



**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE TELEGESTIÓN QUE PERMITA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA
DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN EL CENTRO HISTÓRICO DE IBARRA,
CONCESIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA EMELNORTE S.A.**

RUEDA FLORES, JEFFERSON ANDRÉS

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

ING. MULLO QUEVEDO, ÁLVARO SANTIAGO

21 DE AGOSTO DEL 2020



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo titulado **“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEGESTIÓN QUE PERMITA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN EL CENTRO HISTÓRICO DE I BARRA, CONCESIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA EMELNORTE S.A.”** fue realizado por el señor, **Rueda Flores, Jefferson Andrés** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 21 agosto del 2020

Ing. Mullo Quevedo, Álvaro Santiago

C.C.: 0502768542

Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis_Analisis_de_factibilidad_Telegestión_Andrés_Rueda.docx (D78003927)
Submitted: 8/21/2020 1:04:00 AM
Submitted By: asmullo@espe.edu.ec
Significance: 5 %

Sources included in the report:

TESIS TELEGESTION FIN (11)-1.pdf (D13173785)
1553876183_Pizarro Bustamante_Baños Sarcos-comprimido.pdf (D49902028)
1568305790_Proyecto integrador Garcia-Chavez.pdf (D55529142)
TESIS 4.11.13.docx (D9602187)
007 TESIS SRTA. RUEDA 5.02.2014.docx (D9924735)
TESIS 15.11.13.docx (D9936003)
https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/Regulaci%C3%B3n-No.-CONELEC-005_14-Prestaci%C3%B3n-APG_.pdf
<https://blog.ledbox.es/informacion-led/la-importancia-de-la-optica-en-la-iluminacion-led>
https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Instalaciones/Luminotecnica.pdf
<https://www.powerlight.es/leds-y-placas-completas/5386-placa-pcb-con-leds-de-alta-potencia-pcb-cf-81s-led-colorbank.html>
<https://docplayer.es/6477030-Universidad-de-cuenca-resumen-de-la-tesis.html>
<https://jornadaselektra2014.files.wordpress.com/2014/11/tesis-jesus-palencia.pdf>

Instances where selected sources appear:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Álvaro Mullo". The signature is enclosed within a hand-drawn oval shape.

Ing. Mullo Quevedo, Álvaro Santiago

TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACION



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Rueda Flores, Jefferson Andrés**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación **“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEGESTIÓN QUE PERMITA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN EL CENTRO HISTÓRICO DE IBARRA, CONCESIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA EMELNORTE S.A.”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecido por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetado los derechos intelectuales de terceros y referenciando en las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 21 agosto del 2020

Rueda Flores, Jefferson Andrés

C.C.: 100271117-2



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Rueda Flores, Jefferson Andrés**, autorizó a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación **“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEGESTIÓN QUE PERMITA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN EL CENTRO HISTÓRICO DE IBARRA, CONCESIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA EMELNORTE S.A.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Latacunga, 21 agosto del 2020

Rueda Flores, Jefferson Andrés

C.C.: 100271117-2

DEDICATORIA

Dedico este logro principalmente a:

Mi madre, Susana Flores, por ser el pilar fundamental de mi vida y el motorcito que me impulsa a seguir adelante, te amo madre.

Mis abuelitos, Carmen y César, por brindarme el amor más puro que puede existir.

Mis hermanas, Anita, Piedad y Sarita, por regalarme muchos momentos de alegrías.

Mis tíos, César y Ninon, porque sin su ayuda no lo hubiera logrado.

Esto es posible gracias a ustedes.

Andrés

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme cumplir esta meta y poder compartirla en forma de alegría a todos mis seres queridos y familia entera.

Agradezco a la todas las personas que estuvieron y formaron parte de esta meta ya que gracias a su apoyó, motivación y enseñanza, nunca me di por vencido. Mi agradecimiento a mis profesores, por compartirme todos sus conocimientos y forjarme para poder ser un excelente profesional, a mis compañeros de la universidad por compartir tantos momentos juntos y a mis amigos, primos que siempre estuvieron cuando más los necesitaba.

Y finalmente de manera especial quiero agradecer al Ing. Álvaro Mullo, Ing. Felipe Aguirre, Ing. Robinson Mejía, por su aporte y guía impartida en el desarrollo de este proyecto.

Andrés

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	1
CERTIFICACIÓN.....	2
REPORTE DE URKUND.....	3
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	4
AUTORIZACIÓN	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO.....	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS	14
ÍNDICE DE TABLAS	17
RESUMEN	19
ABSTRACT	20
CAPÍTULO I	
CONTENIDOS GENERALES	21
1.1 Planteamiento del problema	21
1.2 Antecedentes	21
1.3 Justificación e importancia	23
1.4 Objetivos.....	24
1.4.1 Objetivo general.....	24

	9
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	24
CAPÍTULO II	25
MARCO TEÓRICO	25
2.1 Antecedentes Investigativos	25
2.2 Alumbrado público	25
2.2.1 <i>Luminarias</i>	26
2.2.2 <i>Tipos de luminarias</i>	27
2.2.2.1 <i>Lámpara de vapor de mercurio alta presión</i>	27
2.2.2.2 <i>Lámpara de vapor de sodio alta presión</i>	29
2.2.2.3 <i>Lámparas LED</i>	30
2.2.2.4 <i>Electroluminiscencia</i>	30
2.2.2.5 <i>Colores de los LED'S</i>	31
2.2.2.6 <i>Clasificación LED, por su Estructura</i>	32
2.3 Luminotecnia	35
2.3.1 <i>Luz</i>	35
2.3.2 <i>Reflexión</i>	36
2.3.3 <i>Refracción</i>	36
2.3.4 <i>Transmisión</i>	37
2.4 Magnitudes fundamentales	38
2.4.1 <i>Flujo luminoso</i>	38
2.4.2 <i>Rendimiento Luminoso</i>	39

	10
2.4.3 Intensidad Luminosa	40
2.4.4 Iluminancia.....	41
2.4.5 Luminancia	42
2.5 Sistemas de telegestión.....	43
2.5.1 Fundamentos del sistema de control	44
2.5.2 Módulos que conforman un sistema de telegestión de alumbrado publico ...	45
2.5.3 Herramientas de la telegestión	46
2.5.4 Sistema de comunicación de telegestión.....	47
2.5.4.1 Transmisión Alámbrica.....	48
2.5.4.2 Transmisión Inalámbrica	48
2.6 Análisis de los sistemas de telegestión de alumbrado publico	52
2.6.1 Sistema SMARTMATION.....	52
2.6.2 Sistema LUXCONTROL.....	60
2.6.3 Sylvania Schröder y Austube Schröder (Sistema Owlet IoT).....	66
CAPÍTULO III.....	73
METODOLOGÍA.....	73
3.1 Antecedentes de investigación.....	73
3.2 Hipótesis.....	73
3.3 Variables de investigación	74
3.4 Operacionalización de variables	74
3.5 Modalidad de la investigación	75

	11
3.6 Investigación bibliográfica	76
3.7 Investigación de campo.....	76
3.8 Tipos de Investigación.....	76
3.8.1 <i>Investigación exploratoria.....</i>	77
3.8.2 <i>Investigación Descriptiva.....</i>	77
3.9 Muestra	77
3.10 Técnicas de recolección de datos.....	77
3.11 Instrumentos	77
3.12 Procesamiento y análisis	78

