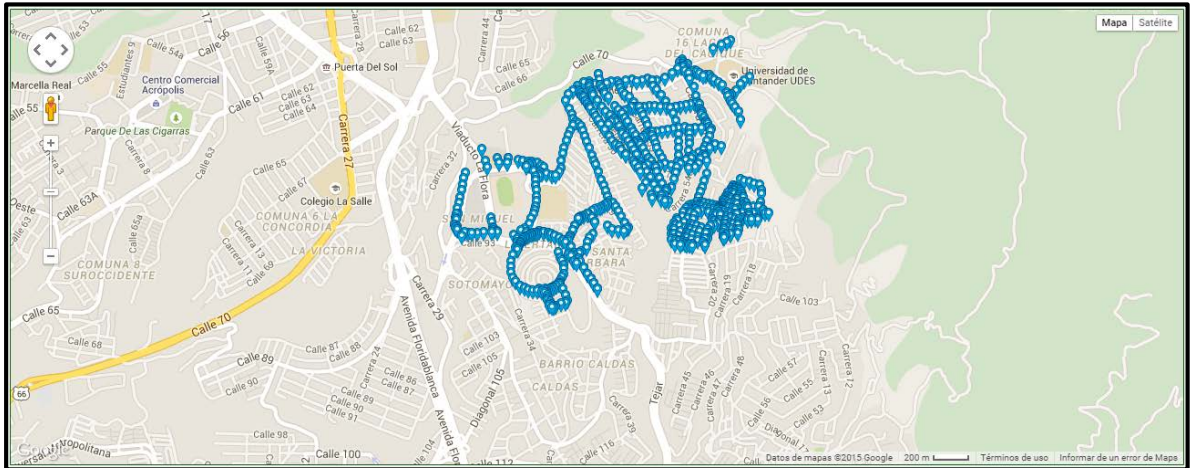
Fuente: ALUMBRADO PÚBLICO DE BUCARAMANGA. Institucional [En línea] disponible en: <http://alumbrado.bucaramanga.gov.co/institucional>, [citado el 22/04/2015]

La Ilustración 3 corresponde a la comuna 16 - El Tejar, donde se puede apreciar la distribución de las luminarias, el control que se tiene sobre ellas y su localización

⁵¹ VANGUARDIA [en línea] disponible en: <http://Vanguardialiberal/Bucaramanga/Mar2014>.

puntual en el plano⁵², las demás comunas pueden ser consultadas en la página de la secretaria de alumbrado público.

Figura 3. Comuna 13, El Tejar.



Fuente: ALUMBRADO PÚBLICO DE BUCARAMANGA. Institucional [En línea] disponible en: <http://alumbrado.bucaramanga.gov.co/institucional>, [citado el 22/04/2015]

En Bucaramanga el alumbrado público utiliza aun sistemas de mantenimiento correctivo. Las fallas en las luminarias de los diferentes sectores o comunas del municipio se informan a través de líneas telefónicas o mediante el sitio web de alumbrado público de Bucaramanga en la sección de atención al ciudadano [15]. Adicional a esto, se envían cuadrillas en las noches y en la mañana temprano con el fin de corroborar dicha información, para de esta manera organizar el trabajo del día. Aun con esto, se puede tardar semanas en arreglar un daño, pues el personal es reducido y el número de luminarias es muy alto (cerca de 42000) en toda la ciudad.

⁵² ALUMBRADO PÚBLICO DE BUCARAMANGA Op. Cit.

2.3 PROYECTO PILOTO

La alcaldía de Bucaramanga mediante su secretaría de infraestructura y alumbrado público han gestionado algunos proyectos en la ciudad como el caso de la cancha recreativa de Cristo Rey o la Transversal oriental a cargo de la empresa OWLET, con el fin de conocer las capacidades de las nuevas tecnologías su desempeño y funcionalidad dentro de la ciudad. Es así que el mejoramiento de los niveles de iluminación, modernización y repotenciación del sistema de alumbrado público a tecnología led, complementado con sistema de telegestión en la transversal oriental del municipio de Bucaramanga, es un proyecto piloto que cabe dentro de esta iniciativa municipal.

El siguiente es un ejemplo piloto de Sistemas de telegestión en la transversal oriental del municipio de Bucaramanga. El eje vial de la Carrera 33 desde la calle 56 hasta la Carrera 27 con calle 67, Carrera 33 conucos - viaducto la flora-calle 93 hasta entrada diamante II, Calle 93 frente estadio la flora circunvalar del tejarr-hasta primer semáforo frente conjunto tajamar, tenía alumbrado público en HID Sodio 250 W sobre postes metálicos de 11 m de altura libre, en su gran mayoría las redes estaban aéreas porque la tubería existente está tapada o había sido hurtada, las cajas que existían no tenían tapas siendo en esos momentos focos de basura y representando un peligro para los peatones. Los postes en su gran mayoría estaban en mal estado (oxidados y desaplomados) fueron instalados hace aproximadamente 20 años cuando no existía normatividad o reglamento técnico alguno sobre la calidad de los materiales; en sectores de la transversal oriental desde el estadio la flora hacia tajamar la iluminación era muy deficiente debido a la arborización existente del sector.

Actualmente, se retiraron el total de los equipos existentes de iluminación, los cuales fueron desmontados, desarmados y entregados en las bodegas de alumbrado público de Bucaramanga, incluyendo redes, postes luminarias y equipo

de control, medida y protección. Para ser instalados a su vez tres transformadores trifásicos tipo *paud mountain* de 30 y 45 KVA, respectivamente, a 13200/380-220 V, alojados en bóveda resistente al fuego para subestación eléctrica, con puerta cortafuegos, juego de dampers, tapones cortafuegos, señalización y demás accesorios. La alimentación en media tensión se realizará en Cable XLPE Cu 3No.2 instalado subterráneamente a través de ducto PVC de 3" con caja de inspección de media tensión, de acuerdo a las normas ESSA, con cruceta de protección en el punto de arranque.

La acometida general de baja tensión, se realizó con cable antifraude Cu 3 x 4+ 1x 6 THW + 1X8 THW, a través de ducteria PVC 2" hasta el módulo de medida, protección y control. Esta acometida incluyó la construcción de un módulo de medida, protección y control, el cual aloja un medidor electrónico con telemedida, elementos de protección y control de los circuitos que conforman las redes de alumbrado público.

En cumplimiento de la Resolución CREG 123 de 2011, que indica que todo proyecto nuevo de alumbrado público debe contar con equipo de medida, y teniendo en cuenta el proyecto de telegestión que está llevando a cabo alumbrado público del municipio de Bucaramanga, se cuenta hoy con un medidor electrónico trifásico de medida directa WM-053F CI 1.0 Activa- CI 2.0 Reactiva 3 x 380 V 5(100) A con puerto de comunicación RS-485, con su Kit de telemedida y telegestión WM, que incluye el Modem WM, Concentrador WM, Control manual WM, Sensor de apertura de gabinete, fuente de alimentación WM, cableado potencia y datos.

Los anteriores elementos se alojan en un gabinete metálico que está localizado dentro del parque, al lado del poste donde se instaló el transformador. De este gabinete de control y medida salen los circuitos eléctricos para alimentar el corredor vial, el cual contiene las protecciones y control de cada uno de los

circuitos. El diseño final de este eje vial, resultó del desarrollo del Contrato de Consultoría No 199 De 2013 “*Consultoría para realizar diseños eléctricos y fotométricos, los cuales darán origen a proyectos de expansión y modernización del alumbrado público en el municipio de Bucaramanga*, donde se cursó invitación a presentar diseño fotométrico a las firmas SCHREDER COLOMBIA S.A, ROY ALPHA S.A., CELSA S.A. y GENERAL ELECTRIC de acuerdo a los parámetros establecidos en la Sección 520 del Retilap.

El Diseño Fotométrico de SCHREDER COLOMBIA S.A. fue elegido ya que cumple con las especificaciones técnicas y de menor valor al CAUE con un horizonte de 30 años, para la iluminación de las vías perimetrales se utilizaron luminarias *Teceo 2* con fotometría 5102 y 5103 de 88 y 120 Leds a 700 mA, de las marcas Schreder Colombia S.A., instaladas sobre postes metálicos galvanizados de 8 m y 10 m de altura libre.

Este, así como todos los proyectos ejecutados y en ejecución en Bucaramanga, cuentan con la tecnología OWLET y su fiable comunicación por radiofrecuencia Zigbee, apagando, encendiendo y actuando sobre el flujo de la lámpara además de detectar los posibles fallos del sistema. Los OLC son balastos independientes, que controlan a los equipos tradicionales como los electromagnéticos, y los de doble nivel, además de poder controlar también los equipos electrónicos y los controladores de equipos Led con interfaces de estándares 1-10 V o DALI. Cada salida es capaz de controlar una carga de 1000 W de potencia con 230 V. El controlador de segmento se instaló sobre una caja tipo intemperie localizada sobre uno de los postes de alumbrado público⁵³. Los postes, luminarias y demás elementos utilizados para la ejecución del proyecto cumplen con las especificaciones de calidad plantadas en las normas Retilap⁵⁴.

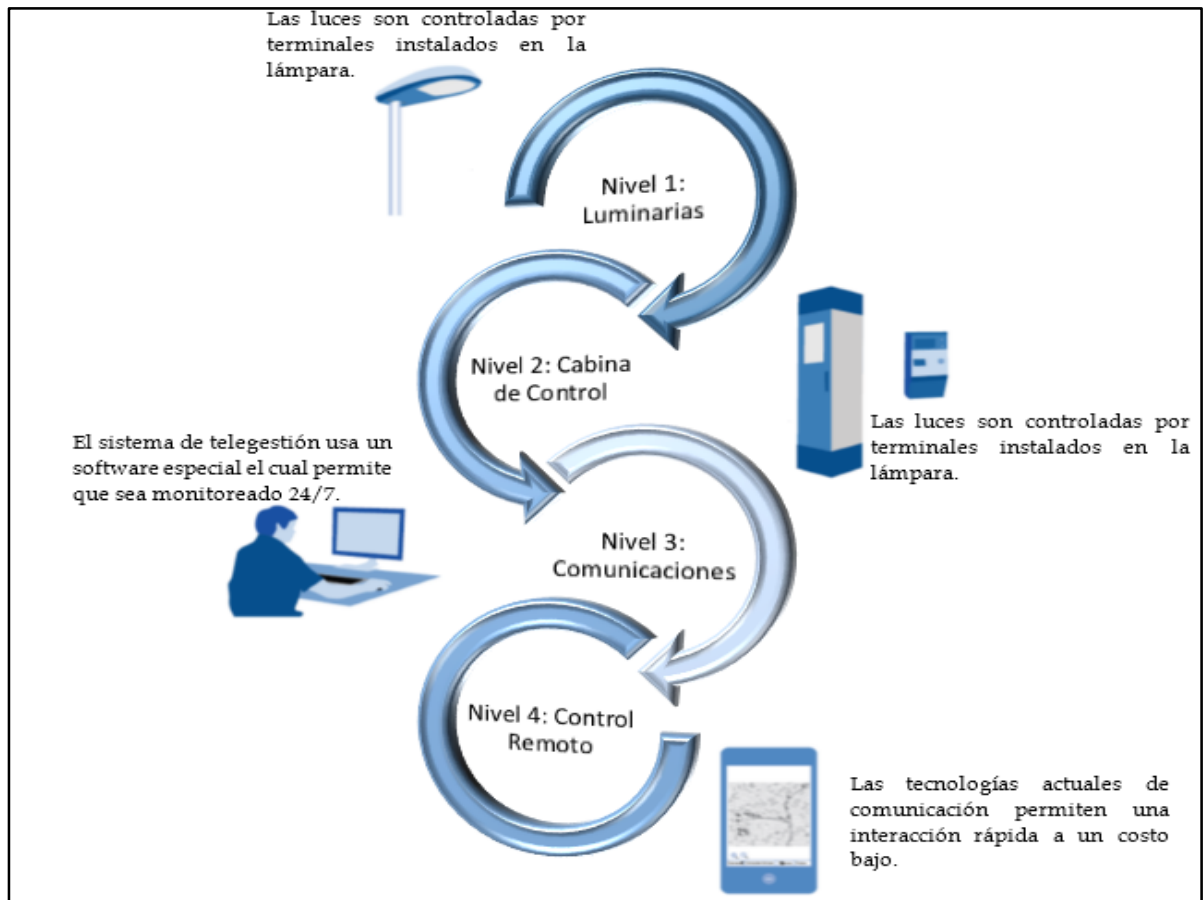
⁵³ S. D. Infraestructura Bucaramanga Op. Cit.

⁵⁴ ALUMBRADO PÚBLICO DE BUCARAMANGA Op. Cit.

3. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE TELEGESTIÓN

El sistema de alumbrado público es un sistema modular que puede ser agrupado en cuatro niveles como se presentan en la Ilustración 4, los cuales serán explicados en este capítulo^{55 56 57 58}.

Figura 4. Niveles de un proyecto Telegestionado



Fuente: ARELSA, «Street Lighting,» Telemangement and Energy Saving, Barcelona, 2014.

⁵⁵ Ibíd.

⁵⁶ S. D. INFRAESTRUCTURA BUCARAMANGA Op. Cit.

⁵⁷ J. y O. ACEVEDO Op. Cit.

⁵⁸ ARELSA Op. Cit.

3.1 NIVEL 1: LUMINARIAS

El control individualizado de cada punto brinda información importante sobre el estado de operatividad y número de fallas de cada una, para la gestión del mantenimiento, por tanto asegura un mejor servicio y brinda mayor seguridad del alumbrado. El elemento que controla el funcionamiento de la luminaria debe ser altamente fiable y no puede generar información confusa o con errores. El controlador es entonces dispuesto dentro de la luminaria, haciendo más sencilla su identificación, vigilancia y control de manera individual.

El individualizar correctamente la falla presente en cada luminaria facilita no solo el control sino también el aprovechamiento hasta el límite de vida de cada uno de los componentes, ayudando a la conservación del medio ambiente al producir menos residuos y mejorando así la calidad de vida⁵⁹. El sistema de control del punto de luz requiere:

- Un detector de luz en cada luminaria que suministre información de su funcionamiento.
- Un módem para el intercambio de información a través de la conexión inalámbrica o una conexión local.
- Un equipo de comunicación que permita el intercambio de información entre las luminarias y los operadores del sistema.
- Una unidad de control que cuente con una memoria y un procesador al cual se le puede ingresar de forma remota o mediante conexión local el tiempo de operación que se desee con los puntos luminosos que tenga asociados.