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	79
4.1 Sistema de Alumbrado Público actual del Centro Histórico de Ibarra	79
4.2 Factores que intervienen en el alumbrado (Parámetros fotométricos)	79
4.2.1 <i>Factor de uniformidad.....</i>	79
4.2.2 <i>Uniformidad general de luminancia de la calzada (U_o).....</i>	80
4.2.3 <i>Uniformidad longitudinal sobre la calzada (UL).....</i>	80
4.2.4 <i>Deslumbramiento (TI).....</i>	80
4.2.5 <i>Relación de alrededores (SR).....</i>	81
4.3 Altura de luminaria	83
4.4 Distribución de los puntos de luz.....	84
4.5 Factor de utilización.....	87

	12
4.6 Factor de mantenimiento.....	87
4.7 Análisis del Sistema Actual del centro Histórico de Ibarra.....	89
4.7.1 Cálculo de la muestra.....	89
4.7.2 Clases de muestreo.....	90
4.7.3 Tamaño del universo.....	90
4.7.4 Error muestra (E).....	91
4.7.5 Constante de nivel de confianza (Z).....	91
4.7.6 Variabilidad positiva (P).....	92
4.7.7 Variable negativa.....	93
4.7.8 Tamaño de la muestra con los datos obtenidos.....	93
4.7.9 Factor de mantenimiento.....	94

CAPÍTULO V

PROPUESTA.....	95
5.1 Tema de la Propuesta	95
5.2 Justificación de la Propuesta.....	95
5.3 Simulación del sistema actual	96
5.4 Consumo energético del sistema Actual.....	103
5.5 Análisis de la muestra de campo del Luxómetro y simulación	104
5.6 Implementación del nuevo alumbrado público con tecnología led	105
5.7 Análisis del sistema con tecnología Led.....	105
5.8 Consumo energético del nuevo sistema con tecnología LED.....	110

5.9 Selección de un sistema de telegestión para el centro histórico de Ibarra 111

5.10 Evaluación económica para la viabilidad de telegestión seleccionado ... 116

CONCLUSIONES 121

RECOMENDACIONES 122

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 124

ANEXOS 127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Luminaria para alumbrado público	26
Figura 2 Lámpara de vapor de mercurio a alta presión	28
Figura 3 Lámpara de vapor de sodio a alta presión	29
Figura 4 Partes del Led alta potencia	30
Figura 5 Colores primarios para combinación de Led.....	31
Figura 6 Color de Led blanco a base de conversión de fósforo.....	32
Figura 7 Led con fibra óptica primaria	33
Figura 8 Placas PCB de Led.....	34
Figura 9 Módulo Led	34
Figura 10 Espectro Electromagnético.....	35
Figura 11 Reflexión – ángulo	36
Figura 12 Refracción de luz	37
Figura 13 Trasmisión de luz.....	37
Figura 14 Rangos de energía eléctrica en la producción de luz.....	38
Figura 15 Esquema de rendimiento luminoso	40
Figura 16 Intensidad luminosa, candela volumen por estereorradián	41
Figura 17 Iluminancia, superficie	42
Figura 18 Luminancia de una superficie.....	43
Figura 19 Sistemas de telegestión.....	44
Figura 20 Protocolos de comunicación inalámbrica	49
Figura 21 Arquitectura del sistema de telegestión SMARTMATION	54
Figura 22 Nodo para el monitoreo y control de la luminaria	55
Figura 23 Controlador trifásico SP-1241	56
Figura 24 Concentrador de subredes de telegestión	57

	15
Figura 25 Sistema de gestión para sistema de iluminación.....	59
Figura 26 Protocolos de comunicación.....	60
Figura 27 Estructura del sistema de telegestión	61
Figura 28 Luminaria serie Lena2 – Driver Led.	63
Figura 29 Módulo de control ORBE	64
Figura 30 Modulo controlado Stella	64
Figura 31 Sistemas de estructura y de Ad hoc.....	65
Figura 32 Arquitectura del sistema Owlet IoT – capas.....	66
Figura 34 Componente Owlet Wireless Outdoor.....	68
Figura 35 Owlet IoT RFID-Label-NEMA socket – acople luminaria.....	69
Figura 36 Módulo de luminaria con sensor PIR	70
Figura 37 Gestión del sistema TALQ	71
Figura 38 Sistema de gestión Owlet.....	71
Figura 39 Deslumbramiento directo y reflectivo	81
Figura 40 Configuración Unilateral	85
Figura 41 Distribución bilateral alternada	85
Figura 42 Disposición bilateral opuesta sin parterre	86
Figura 43 Configuración central doble	86
Figura 44 Configuración bilateral opuesta con parterre	87
Figura 45 Datos de planificación y análisis	97
Figura 46 Procesado de colorimetría.....	97
Figura 47 Evaluación de calzada Isolíneas	98
Figura 48 Datos de planificación y análisis	98
Figura 49 <i>Procesado de colorimetría</i>	99
Figura 50 Evaluación de calzada Isolíneas	99

Figura 51. Datos de planificación y análisis de la calle José de Olmedo	100
Figura 52. Procesado de colorimetría calle JJ Olmedo.....	100
Figura 53 Detalle isolíneas (distribución de lux).....	101
Figura 54 Datos de planificación y análisis de la calle José Joaquín de O	101
Figura 55 <i>Procesado de colorimetría calle JJ Olmedo</i>	102
Figura 56 Detalle isolíneas (distribución de lux).....	102
Figura 57 Datos de planificación y análisis de la calle Sánchez.....	106
Figura 58 Evaluación técnica de la calle Sánchez y Cifuentes.....	107
Figura 59 Detalle técnico de Lux de la calle Sánchez y Cifuentes	107
Figura 60. Datos de planificación y análisis de la calle Pedro Moncayo	108
Figura 61 Evaluación técnica de la calle Pedro Moncayo.....	109
Figura 62 Detalle técnico de Lux de la calle Sánchez y Cifuentes	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Eficiencia en sus parámetros</i>	53
Tabla 2 <i>Características técnicas Nodo para el monitoreo de la luminaria</i>	55
Tabla 3 Características técnicas de controlador trifásico SP-1241	57
Tabla 4 Características técnicas del concentrador de telegestión	58
Tabla 5 Operacionalización de variable independiente	74
Tabla 6 Operacionalización de variable dependiente	75
Tabla 7 Instrumentos para la ejecución del proyecto	78
Tabla 8 Parámetros fotométricos para el tráfico motorizado	82
Tabla 9 Parámetros fotométricos para áreas peatonales	82
Tabla 10 Parámetros fotométricos para zonas de conflicto	83
Tabla 11 Factor de mantenimiento	88
Tabla 12 Constante de confianza Z	92
Tabla 13 Tamaño de la muestra con los datos obtenidos	93
Tabla 14 Análisis de luminaria de vapor de sodio Calle Pedro Moncayo	98
Tabla 15 <i>Análisis de luminaria de vapor de sodio Calle German Grijalva</i>	99
Tabla 16 Análisis de luminaria Led Calle José Joaquín de Olmedo	101
Tabla 17 Análisis de luminaria de vapor de sodio Calle Sánchez	102
Tabla 18 Potencia total consumida de una luminaria de vapor de sodio	103
Tabla 19 Demanda energética del sistema de iluminación actual.	104
Tabla 20 Análisis de la muestra de campo del luxómetro	104
Tabla 21 Análisis del sistema con tecnología led	106
Tabla 22 Especificaciones y parámetros luminotécnicos	108
Tabla 23 <i>Especificaciones y parámetros luminotécnicos de la C. Pedro</i>	110
Tabla 24 Consumo energético del nuevo sistema con tecnología LED	111