⁵⁹ S. d. C., Op. Cit.

3.2 NIVEL 2: CABINA DE CONTROL

El segundo nivel se instala en la cabina de control, donde se realiza el control para cada circuito en baja tensión que sale del centro de distribución y compila información de los puntos dispuestos en tal circuito. Permite realizar, en cada circuito de baja tensión, las maniobras necesarias, así como también detectar y estudiar anomalías o fallas. Desde este nivel se envía al próximo nivel la información recibida de cada uno de los puntos existentes al centro de distribución⁶⁰.

Los tableros en el centro de distribución permiten entre otras:

- Registrar las variables eléctricas.
- Controlar las protecciones.
- Optimizar el uso de las fotoceldas.
- Llevar un registro de las acciones realizadas.

3.3 NIVEL 3: COMUNICACIONES

- En este nivel la información de los dos anteriores niveles se concentra en los servidores (*nube*) del software elegido por el usuario. El computador del centro de comunicaciones es el encargado de recibir y procesar toda la información de las luminarias una vez ha sido compilado en las cabinas de control. La eficacia del sistema está sujeta a la ejecución de una serie de actividades que deben ser realizadas por personal especializado como lo son las actualizaciones, la puesta a punto y la compatibilidad con otros sistemas de información de alumbrado público. De igual modo, se debe tener en cuenta también que se deben hacer las revisiones diarias del desempeño del

⁶⁰ J. y O. ACEVEDO Op. Cit.

sistemas, además de estar al corriente con las modificaciones de la instalación, por esto la fluida comunicación es una pieza fundamental en el éxito de sistemas controlados remotamente. Dichos softwares especializados deben ser escogidos dependiendo de las necesidades particulares del proyecto, para tal efecto existen dos clases: libres o propietarios.

Por otra parte, se debe velar porque la información anteriormente mencionada sea concisa puesto que la mayoría de las veces lo que se requiere es una visión global para buscar la solución más eficaz a una situación en particular. Muchos sistemas actuales filtran la información de las unidades enviando al usuario final solo la requerida para la toma de decisiones ya sean operativas o de mantenimiento. La interconexión con los usuarios debe ser sencilla. Los centros de comunicación deben velar porque diferentes usuarios como empresas de mantenimiento o responsables del servicio puedan acceder de manera sencilla, además de brindar información por Internet a través de una página Web para que en cualquier momento y desde cualquier sitio los usuarios puedan interactuar con el sistema permitiendo conocer el estado de los centros de distribución y de las luminarias asociadas a esta.

El mercado actual se encuentra muy bien nutrido de softwares y bases de datos (ver Tabla 1) sobre plataformas de compañías de sistemas operativos destinados a la telegestión del alumbrado público. Los programas deben permitir que el usuario gestione su producto con los demás existentes, dándole la opción al comprador que elija el tipo a usar, sin dependencias asignadas por el sistema^{61 62 63}.

⁶¹ L. ASSAF Op. Cit.

⁶² W. YUE Op. Cit.

⁶³ PELÁEZ Oswaldo, «Intelligent Systems for Street Lighting,» Ecuador, 2014

Tabla 1. Oferta informática para la telegestión del alumbrado público.

PROGRAMAS INFORMÁTICOS PARA LA TELEGESTIÓN	
Software	Owlet de Schreder
	Starsense de Philips
	Scom de Scorpio Elektro
	Minos de Umpi
	Planet de Telensa
	Teleastro de Afeisa
	Urbilux de Arelsa
	Pyramid de SCS
	Ekolum de Ekoplç
Compañías de sistemas operativos	Unix
	Microsoft
	Android
	Apple

3.4 NIVEL 4: CONTROL REMOTO

Para finalizar en el cuarto nivel se encuentra el uso de la telefonía celular tecnología que se está convirtiendo en una fuente muy importante en los sistemas de telegestión al sacar provecho de una gran desventaja que posee el alumbrado público *per se* la cual es que ante eventos como postes caídos por accidentes de tráfico y vandalismo su utilidad es nula, dado que las señales que salen de este hacia la cabina de control desaparecen totalmente. Con la ayuda de la telefonía móvil y el uso de internet, la gestión del sistema es total. Paralelamente funciona como un gran apoyo a las labores diarias de las cuadrillas de mantenimiento, así como también beneficiaría la puntualización de las tareas empleando los mensajes de texto.

Los elementos constitutivos de este nivel cuenta con gran variedad desde los dispositivos móviles o *Smartphones*, tablets, hasta mini computadores, computadores portátiles, etc. En este punto no tiene importancia el dispositivo a utilizar, pues lo que más interesa es su capacidad de conectividad a internet y comodidad de visualización del usuario, tamaños de la pantalla, numero de pixeles, entre otros.

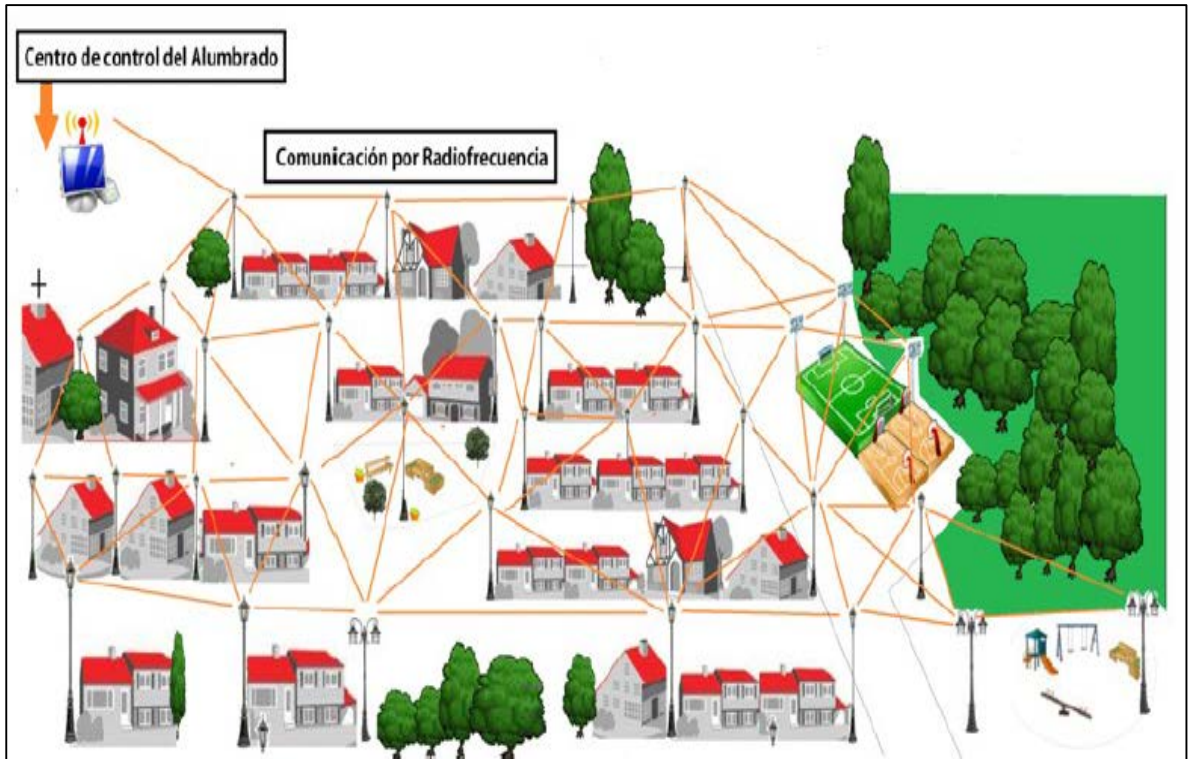
4. ANÁLISIS CUALITATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS MÁS IMPORTANTES EN LOS SISTEMAS DE TELEGESTIÓN

En este capítulo se abarca el tema del análisis cualitativo de las tecnologías disponibles para el uso de los sistemas de telegestión tales como los sistemas de telecomunicación y redes inalámbricas. Luego, se realizarán cuadros comparativos acerca de los parámetros de los diferentes niveles de telegestión, analizando los dispositivos, técnicas de control, sistemas operativos y otros requerimientos de infraestructura aptos y de fácil accesibilidad con el fin de establecer su conveniencia o no de uso.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

En iluminación pública, los sistemas telegestionados son los más indicados para cumplir con las exigencias ambientales y ahorros de energía, ya que gracias a ellos se puede intervenir físicamente el sistema, por ejemplo en el encendido y apagado de las luminarias, los estados de los balastos, capacitores, etc., para así cambiarlos a medida que se requiera, manejándose todas estas operaciones desde una central de control. En la Ilustración 5 se puede apreciar la integración electrónica, los computadores y los sistemas de telecomunicaciones en los cascos urbanos, los cuales pueden ser controlados de manera remota desde un solo punto. Lo anterior permite el ahorro de energía de cada punto, puesto que se puede graduar el nivel luminoso de acuerdo a las necesidades del momento. Además, también de optimizar los tiempos de respuesta al momento de fallas brindando con ello mayor durabilidad en los sistemas.

Figura 5. Sistema mallado de comunicación del alumbrado público.



Fuente: PELÁEZ Oswaldo, «Intelligent Systems for Street Lighting,» Ecuador, 2014

En los sistemas de iluminación telegestionados los niveles se interconectan por medio de los sistemas de telecomunicación, los cuales se encargan de realizar la transmisión de datos entre los puntos lumínicos y el centro de control, en forma bidireccional. Como ya se ha mencionado actualmente se cuentan con diferentes métodos de comunicación que se han venido utilizando, y de acuerdo al tipo, los equipos requeridos variarán. Algunos de estos métodos y equipos son mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2. Métodos y equipos de comunicación en los sistemas de telegestión.

TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN EN TELEGESTIÓN	
Métodos de comunicación	G3
	G4
	GPRS
	Onda portadora
	Wifi
Equipos de comunicación	Celulares
	Módems
	Repetidores
	Terminales de onda portadora

La información proveniente de los diferentes componentes del sistema de alumbrado público es guardada en una base de datos, los cuales son visualizados por los beneficiarios mediante una interfaz gráfica en un software especializado gracias al uso de los diferentes módulos de comunicaciones entre centros de control.

En principio, los módulos de comunicaciones son la base en la interacción eficiente en los sistemas de telegestión, estos constan de uno o varios medios tangibles o intangibles, de los cuales, algunos se muestran en la Tabla 3 ⁶⁴ ⁶⁵.

⁶⁴ M. ALCARAZ, «Comunicaciones en el Entorno Doméstico (domótica) Comparación knxlonworks,» 2011.

⁶⁵ M. d. M. y E. d. Colombia Op. Cit.

Tabla 3. Medios de comunicación entre módulos de sistemas de telegestión.

MEDIOS DE COMUNICACIÓN EN TELEGESTIÓN	
Medios tangibles	Telefonía fija
	Cables de telecomunicaciones
	Fibra óptica
	Telefonía celular
Medios intangibles	Onda portadora
	Vía radio
	Internet

Desde la luminaria en el poste hasta la llegada de los datos al centro de control puede en teoría manejar diferentes medios de comunicación siempre y cuando se cumpla con la compatibilidad de cada uno de los sistemas de comunicación utilizados.

Dentro de las restricciones de los modelos de telecomunicación a la hora de seleccionarlo para algún proyecto en particular, está la de conocer el límite máximo de puntos telecontrolables, las tecnologías más desarrolladas manejan una capacidad de 120 puntos los cuales varían dependiendo de lo libre de obstáculos en los que se encuentren, esto depende de cada sitio en particular, pensando en que si a futuro se realiza una expansión del sistemas, este no se convierta en una limitante al crecimiento, además que supondría un costo adicional importante. Por último, el método que se utilice para la transmisión de datos que se escoja para el sistema de iluminación telegestionado deberá contar con módems independientes a los usados para las telecomunicaciones⁶⁶.

⁶⁶ D. R. NUTTALL Op. Cit.

Figura 6. Sistema PLC



Fuente: V. CARLOS, «El Estándar Inalábrico Zigbee,» Trujillo, Perú, 2007.

4.1.1 Sistemas de comunicación inalámbrica en iluminación telegestionada

La comunicación es importante para un adecuado funcionamiento de los sistemas de telegestión. Estos precisan ser operados bajo cualquier condición; para lo cual se ha venido buscando la implementación de tecnología sofisticada que responda a los requerimientos de uso. Dicha tecnología, combinada con el internet, crea una sólida alternativa de comunicación para la telegestión del alumbrado público municipal, pues no requiere la construcción de un centro de control, ya que toda la información podría estar disponible en cualquier momento a través de un sencillo acceso web en internet.

El uso de los dispositivos móviles también permite la gestión global del sistema a través de internet, brindando además ayuda diaria a las cuadrillas de mantenimiento, ya que facilitan las reparaciones puntuales mediante el uso de la mensajería móvil o por medio de la creación de aplicaciones para los teléfonos inteligentes. Es por esto que, como una alternativa a las comunicaciones, aparecen las redes inalámbricas en malla basadas en el estándar abierto IEEE

802.15.4. Dicho estándar incorpora facilidades en la auto reconfiguración y auto reparación lo cual provee una sólida y confiable red troncal de comunicación⁶⁷.

La adopción de estándares abiertos dentro de dichos sistemas es necesaria para evitar el sometimiento o proveedores con posición dominante. En la Tabla 4, se detalla la información acerca de las redes inalámbricas de malla.

Tabla 4. Redes inalámbricas de red mallada

REDES INALÁMBRICAS EN MALLA	
Características	Basadas en estándar abierto IEEE 802.15.4
	Red sólida y confiable de comunicación
	Incorporación de facilidades en la auto-configuración y auto-reparación
Requisitos	Uso de modelos abiertos, escalables y modulares
Categorías	WPAN (<i>Wireless Personal Area Network</i>): Redes inalámbricas de área personal
	WNAM (<i>Wireless Network of Area Metropolitan</i>): Redes inalámbricas de área metropolitana
	WWAN (<i>Wireless Wide Area Network</i>): Redes inalámbricas de área extensa

Dentro de las redes de malla, se destacan las de tipo WPAN, las cuales son redes inalámbricas usadas en áreas pequeñas pues son de corto alcance. En la Tabla 5 se muestra en detalle sus particularidades más destacadas.