Tabla 25 Detalle Técnico de iluminación Smartmation” Raled II”	111
Tabla 26 Detalle Técnico del módulo de iluminación Serie LENA 2	112
Tabla 27 Detalle Técnico del módulo de iluminación Schareder	112
Tabla 28 Ponderación de cumplimiento.....	113
Tabla 29 Matriz de análisis alternativo para el sistema de telegestión	113
Tabla 30 Costos de los sistemas de telegestión.....	116
Tabla 31 Porcentajes técnicos de los sistemas Smartmation	117
Tabla 32 Análisis de ahorro energético.....	117

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el análisis de factibilidad técnica para potenciar la eficiente energética de la red de alumbrado público del centro histórico de Ibarra, mediante la proyección de un sistema de telegestión con tecnología Led. El estudio inicia con un diagnóstico general del alumbrado público que contempla el perímetro del centro histórico, para definir la situación actual en la que se encuentra y los posibles métodos de ahorro energético. A continuación, se realiza un análisis de todas las variables que intervienen en el sistema de iluminación, donde se plantea una solución en base a la tecnología de telegestión e iluminación led que contempla los mejores beneficios y se acopla al sistema actual. Se desarrolla la simulación con la reestructuración de la red de iluminación y se efectúa una comparación técnica entre el sistema actual versus el proyectado. La ejecución del sistema de iluminación está contemplada actualmente por 250 luminarias, cuyo consumo es 225651.96 KWh/anual. Durante el diagnóstico inicial se determinó que, en base a los parámetros luminotécnicos, no cumple con las variables de iluminancia y uniformidad. En el estudio se plantea la sustitución de todas las iluminarias por tecnología Led conjuntamente con el modelo de telegestión, resultando un consumo energético de 157872.32 KWh/anual, la cual equivale a un ahorro del 30%, además de considerar un ahorro en el tema de mantenimiento preventivo.

PALABRAS CLAVE:

- **GESTIÓN A DISTANCIA DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN**
- **EFICIENCIA ENERGÉTICA**
- **ILUMINACIÓN DEL CENTRO HISTORICO DE IBARRA**
- **ALUMBRADO PÚBLICO**

ABSTRACT

The objective of this project is the analysis of technical feasibility to enhance the energy efficiency of the public lighting network in the historic center of Ibarra, through the projection of a remote management system with LED technology. The study begins with a general diagnosis of the public lighting system that contemplates the perimeter of the historical center, to define the current situation in which it is located and the possible methods of energy saving. Next, an analysis of all the variables involved in the lighting system is carried out, where a solution is proposed based on the technology of telemanagement and LED lighting that contemplates the best benefits and fits the current system. The simulation is developed with the restructuring of the lighting network and a technical comparison is made between the current system and the projected one. The execution the system is currently comprised of 250 luminaires, whose consumption is 225651.96 KWh/year. During the initial diagnosis it was determined that, based on the lighting parameters, it does not comply with the variables of illuminance and uniformity. The study proposes the replacement of all the lights by LED technology together with the remote management model, resulting in an energy consumption of 157872.32 KWh/year, which is equivalent to a saving of 30%, in addition to considering a saving in the area of preventive maintenance.

KEYWORDS:

- **REMOTE MANAGEMENT OF LIGHTING SYSTEMS**
- **ENERGY EFFICIENCY**
- **LIGHTING OF THE HISTORIC CENTER OF IBARRA**
- **PUBLIC LIGHTING**

CAPÍTULO I

CONTENIDOS GENERALES

1. Problemática

1.1 Planteamiento del problema

El estado actual del servicio de alumbrado público en centro histórico de la ciudad de Ibarra presenta muchos defectos como: la utilización aun de luminarias clásicas (vapor de sodio), consumo de energía alto, intensidad de la iluminación fija, coste de mantenimiento elevado, detección de falla de luminarias nula y presencia de luminarias dañadas.

Todo esto se ve afectado en la calidad y eficiencia del servicio, produciendo pérdidas económicas para la empresa distribuidora por la poca eficiencia energética en su sistema de alumbrado público, además de causar molestias a los usuarios por los riesgos de inseguridad peatonal y accidentabilidad vehicular debido a los puntos ciegos generados por las luminarias en mal estado.

De mantenerse esta situación el sistema de alumbrado público continuará siendo ineficiente y a la vez estará incumpliendo lo exigido por la nueva regulación Nro. 006/18 del ARCONEL para este servicio causando llamados de atención por los entes reguladores y por parte de los usuarios.

1.2 Antecedentes

El alumbrado público está compuesto por un conjunto de redes de instalaciones y componentes o equipos que permiten iluminar distintas áreas de las ciudades, las que pueden ser de tipo general y ornamental. El alumbrado público permite el desarrollo con

respecto al ámbito comercial, social y otras actividades recreativas. (VALDIVIESO, 2014)

El alumbrado público debe ser desarrollado bajo un sistema eficiente, para poder evitar problemas respecto a la disponibilidad energética que pueda existir. El ahorro de energía es un objetivo importante en las prácticas de eficiencia de los sistemas de alumbrado público, dónde se debe buscar un equilibrio. Los factores más representativos son:

- El ahorro que representa dentro de la planilla del servicio eléctrico de cada cliente o usuario.
- La seguridad de los usuarios o de las personas en la vía pública, además de los medios de transporte (buses, vehículos, motos, etc.).
- Reducción importante de la demanda.
- La preservación del medio ambiente.

Como parte del Plan de Eficiencia Energética para el Ecuador 2013-2022, para el sector Alumbrado Público General se busca poseer condiciones básicas como el procurar eficiencia en el consumo energético, reducir el impacto ambiental y obtener un aceptable retorno de la inversión, mejorando la percepción de la seguridad y confort visual de la población. Dentro de las acciones se propone: reemplazo de luminarias simples por doble nivel de potencia, implementación de nuevas tecnologías, telegestión para el alumbrado público. (CONELEC, 2013)

Particularmente en la ciudad de Ibarra el servicio de Alumbrado público general lo presta la empresa eléctrica EMELNORTE S.A, siendo este un sistema que se construyó en el año 1992, donde poco a poco se ha renovado con el pasar del tiempo y

sus diferentes administraciones hasta el año 2011 donde se invirtió 59 mil 228 dólares en el mejoramiento de su alumbrado público. Actualmente con la aparición de sistemas de telegestión que controlan el alumbrado público eficientemente se ve la necesidad de realizar un estudio de factibilidad para ver la conveniencia de la utilización de un sistema de telegestión en el centro histórico de Ibarra, Así también paralelamente se puede analizar la conveniencia de la utilización de luminarias leds

1.3 Justificación e importancia

La importancia en la calidad de servicio y eficiencia del alumbrado público apunta al uso de nuevas tecnologías que permitan maximizar beneficios y minimizar costos. Es por eso que en la actualidad todo el mundo trabaja en uso de sistemas de telegestión en el alumbrado público ya que ofrecen una variedad de ventajas como las siguientes:

- Evolucionar la lámpara y la red de alumbrado para dotarla de inteligencia para que sea capaz de brindar servicios adicionales que sean útiles para el usuario y para la su seguridad.
- Reducción del consumo de energía aumentando la eficiencia energética
- Reducción en costos de mantenimiento
- Utilización de luminarias con tecnología led
- Reducción de los reclamos
- Mayor rapidez en la detección e identificación de incidencias
- Las operaciones relacionadas con el suministro (encendido, apagado, modificación de potencia, etc.) se realizan de forma remota.
- Aumento en el tiempo útil de la luminaria.
- Se mejora la calidad del servicio

Por todo ello es importante realizar un estudio de factibilidad técnica en el servicio de alumbrado público del centro histórico de Ibarra donde se analice diferencias, costos, beneficios de los dos sistemas, para así advertir sobre la conveniencia del sistema actual con luminarias clásicas frente a del de telegestión con luminarias led.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar un análisis de factibilidad técnica del servicio de alumbrado público mediante el estudio de campo del sistema eléctrico actual para una propuesta de implementación de un sistema de telegestión que permita una reducción de consumo de energía en el Centro Histórico de la Ciudad de Ibarra.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento de información técnica actual de alumbrado público general en el centro Histórico de Ibarra.
- Analizar los diferentes sistemas de telegestión junto con luminarias led que podría prestar al servicio de alumbrado público general del centro histórico de Ibarra.
- Proponer un sistema de telegestión que mejore la eficiencia energética en alumbrado público en el centro histórico de Ibarra.
- Validar la factibilidad de la implementación del sistema de telegestión.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos

El alumbrado público dentro de la sociedad es una parte importante ya que gracias a este servicio permite el desarrollo en varios aspectos económicos sociales, culturales, etc. Además, mediante las nuevas tecnologías se trata de reducir la contaminación ambiental y lumínica.

2.2 Alumbrado público

La principal función es brindar energía lumínica a lugares de acceso público como plazas, parques, pasos peatonales y al transporte vehicular en calles, avenidas, etc., para satisfacer las necesidades de iluminación requeridas.

Este sistema está compuesto por luminarias, proyectores, sistemas de control, redes de distribución, protecciones, entre otros, que acopladas sirven para dar iluminación a las áreas que utilizan las personas para la movilización.

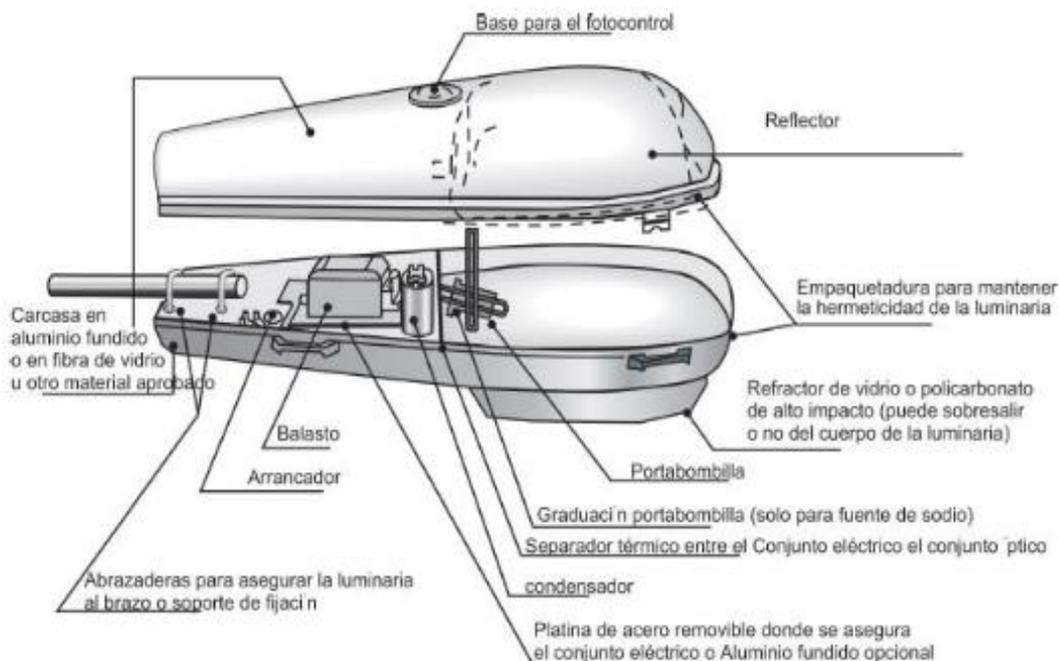
En el mundo y por ende en el Ecuador, este servicio tiene que ver directamente con el crecimiento, desarrollo y mejora del bienestar social, proporcionando las condiciones básicas para el tránsito de peatones y vehículos. Con ello nuevas tecnologías han evolucionado el mercado y por ende existe innovaciones también a nivel de iluminación, por lo tanto, el Ecuador debe ir también renovando el sistema de iluminación pública, para mejorar la calidad y generar la llamada eficiencia energética.
(Loja, Cuenca)

2.2.1 Luminarias

Este dispositivo está constituido por equipos eléctricos, electrónicos, mecánico, ópticos que acoplados permiten distribuir y dirigir la luz emitida por la lámpara. Las normas vigentes de cada país establecerán los reglamentos para el manejo, colocación y el funcionamiento correcto de las luminarias.

Figura 1

Luminaria para alumbrado público.



Nota. El grafico representa las partes de una lunaria de sodio. Recuperado de Repositorio Universidad de Santander, Gestión de Mantenimiento para alumbrado público por (González, 2019)

Componentes de las luminarias

Son los elementos imprescindibles de las luminarias las cuales influyen directamente en las características técnicas de funcionamiento y durabilidad del sistema.

- a) **Lámpara:** Transforma la energía eléctrica a fuente de luz, es la encargada de brindar la iluminación
- b) **Balasto:** Equipo eléctrico, sirve para limitar la corriente hasta el valor requerido para el correcto funcionamiento de las bombillas
- c) **Fotocelda:** Es un dispositivo electromecánico que se utiliza para cerrar y abrir de manera automática luminarias, según la luz del día.
- d) **Cebadores:** Suministra las condiciones eléctricas como amplitud, ancho, ubicación y tasa de repetición del pico de sobre voltaje para el arranque de lámparas.
- e) **Fusible:** Protección eléctrica para sobrevoltajes o cortocircuitos.

2.2.2 Tipos de luminarias

2.2.2.1 Lámpara de vapor de mercurio alta presión

Este elemento produce la descarga dentro de una bombilla de cuarzo, a medida que se aumenta la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible.