⁶⁷ P. RONCANCIO Op. Cit.

Tabla 5. Redes inalámbricas de red mallada, tipo WPAN.

REDES INALÁMBRICAS EN MALLA TIPO WPAN	
Uso en	Impresoras
	Electrodomésticos
	Dispositivos móviles
	Asistente Personal Digital (Personal Digital Assistant)
	Computadores portátiles
Requisitos	Uso en áreas pequeñas o de corto alcance
Tipos de tecnología	Zigbee
	Bluetooth
	Wifi

La tecnología más usada dentro de las redes inalámbricas de malla tipo WPAN es la IEEE 802.15.4 o tecnología Zigbee, la cual incluye algunas de sus especificaciones en la Tabla 6⁶⁸.

Tabla 6. Especificaciones de la tecnología IEEE 802.15.4 o Zigbee.

TECNOLOGÍA IEEE 802.15.4 O ZIGBEE	
Uso en áreas	Industriales
	Médicas
	Científicas
Requisitos	Uso de banda internacional reservada ISM (<i>Industrial Scientific and Medical</i>), es decir, en la industria científica y médica
Rangos de radiofrecuencia	Europa: 868 MHZ
	América: 915 MHZ

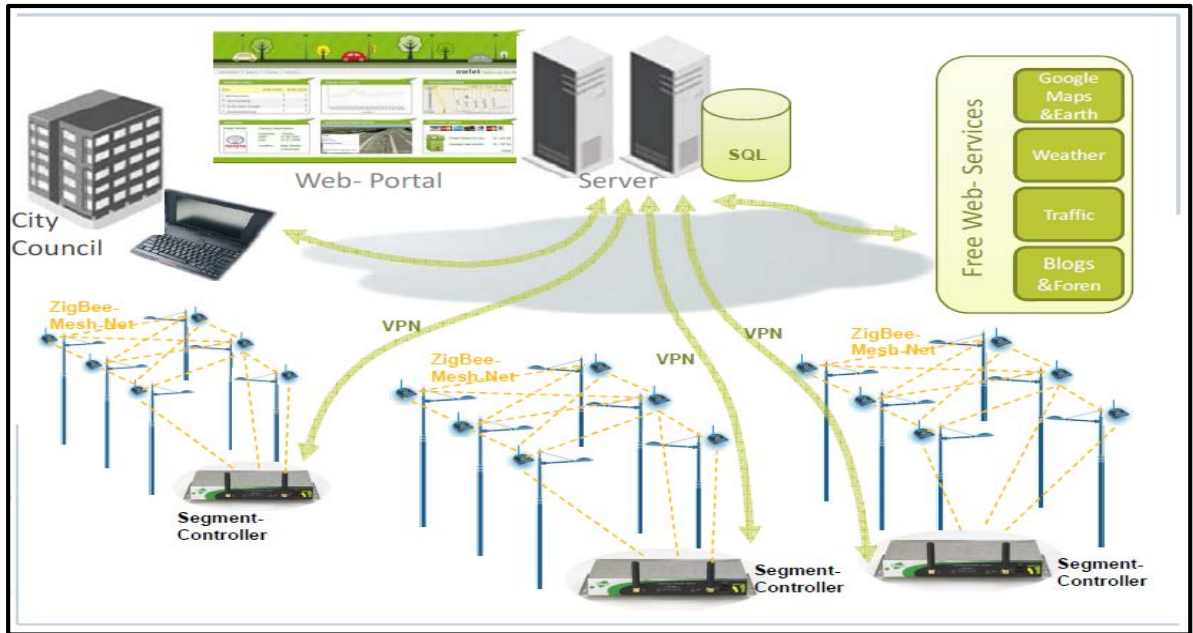
⁶⁸ F. LECCESE, Remote-Control System of High Efficiency and Intelligent Street Lighting Using a ZigBee Network of Devices and Sensors, IEEE transactions on power delivery, january 2013.

TECNOLOGÍA IEEE 802.15.4 O ZIGBEE	
	Resto del mundo: 2400 MHZ = 2,4 GHZ
Ventajas	Bajo costo de implementación, funcionamiento y operación
	Sencillez en la implementación, funcionamiento y operación
	Velocidad de transferencia de datos 10 veces mayor que la de un controlador lógico programable (<i>PLC, Programmable Logic Controller</i>).
	Requerimiento de hardware 10 % menor que el de un nodo Bluetooth
	Velocidad máxima de 250 kb/s o kbps con alcance de hasta 100 m.
	Mínimo requerimiento energético: puede durar en pleno funcionamiento hasta cinco años sin necesidad de recargar baterías [20].
	Fácil reconfiguración de red con garantía de comunicación entre todos sus elementos

La tecnología Zigbee utiliza los servicios gratuitos de internet, además de los mecanismos de seguridad estándar de 128-bit Advance Encryption Standard de cifrado y VPN - *Virtual Private Network*-, que son altamente calificados por su nivel de seguridad. Con el fin de brindar mayor seguridad, el modelo Zigbee se focaliza principalmente en evitar manipulaciones de los datos para así garantizar una alta confiabilidad.

Para ilustrar mejor acerca de la tecnología Zigbee, la cual se destaca en su uso dentro de las redes inalámbricas de mallado tipo WPAN, se muestra un esquema del modelo esquemático del protocolo mencionado, evidenciado en la Ilustración 7.

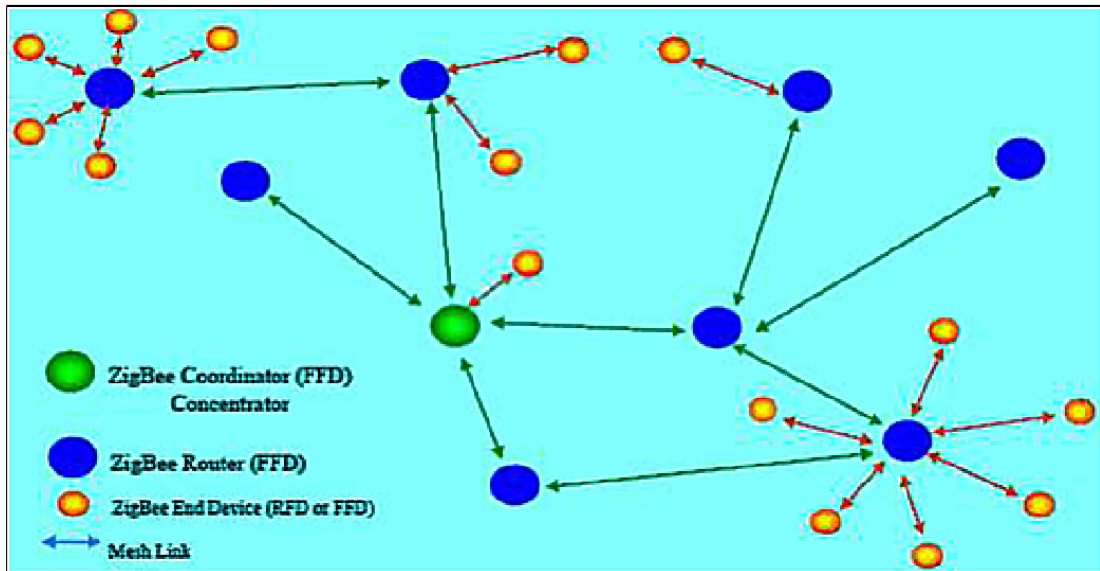
Figura 7. Protocolo Zigbee modelo esquemático



Fuente: PELÁEZ Oswaldo, «Intelligent Systems for Street Lighting,» Ecuador, 2014.