Durante el periodo de arranque se inicia un tiempo transitorio de unos cuatro minutos, caracterizado porque la luz pasa de un tono violeta a blanco azulado, en el que

se produce la vaporización del mercurio y un incremento progresivo de la presión del vapor y el flujo luminoso hasta alcanzar los valores normales.

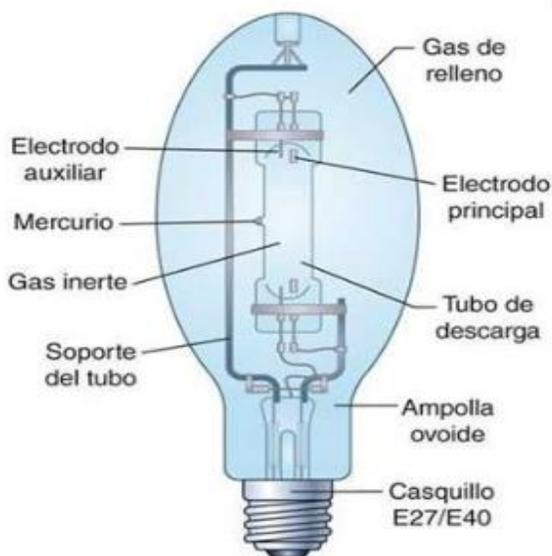
Tiempo de vida útil: 24000 horas

Tensión: 150 - 180 V

Eficacia: entre 35 – 60 lm/W

Figura 2

Lámpara de vapor de mercurio a alta presión



Nota. Representa una lámpara de vapor de mercurio a alta temperatura. Recuperado Catálogo de Interest, 2010.

La lámpara llegase a sufrir un apagón no se puede volver a encender de manera inmediata debido a que el vapor de mercurio no se habrá enfriado y estará con una presión elevada

2.2.2.2 Lámpara de vapor de sodio alta presión

Estas lámparas funcionan a temperaturas elevadas, a una alta presión y el tubo de descarga debe soportar una gran agresión química en respuesta del sodio. El tubo está rodeado por una ampolla en el vacío. La tensión de encendido es elevada y su tiempo de arranque es muy breve

No tienen un electrodo de encendido por su reducido diámetro, por lo tanto, se requiere de un pulso de alta tensión, entre 1,5 a 5 kV, mediante un ignitor, para ionizar al gas de encendido que es el xenón.

Figura 3

Lámpara de vapor de sodio a alta presión



Nota. Representa una lámpara de vapor de sodio. Recuperado de Características técnicas de lámparas de vapor de mercurio, Catálogo de Interest, 2010.

Tiempo de vida útil: 24000 horas

Tensión: 110 - 220 V

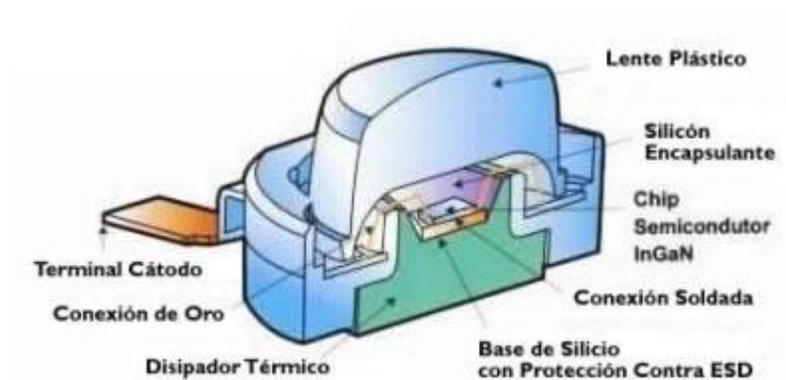
2.2.2.3 Lámparas LED

Se basa en semiconductores que transforman directamente la corriente eléctrica en luz cuando esta polarizado directamente. No poseen filamento, por lo que tienen una elevada vida (hasta 50.000 horas) y son muy resistentes a los golpes.

Este es un elemento de tipo electroluminiscente, el LED es un diodo de tipo especial que permite el paso de la corriente en un solo sentido, pero que al ser atravesado por esta emite luz. Al estar el LED compuesto por diferentes partes, el patrón de intensidad es complejo.

Figura 4

Partes del Led alta potencia



Nota. Tomado de Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación, IDEA 2001

2.2.2.4 Electroluminiscencia

Es un fenómeno óptico – eléctrico que resulta en un material que es sometido a un voltaje, este reacciona emitiendo fotones cuando circula corriente través de él.

2.2.2.5 Colores de los LED'S

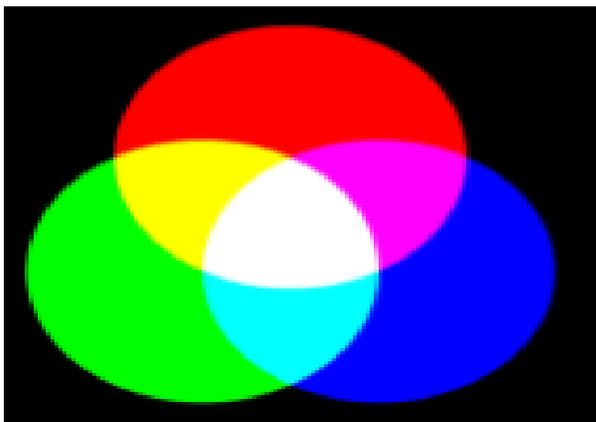
El color de los leds depende específicamente del semiconductor con el cual están contruidos y el dopaje o impurezas que se agregado, puesto que la corriente que circula por él es la misma.

a) Modelo RGB

El modelo RGB (Red, Green y Blue) o Rojo, Verde y Azul, se refiere a la composición de matices de colores a partir de los primarios, gracias a ello se obtiene las diferentes gamas de colores, controlando la intensidad de luz de cada color primario. Por ejemplo, para obtener el color blanco resulta de la mezcla de los tres colores primarios rojo, verde y azul en proporciones iguales de intensidad luminosa, resultando el color negro por la ausencia de estos.

Figura 5

Colores primarios para combinación de Led



Nota. Representa la combinación de los colores primarios de un led. Tomado de Terra Ecología práctica Fuente, Pablo Navarrete, 2012

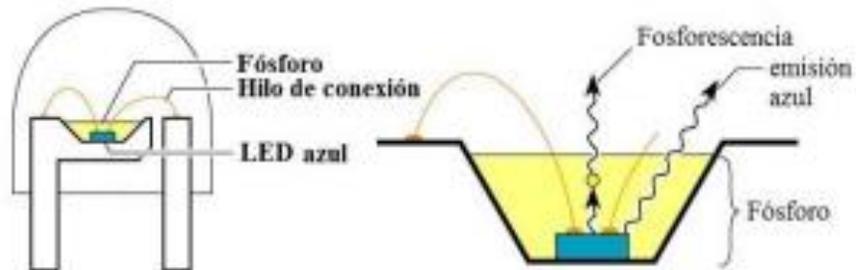
b) Led blanco por conversión de fosforo

Se utiliza un led de emisión de luz color azul o ultra violeta (UV) y se modifica esta radiación filtrándola a través de una capa de fosforo colocada dentro del encapsulado, emitiendo así luz blanca.

Mediante este principio se obtiene luz blanca, cálida o fría, teniendo así control sobre la temperatura de color dependiendo el tipo de fósforo y la cantidad colocada en el led.

Figura 6

Color de Led blanco a base de conversión de fósforo



Nota. La figura muestra un led de color blanco a base de conversión de fosforo. Tomado de Revista Scielo, Un Fotón tan esquivo que mereció un premio Nobel de Física, Ángel Aria 2014.

2.2.2.6 Clasificación LED, por su Estructura

En los aisladores poliméricos la utilización de materiales o recubrimientos hidrofóbicos aumentan la vida útil del aislador.

a) LED con óptica primaria

Son fabricados individualmente, su modelo está orientado varias aplicaciones, porque son dispositivos independientes.

Figura 7

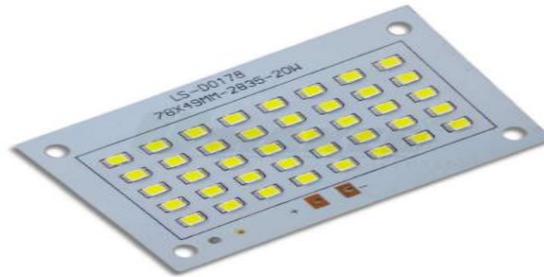
Led con fibra óptica primaria



Nota. La imagen muestra un led con fibra óptica primaria. Tomado de LEDBOX, La óptica es uno de los factores clave en el funcionamiento y duración de las luminarias LED. 2015

b) LED con placas PCB

Está constituido por placas PCB diseñadas con el objetivo de dar facilidad de implementación al consumidor al ya tener una distribución establecida en número de matrices, aplicada a luminarias para carreteras, parques, sitios arquitectónicos etc.

Figura 8*Placas PCB de Led*

Nota. La figura muestra las placas PCB de Led. Tomado de Placas PCB de alta potencia. 2010

c) Módulos LED

Los módulos led son dispositivos finales, aplicados en las luminarias en los diferentes tipos de alumbrado, estas constan de placas PCBs, es un dispositivo compacto mediante circuitos electrónicos incorporados en las lámparas.

Figura 9*Módulo Led*

Nota. La imagen muestra un módulo Led. Tomado de Punto Flotante, Características módulo Led, 2015.

2.3 Luminotecnia

Forma parte de la electrotecnia enfocada las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación.

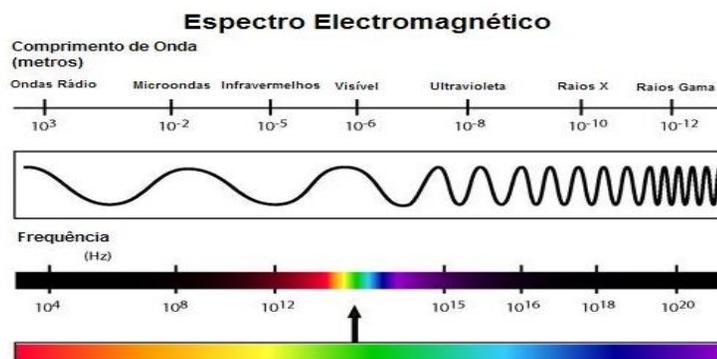
2.3.1 Luz

Es energía que se presenta en forma de radiaciones electromagnéticas y se percibe por el órgano visual.

El ojo humano es sensible a la radiación electromagnética con longitudes de onda comprendidas entre 380 y 780nm aproximadamente, margen que se denomina luz visible. Las longitudes de onda más cortas del espectro visible corresponden a la luz violeta y la más larga a la luz roja, y entre estos extremos se encuentran todos los colores del arco iris. Las ondas electromagnéticas con longitudes de onda ligeramente inferiores a las de la luz visible se denominan rayos ultravioletas, y las que poseen longitudes de onda ligeramente superiores, se conocen como ondas infrarrojas.

Figura 10

Espectro Electromagnético



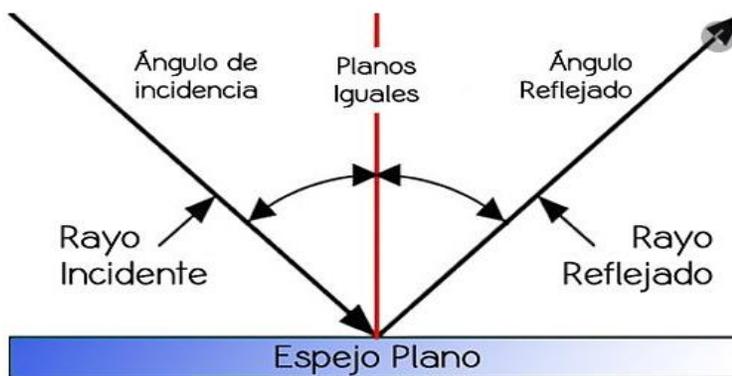
Nota. La imagen muestra el espectro electromagnetismo. Tomado de Luminotecnia 2015.

2.3.2 Reflexión

Se presenta cuando un rayo de luz incide sobre una superficie, este describe un ángulo de incidencia que es igual al ángulo del rayo reflejado. Medida de la reflexión es la reflectancia, que se define como la relación del flujo luminoso reflectante al flujo luminoso incidente. Es la medida de la cantidad de luz que es capaz de reflejar una superficie. La reflexión puede ser dirigida, difusa o mixta. La eficacia de una luminaria es afectada en gran medida por este factor.

Figura 11

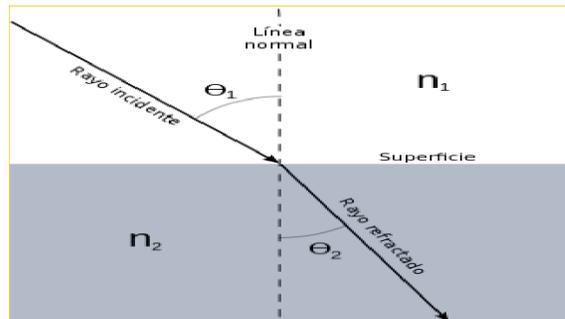
Reflexión – ángulo



Nota. La imagen muestra la reflexión en distintos ángulos. Recuperada de Esquemas de reflexión y refracción, Research Gate, 2011.

2.3.3 Refracción

Es el cambio de dirección de la luz mediante la incidencia de un medio de densidad variable. A través de la refracción de diferentes intensidades de distintas zonas espectrales se puede producir la formación de espectros de colores como por ejemplo el prisma

Figura 12*Refracción de luz*

Nota. La imagen muestra la refracción de Luz. Recuperado de Esquemas de reflexión y refracción, Research Gate,2011.

2.3.4 Transmisión

Esta se da cuando la superficie es transparente, translúcida o selectiva:

- Superficie difusa o translúcida nos da una transmisión dispersa.
- Superficie directa o transparente nos da una transmisión directa.
- Superficie selectiva o coloreada es aquella que filtra uno o algunos colores.

Figura 13*Trasmisión de luz*

Nota. Imagen muestra la transmisión de luz. Tomado de Propiedades de transmisión de la luz, 2013

2.4 Magnitudes fundamentales

Los conceptos de cada parámetro de luminotecnia son muy importantes debido a que cada parámetro, permite la identificación de características técnicas para la implementación de luminosidad, en los sistemas de iluminación pública en los diferentes sectores según especificaciones regulatorias de cada estado o país.