La anterior ilustración muestra de modo esquemático el protocolo Zigbee aplicado a la iluminación pública telegestionada. La Zigbee Alliance es una asociación sin ánimo de lucro formada por más de 340 compañías que llevan a cabo el desarrollo de la tecnología inalámbrica Zigbee. Su misión se enfoca en la adopción internacional de esta tecnología como el principal sistema en los servicios públicos, energéticos y dispositivos domésticos comunes. Dicha asociación se basa en la IEEE 802.15.4.

Figura 8. Smart Grig – Zigbee



Fuente: PELÁEZ Oswaldo, «Intelligent Systems for Street Lighting,» Ecuador, 2014.

Dentro de las muy buenas ventajas que tiene el sistema Zigbee es que al ser redes malladas inteligentes, al momento de una falla o ruptura de un enlace, estas se reconfiguran garantizando de esta manera la comunicación entre todos los elementos (Ver Ilustración 8).

Por otra parte, la tecnología Bluetooth o IEEE 802.15.1 ofrece una velocidad máxima de 1 Mb/s a no más de 30 metros. Por último, la tecnología Wi-fi o IEEE 802.11 cuenta con dos opciones que son IEEE 802.11b que ofrece una velocidad de 11 Mb/s y la IEEE 802.11g que brinda cerca de 60 Mb/s ^{69 70}.

⁶⁹ R. CAPONETTO, «Power consumption reduction in a remote controlled street lighting system,» de Int. Symp. Power Electron, Jun. 11–13, 2008.

⁷⁰ F. LECCESE Op. Cit.

4.1.2 Redes inalámbricas de área metropolitana (WNAM) El estándar IEEE 802.16 o redes inalámbricas de área metropolitana (WNAM), también se conocen como bucle local inalámbrico (WLL, Wireless Local Loop). Sus características más importantes se destacan en la Tabla 7.

Tabla 7. Redes Inalámbricas de Área Metropolitana (WNAM).

REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA METROPOLITANA (WNAM)	
Estandar	IEEE 802.16
Rango de frecuencia de operación	Entre 2 y 66 GHz
Requisitos	Uso en medianas o grandes distancias
Tipo de tecnología destacado	WiMax (<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>)
Alcance máximo	45 km
Velocidad máxima de transferencia	70 Mb/s

4.1.3 Redes inalámbricas de área extensa (WWAN) Sus siglas derivadas del idioma inglés, WWAN, significan (Wireless Wide Area Network) y traducen “*Redes Inalámbricas de Área Extensa*”. Estas son las que poseen mayor alcance dentro de las redes inalámbricas. El uso y las tecnologías principales se resumen en la Tabla 8.

Tabla 8. Tecnologías y uso de las Redes Inalámbricas de Área Extensa (WWAN).

REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA EXTENSA (WWAN)	
Tecnologías	GSM (<i>Global System for Mobile communications</i>)
	GPRS (<i>General Packet Radio Service</i>)
	UMTS (<i>Universal Mobile Telecommunications</i>)

REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA EXTENSA (WWAN)	
	<i>System)</i>
Uso	Todos los teléfonos móviles

4.2 CUADRO COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS MÁS IMPORTANTES

En esta sección se compararán las tecnologías y niveles disponibles para la implementación de la telegestión en el alumbrado público de la ciudad de Bucaramanga.

4.2.1 Comunicaciones entre niveles para la telegestión

Tabla 9. Cuadro de tecnologías y protocolos usados en las comunicaciones entre niveles para la telegestión

TECNOLOGÍA		FORTALEZAS	DEBILIDADES
Onda portadora	Power Line Communications	<ul style="list-style-type: none"> -No requiere cableado adicional. -Frecuencia de trabajo 100 a 400 kHz. -Se apoya con la red de baja Tensión eléctrica urbana. 	<ul style="list-style-type: none"> -Velocidad de transferencia de datos limitada por el ancho de banda. -Requiere de una infraestructura Existente de otra manera se generaría un costo adicional. -Inoperancia en ramales de circuitos diferentes.
	Fibra óptica	<ul style="list-style-type: none"> -Sus velocidades de trabajo son altas en el orden de los GHz. -Eficiente para el comunicar datos, voz, en grandes proporciones. 	<ul style="list-style-type: none"> -Requiere tendido de cable óptico. -Fuerte inversión económica. -Requiere personal especializado para instalarlo y mantenerlo.
Redes inalámbricas	WPAN	<ul style="list-style-type: none"> -No requiere cableado. -Permite el uso del internet en la comunicación. 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilizada para aplicaciones Domésticas. -Alcance solo de algunos metros.
	WNAM	<ul style="list-style-type: none"> -Velocidades de transferencia de datos 1 a 10 Mb/s. 	<ul style="list-style-type: none"> -Seguridad vulnerable. -Fácil interceptación.

TECNOLOGÍA		FORTALEZAS	DEBILIDADES
		-Alcance de 4 a 10 kilómetros.	-Baja potencia, limitante legislativa. -Baja cobertura.
	WWAN	-Tienen el alcance más alto de todas las redes inalámbricas.	-Seguridad vulnerable. -Baja cobertura. -Pérdida de velocidad.
	ZIGBEE	-Utiliza una frecuencia internacionalmente reconocida a 2,4 GHz. -Bajo consumo energético. -Sencillez y bajo costo. -Protocolos de cifrado de 128 bits. -Alcance 15 a 90 metros de distancia. -Propiedad de reconfiguración Automática en caso de falla.	-Seguridad vulnerable. -Baja velocidad.
Radio	G3, G4, GPRS	Velocidad de transferencia hasta 115Kb/s	-Las señales no pasan a través de objetos. -Sujetas a distintos tipos de interferencias.

Fuente: F. LECCESE, Remote-Control System of High Efficiency and Intelligent Street Lighting Using a ZigBee Network of Devices and Sensors, IEEE transactions on power delivery, january 2013.

4.2.2 Luminarias La Tabla 10 tiene como objetivo brindar la comparación de algunas de las características más relevantes de las luminarias más comúnmente utilizadas en el alumbrado público.

Tabla 10 Comparación tecnologías en luminarias para el alumbrado público

PARÁMETROS	VSAP	INDUCCIÓN	LED	OBSERVACIONES
Porcentaje de energía hecha luz (%)	5	5	15	Mayor porcentaje mejor
Costos	BAJO	ALTO	ALTO	Inversión – recuperación de la inversión
Tiempo de encendido (min)	<5	0	0	A menor tiempo menor uso de tensiones altas
Eficiencia (lm/W)	104	80	130	Cantidad de energía convertida en luz Generada por watt de energía consumida, entre más alta mejor.
Consumo de energía	ALTO	ALTO	BAJO	Eficiencia energética
Tiempo de vida (h)	1400	60000	100000	A mayor número de horas menor el número de reemplazos
Temperatura del calor	2100	5000-6500	4100-5500	La luz blanca se encuentra entre los 5000

PARÁMETROS	VSAP	INDUCCIÓN	LED	OBSERVACIONES
				Y 7000 k, lo que sería idóneo
Factor de potencia	>0,90	0,98	>0,96	Más cercano a la unidad menores Pérdidas técnicas.
Color	AMARILLO	BLANCO	BLANCO	confort
Uso de gases en la fuente de luz	SI	SI	NO	Elemento contaminantes

Fuente: SCHRÉDER Colombia, «Iluminación a Demanda & Telegestión,» Fernando Rodríguez, Colombia, 2014

M. d. M. y E. d. Colombia, «Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público,» Bogota, 2010

4.2.3 Centro de control

Tabla 11. Cuadro comparativo centro de control [2].