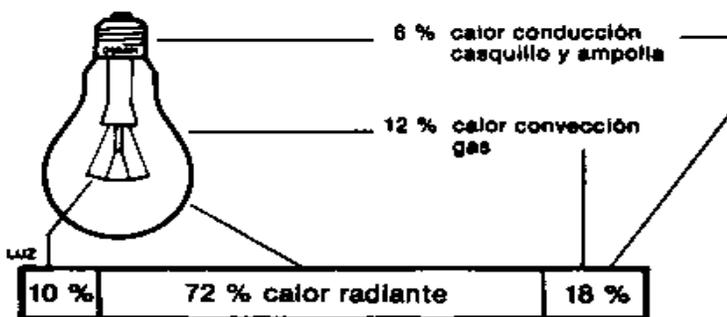
2.4.1 Flujo luminoso

Es la cantidad total de luz radiada o emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones durante un segundo o energía radiada por una fuente de luz. Se representa con la letra griega ϕ (fi), y su unidad es el lumen (lm)

La energía luminosa no se aprovecha en su totalidad para la producción de luz, debido a que una parte se transforma en energía eléctrica (luz) y el resto se pierde en calor, como el caso de las lámparas incandescentes.

Figura 14

Rangos de energía eléctrica en la producción de luz.



Nota. La imagen muestra los rasgos de energía eléctrica en la producción de luz. Tomado de Evaluación del efecto de la contaminación sobre aisladores poliméricos retirados se servicio, 2009.

El flujo luminoso en lm se da con la siguiente ecuación:

$$\phi = \frac{Q}{t} \quad [1]$$

Detalle:

ϕ = flujo luminoso (lm)

Q= Cantidad de luz emitida en lm/seg

T= tiempo (seg)

2.4.2 Rendimiento Luminoso

Rendimiento luminoso o coeficiente de eficacia luminosa de una fuente de luz este indica el flujo que emite la misma por la potencia eléctrica consumida por dicha fuente.

Su unidad es lumen por vatio (lm/W), y se representa mediante la letra griega η (eta). La expresión del rendimiento luminoso viene dada por la fórmula:

$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad [2]$$

Detalle:

$$\eta = \text{Rendimiento luminoso} \left(\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right)$$

ϕ = Flujo luminoso (lm)

P = Potencia en (W)

Figura 15

Esquema de rendimiento luminoso



Nota. La imagen muestra el esquema de rendimiento luminoso. Tomado de Voltimun, Luminotenia, 2010.

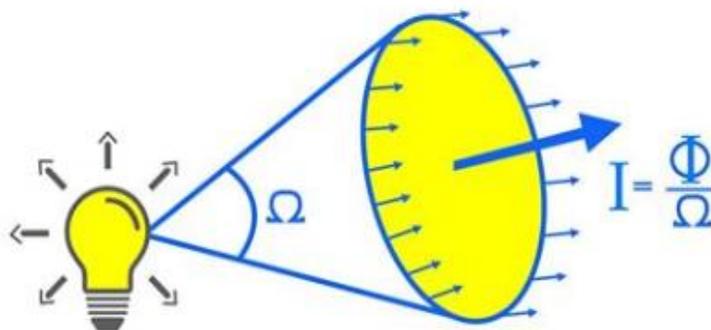
2.4.3 Intensidad Luminosa

La intensidad luminosa es la cantidad de luz emitida o radiada por una fuente luminosa durante un segundo, en una dirección dada y para un ángulo sólido de valor un estereorradián (Sr). Se representa por la letra I y su unidad es la candela (Cd).

Un ángulo sólido se define por el volumen formado por la superficie lateral de un cono cuyo vértice coincide con el centro de una esfera de radio r y cuya base se encuentra situada sobre la superficie de la esfera.

Figura 16

Intensidad luminosa, candela volumen por estereorradián



Unidad: candela (cd) equivalente a 1 lumen por estereorradián (lm/sr)

Nota. La imagen muestra de la fórmula de la intensidad luminosa. Recuperada de Celasa, Intensidad luminosa, 2009.

La intensidad luminosa de una fuente se calcula mediante la expresión:

$$I = \frac{\Phi}{\omega} = 1 \text{ Cd} = \frac{\Phi}{\omega}$$

Detalle:

I= Intensidad Luminosa en la Dirección considerada (Cd)

ω = Valor del ángulo Sólido (Sr)

2.4.4 Iluminancia

El nivel de iluminación es la cantidad de luz que incide sobre la unidad de superficie. Se representa por la letra E. Su unidad es el lux (lx), que equivale a la iluminación de una superficie de 1 m^2 cuando incide sobre ella un flujo luminoso, uniformemente repartido, de 1 Lm. El luxómetro es el aparato que usamos para medir el nivel de iluminación, que se calcula mediante la expresión:

$$E = \frac{\Phi}{S} = 1 \text{ lx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2} \quad [3]$$

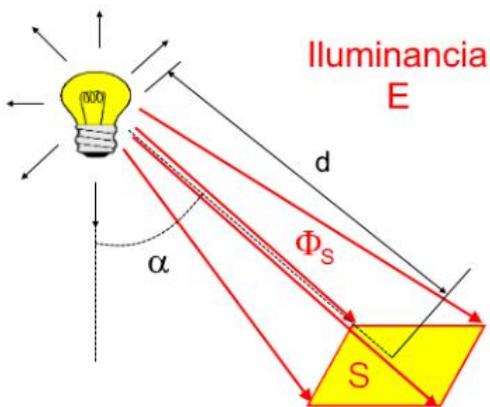
Detalle:

E = Nivel medio de iluminación (lx)

S = Superficie a Iluminar (m^2)

Figura 17

Iluminancia, superficie



Nota. La imagen muestra el reflejo de la iluminación en la superficie. Tomada de Celasa, Intensidad Luminosa, 2009.

2.4.5 Luminancia

Es la intensidad luminosa por unidad de superficie de una fuente de luz primaria o secundaria (la que emite luz o la que la refleja). Esta mide el brillo de los objetos iluminados o fuentes de luz, tal como son observados por el ojo humano. Si se tiene dos objetos igualmente iluminados, se observa el de mayor claridad y luminancia.

Se representa por la letra L, la unidad es la candela/m² (Cd/m²) y un submúltiplo, la candela/cm² (Cd/cm²), se muestra en la siguiente ecuación:

$$L = \frac{I}{S \times \cos(\beta)} \quad [4]$$

Detalle

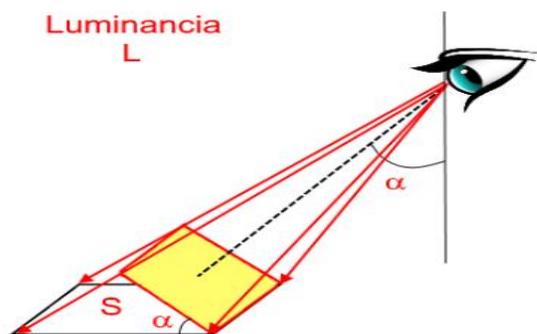
L = luminancia

I = Intensidad luminosa

Sa = Superficies aparente

Figura 18

Luminancia de una superficie



Nota. La imagen demuestra la luminancia en una superficie. Tomada de ComparaLux, Luminotecnia características técnicas, 2008.