TECNOLOGÍA	PRO	CONTRAS
Apagado manual	El ahorro es directamente proporcional al número de luminarias apagadas. Aplica para pequeñas instalaciones como canchas.	Perdida de uniformidad lumínica. Disparidad en la vida útil de las luminarias.
Relojes astronómicos	Programación unitaria respecto a los ciclos estacionales donde se ubique el reloj.	Requiere doble circuito uno para encendido y otro para apagado. Requiere un adecuado ajuste de tiempo.
Fotoceldas	Fácil instalación. Bajo costo Control unitario de luminaria	Instalación externa sujeta a variaciones ambientales.
Controladores de lumen o de segmento	Incorpora las funciones de una fotocelda, un reloj astronómico en un solo dispositivo. Trabaja bajo cualquier situación y es capaz de almacenar información en caso de una desconexión temporal con la red de comunicación. Interactúa con las demás luminarias. Genera reportes de estado, calidad y consumo de la	Dependen de la línea de vista con las demás luminarias. Mucha arborización afecta su correcta comunicación.

TECNOLOGÍA	PRO	CONTRAS
	luminaria. Dimerizables. Control de hasta 150 luminarias al tiempo.	

4.2.4 Comunicaciones

Tabla 12. Cuadro comparativo comunicaciones

TECNOLOGÍA	TIPO	OBSERVACIÓN
Libres	UNIX, LINUX	<ul style="list-style-type: none"> - requiere de un desarrollador del software. - poder tardar mucho tiempo en tenerlo a punto. - requiere de una fuerte inversión
Propietario	Owlet de Schreder, Starsense de Philips, Scorm de ScorpioElektro, Minos de Umpi, Planet de Telensa, Teleastro de Afeisa, Urbilux de Arelsa, Pyramid de SCS, Ekolum de Ekopl	<ul style="list-style-type: none"> - algunos de estos no son compatibles con otros sistemas. - fáciles de operar. - cuentan con garantía y soporte técnico.

Fuente: PELÁEZ Oswaldo, «Intelligent Systems for Street Lighting,» Ecuador, 2014

4.2.5 Control Remoto

Tabla 13. Cuadro comparativo control remoto

TECNOLOGÍA	PRO	CONTRAS
Sms, e-mails	-Interacción con los usuarios.	-Información suministrada por los usuarios. -Acceso restringido. -Sujeto a errores humanos. -Tardanza o pérdida de mensajes dependiendo la cantidad de los mismos que sean recibidos en un tiempo determinado.
App software en smartphone	-Posibilidad de corroborar la información con el sistema. -Alimenta dependiendo de la configuración la base de datos del sistema de alumbrado. - Se pueden realizar reconfiguraciones a menos que sea un daño físico (Rotura de leds, etc).	-Sujeto a problemas por falta de internet.

Fuente: J. PINTO, «Proyecto Piloto de telegestión del servicio de Alumbrado Público de la ciudad de Bucaramanga.,» Bogotá, 2010.

5. CONCLUSIONES

Con base en los objetivos planteados para esta monografía se pueden recomendar las opciones tecnológicas presentadas en la Tabla 14 para cada nivel del sistema de telegestión de alumbrado público en la ciudad de Bucaramanga.

Tabla 14. Tecnologías recomendadas para niveles de telegestión.

NIVEL	TECNOLOGÍA RECOMENDADA
1	Se recomienda la iluminación led para alumbrado público como una opción adecuada más no estricta. Esta tecnología presenta alta vida útil, buen rendimiento lumínico y bajo consumo energético.
2	En general, se recomiendan los controladores de lúmenes. Es conveniente tener en cuenta el tipo y lugar de aplicación, pueden existir mejores opciones que esta, en casos puntuales.
3	Se recomienda el software propietario por su confiabilidad y garantía. Cabe acotar que es necesaria la revisión sobre compatibilidad con otros sistemas.
4	Se recomienda la aplicación del software en teléfonos inteligentes, tabletas y otros dispositivos tecnológicos digitales debido a la característica integral del nivel.

Dentro del nivel uno de telegestión, se concluye que se debe tener en cuenta las necesidades de iluminación de cada sitio en particular, pues la led no es necesariamente la primera opción. Aquí nuevamente se debe analizar: para qué se necesita, en dónde y cuántas luminarias se requieren. Esto se debe a que de acuerdo a la investigación, en la ciudad existen zonas de alta peligrosidad y vandalismo.

La opción de alumbrado público acogida por el Municipio en su proyecto piloto es la más vanguardista entre las investigadas. Las iluminaciones led que poseen las unidades *Teseo*, actualmente usadas en los proyectos, brindan reducción en los consumos energéticos y generan menor impacto negativo medioambiental.

El Municipio de Bucaramanga es pionero en el uso y puesta en marcha de sistemas de alumbrado público telegestionados, por su proyecto piloto con cerca de 1200 del total de luminarias actuales utilizando esta tecnología. Como se mencionó en los capítulos anteriores, los proyectos implementados en la capital santandereana cuentan con las luminarias Led Teceo 2, de la marca Schreder Colombia S.A, instaladas sobre postes metálicos galvanizados a lo largo y ancho de las carreras y calles de la ciudad, en conjunto con todos los componentes de OWLET y su telemando a través de las tecnologías de mayor aceptación en el mundo Zigbee, las cuales recopilan de la mejor forma las opciones recomendadas por el autor.

Conforme los desarrollos tecnológicos avanzan, el nivel dos de la telegestión se ve inmerso en un mejoramiento constante. En este nivel se incorporan las mejores opciones tecnológicas usadas para su desarrollo. El Municipio actualmente cuenta con la más aceptada tecnología del mercado en los proyectos de telegestión.

En cuanto al nivel 4, la variedad de modelos de comunicación es amplia, pues todo depende de la elección del proveedor de los equipos. Actualmente, los modelos de comunicación utilizados por el Municipio están al nivel de los más innovadores y eficientes.

Dentro del nivel cuatro de la telegestión se puede concluir que la mejor opción es el uso de aplicaciones en los teléfonos inteligentes. Este nivel va de la mano con los avances en las telecomunicaciones, los cuales brindan hoy una gran variedad

de modelos, con cada vez más opciones, haciendo que no se presenten mayores problemas para su implementación.

Los proyectos de alumbrado público telegestionado son las mejores formas de reducir los consumos energéticos en una ciudad. Sin embargo, se hace necesario su completa y satisfactoria instalación para lograr dicho objetivo, el Municipio cuenta con una buena iniciativa pero es recomendable que se involucren en los proyectos a todos los funcionarios tanto de planta como externos en capacitaciones, con el fin de evitar los errores de construcción en el campo.

El vandalismo es un problema adicional para la implementación del sistema de telegestión en el área urbana de Bucaramanga, con lo que, aparte de las fuertes inversiones gubernamentales para la ejecución del proyecto, se presentarían adicionales, como por ejemplo la integración de las cabinas de control, ya que la mala sincronización actual de este proyecto no ha permitido que los sistemas operen como deberían. Las causas son variadas pero la principal son las incorrectas ubicaciones de estas unidades.

Para la ejecución de proyectos de telegestión se requiere tanto fuerte ayuda económica por parte de diferentes entes territoriales como la concientización de la ciudadanía en el uso correcto, cuidado y aprovechamiento de las instalaciones.

BIBLIOGRAFÍA

ALUMBRADO PÚBLICO DE BUCARAMANGA, Institucional [En línea] disponible en: <http://alumbrado.bucaramanga.gov.co/institucional>, [citado el 22/04/2015]

ARELSA, «Street Lighting,» Telemangement and Energy Saving, Barcelona, 2014.

CIRCUTOR. Soluciones para la gestión del alumbrado público Barcelona: Circutor 2013

COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA, «Iluminación Eficiente en el Alumbrado Público,» Guía Informativa de la Norma Oficial Mexicana NOM 025 2008, 2008.

D. R., NUTTALL «Design of a LED Street Lighting System Power,» de 4th IET Conference, 2008.

D. SCHREUDER y SPRINGER, «Outdoor Lighting: Physics, Vision and Perception,» 2008.

E-STREETLIGHTING, «Un sistema Telegestionado de Alumbrado Exterior Inteligente para el seguimiento, control, medición y diagnóstico del Alumbrado Público,» 2008.

F. LECCESE, Remote-Control System of High Efficiency and Intelligent Street Lighting Using a ZigBee Network of Devices and Sensors, IEEE transactions on power delivery, january 2013.

FUNDACIÓN DE LA ENERGÍA DE LA COMUNIDAD DE MADRID, «Guía de Gestión Energética del Alumbrado Público,» Madrid, 2012.

I. RUESTA, «Sistemas de Iluminación Variada Adaptativa,» Cataluna, 2013.

J. LIU, «Street lamp control system based on power carrier wave,» de Int. Symp. Intell. Inf. Technol. Appl. Workshops, Dec. 21–22, 2008.

J. PINTO, «Proyecto Piloto de telegestión del servicio de Alumbrado Público de la ciudad de Bucaramanga.,» Bogotá, 2010.

J. y O. ACEVEDO, «Marco Teórico de la Telegestión del Servicio de Alumbrado Público/Fundamentals in Telemangement of Public Lighting Service,» 2010.

L. ASSAF, «Iluminación y medio ambiente problemas y soluciones,» San Miguel de Tucuman.

M. ALCARAZ, «Comunicaciones en el Entorno Doméstico (domótica) Comparación knxlonworks,» 2011.

M. D. COSTA, “A high efficiency autonomous street lighting system based on solar energy and LEDs”, de Proc. Power Electron. Conf, Brasil, 2009.

M. d. M. y E. d. Colombia, «Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público,» Bogota, 2010.

P. RONCANCIO, «Impacto del Alumbrado Público con LEDs en la Red de Distribución,» Bogota, 2011.

PELÁEZ Oswaldo, «Intelligent Systems for Street Lighting,» Ecuador, 2014

R. CAPONETTO, «Power consumption reduction in a remote controlled street lighting system,» de Int. Symp. Power Electron, Jun. 11–13, 2008.

S. d. C., «Sistemas de Telegestión de Alumbrado Público Lumidim».

S. D. INFRAESTRUCTURA BUCARAMANGA, «Mejoramiento de los niveles de iluminación y modernización del sistema de alumbrado público a tecnología led, complementado con sistema de telegestión en la transversal Oriental del Municipio de Bucaramanga.,» Secretaría De Infraestructura, Bucaramanga, 2013.

SCHRÉDER Alumbrado Público: Apagado o Iluminación Inteligente? Schröder S.A. 2014

SCHRÉDER COLOMBIA, «Iluminación a Demanda & Telegestión,» Fernando Rodríguez, Colombia, 2014.

V. CARLOS, «El Estándar Inalábrico Zigbee,» Trujillo, Perú, 2007.

VANGUARDIA [en línea] disponible en: disponible en: <http://Vanguardialiberal/Bucaramanga/Mar2014>.

W. YUE, «Design of new intelligent street light control system,» de 8th IEEE Int. Conf. Control Autom, Jun. 9–11, 2010.

ANEXOS

Anexo A. Marco legal sobre alumbrado público.

En este apartado se presenta un compendio legislativo y normativo acerca del alumbrado público en Colombia consistente en leyes, resoluciones y decretos que regulan este servicio a nivel nacional.

DOCUMENTO	TEMA
Ley 80 de 1993	Por la cual se expide el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
Ley 143 de 1994	Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.
Decreto 1524 de 1994	Por el cual se delegan las funciones presidenciales de señalar políticas generales de administración y control de eficiencia en los servicios públicos domiciliarios, y se dictan otras disposiciones.

DOCUMENTO	TEMA
Resolución CREG 043 de 1995	Por la cual se regula de manera general el suministro y el cobro que efectúen las empresas de servicios públicos domiciliarios a municipios por el servicio de energía eléctrica que se destine para alumbrado público.
Resolución CREG 043 de 1996	Por la cual se dictan normas sobre el servicio de Alumbrado Público.
Resolución CREG 089 de 1996	Por la cual se establece el régimen de libertad de tarifas para la venta de energía eléctrica a los municipios y distritos, con destino al servicio Alumbrado Público.
Resolución CREG 076 de 1997	Por medio de la cual se complementan las normas contenidas en las Resoluciones 043 de 1995, 043 y 089 de 1996 sobre el suministro y cobro que efectúen las empresas de energía eléctrica a los Municipios, por el servicio de electricidad que destinan para Alumbrado Público.
Decreto Ley 1504 de 1998	Por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los POT
Resolución CREG 070 de 1998	Por la cual se establece el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional.
Resolución CREG 101 de 2001	Por medio de la cual se aclaran las normas técnicas aplicables al Alumbrado Público establecidas en el Capítulo 8 del Anexo

DOCUMENTO	TEMA
	General de la Resolución CREG-070 de 98
Ley 697 de 2001	Artículo 1°. Declárase el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales
Resolución CREG 082 de 2002	Por la cual se aprueban los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local.
Decreto Ley 1538 de 2005	Por el cual se reglamenta la Ley 361 de 1997 de manejo del espacio público
Ley 1150 de 2007	Por medio de la cual se introducen medidas para la eficiencia y la transparencia en la Ley 80 de 1993 y se dictan otras disposiciones generales sobre la contratación con recursos públicos. Artículo 29
Resolución CREG 097 de 2008	Por la cual se aprueban los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los

DOCUMENTO	TEMA
	Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local.
Resolución CREG 122 de 2011	Por la cual se regula el contrato y el costo de facturación y recaudo conjunto con el servicio de energía del impuesto creado por la Ley 97 de 1913 y 84 de 1915 con destino a la financiación del servicio de alumbrado público.
Resolución CREG 123 de 2011	Por la cual se aprueba la metodología para la determinación de los costos máximos que deberán aplicar los municipios o distritos, para remunerar a los prestadores del servicio así como el uso de los activos vinculados al sistema de alumbrado público.