2.5 Sistemas de telegestión

Es un sistema de automatización el mismo que permite controlar y supervisar los distintos equipos que pertenezcan a la red, además de las señales de entrada y salida que se encuentren distantes en la distribución de luminarias. En cada estación, el sistema de telegestión debe ir conectado a distintos equipos, sensores y aparatos de medición, lo que permite el envío de información y control. Gracias a este sistema, es posible intercambiar los datos de manera rápida y eficiente, lo que ayuda al control, supervisión y automatización de los equipos. Además, es posible detectar cualquier problema o falla que pueda ocurrir y poder dar una solución pronta, evitando

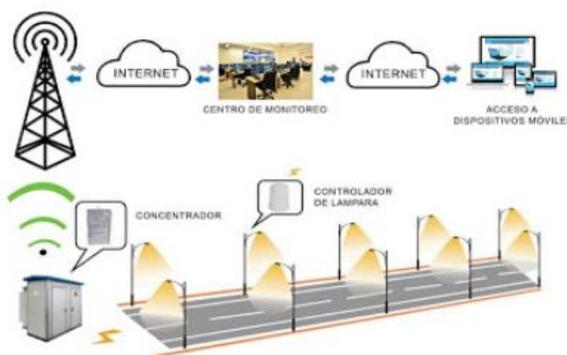
consecuencias de gravedad, daños a personas, pérdidas económicas entre otros aspectos.

De manera general consta de varios elementos.

- Central de supervisión
- Red de comunicaciones
- Estaciones de telegestión
- Sensores e instrumentos de campo.

Figura 19

Sistemas de telegestión.



Nota. La imagen muestra el sistema de telegestión. Recuperada de Plan piloto de telegestión para el control De alumbrado público, Universidad de Cuenca, 2012.

2.5.1 Fundamentos del sistema de control

La ingeniería de control tiene por objeto el manejo automático de un proceso eliminando el sistema de que de otra manera tendría que ser operado manualmente. En donde se aplique estos sistemas, es porque es necesario un fino control o existen muchas variables por lo que los sistemas de control mediante la automatización son fundamentales en el aumento de la calidad y la eficiencia de los procesos. Los componentes de los sistemas de control son, básicamente, dispositivos eléctricos,

electrónicos mecánicos y electromecánicos; generalmente se utiliza una combinación de estos

2.5.2 Módulos que conforman un sistema de telegestión de alumbrado publico

El sistema de telegestión para el servicio de Alumbrado Público es un sistema modular que se puede agrupar en tres niveles:

a) Primer Nivel

Constituido por los equipos instalados en las luminarias, los cuales reportan el estado de su información y hacen el control de cada punto luminoso. Este nivel detecta el funcionamiento y reporta las fallas que se pueden presentar en sus componentes, transmitiendo los datos al siguiente nivel de control, mediante un sistema de comunicación

b) Segundo Nivel

Conformado por los equipos instalados en los centros de distribución, donde se hace el control para cada circuito exclusivo de Alumbrado Público en baja tensión; en resumen, son concentradores que registran los eventos, las maniobras necesarias, miden o registran los diferentes parámetros eléctricos, registran anomalías o averías en cada circuito de baja tensión. Desde estos concentradores se trasmite al nivel superior la información recibida de cada una de las luminarias existentes en los circuitos exclusivos de alumbrado, y la propia que se llegue a generar por la operación misma del centro de distribución.

c) Tercer Nivel

Corresponde al centro de control o sala de operación del sistema de Alumbrado Público; en este lugar se recibe la información de los centros de distribución, y se gestiona la operación de los componentes del sistema; en él se realizan los análisis y se determinan los correctivos que sean necesarios, permite la supervisión y control de la información del sistema, mediante una unidad de mando central, recibe la información de los otros dos niveles a través del sistema de comunicación y se gestiona la totalidad de la información, se hace el análisis, se determinan las respuestas operativas a todos los eventos y se centraliza toda la información y control de las diferentes bases de datos que interactúan en el funcionamiento de un sistema de alumbrado; lleva el procesamiento de todas las señales, genera despliegues gráficos, listas de alarmas, eventos, reportes, realiza los análisis y elabora el cálculo de indicadores. El software de telegestión del servicio de alumbrado que se elija para el centro de control, debe interactuar con el sistema de información de la infraestructura (base de datos de la infraestructura), con el sistema de atención de quejas y reclamos, y mantenimiento del servicio y con el sistema de gestión de la red eléctrica de media y baja tensión

2.5.3 Herramientas de la telegestión

La Telegestión trata del control que se puede llegar a tener de las instalaciones eléctricas aisladas o distribuidas geográficamente. Esta tecnología se base en herramientas informáticas, eléctricas, electrónicas y de telecomunicaciones.

A continuación, se menciona la telemedida, el telemando y el telecontrol.

- a) **Telemedida:** Recopila información de los parámetros que intervienen y enviar al centro de control del sistema.
- b) **Telemando:** Posee la posibilidad de realizar controles inalámbricos manuales desde el centro de control a elementos en estaciones remotas que componen el sistema; mediante este se tiene un flujo bidireccional de información.
Manteniendo la supervisión de todos los equipos.
- c) **Telecontrol:** Permite integrar al sistema equipos autónomos programables estos están en la capacidad de planificar y/o controlar de forma automática el sistema.
En base de sistemas de control pueden tomar acciones para que el sistema esté en correcto funcionamiento.

2.5.4 Sistema de comunicación de telegestión

Para los sistemas de telegestión se utiliza un sistema de telecomunicación que los relaciona entre sí. Mediante la comunicación de los sistemas se llega a tener toda la información en los centros de control y desde ahí se monitorea a los diferentes componentes del Sistema de Alumbrado Público.

Mediante el módulo de comunicaciones se transmiten las diferentes señales de estado de cada uno de los componentes del Sistema de Alumbrado Público, las cuales se almacenan en bases de datos; así los operadores, pueden determinar las respuestas a los diferentes eventos asociados.

El medio que se utiliza para la transmisión de información puede ser:

- a) **Alámbrica:** Cuando la información que se transmite es a través de cables. Se debe tener en cuenta en la elección del cable que las atenuaciones y la interferencia sean pequeñas.

- b) **Inalámbrica:** Cuando la información que se transmite es mediante ondas electromagnéticas a través del aire o el vacío

2.5.4.1 Transmisión Alámbrica

Comunicaciones Mediante Cable Eléctrico Plc (Power Line Communications)

BPL (Broadband over Power Lines) es una tecnología que utiliza el sistema eléctrico para la transmisión de datos y la recepción de los mismos; es una manera eficiente para comunicarse con puntos luminosos y evitar el uso de cables externos.

- Rango de frecuencias en el ancho de banda: 20 kHz a 200 kHz

El método de comunicación se centra en una comunicación punto a punto, lo que en el caso del Sistema de Alumbrado Público se presenta un daño en el poste o luminaria desaparece de la cadena de comunicación, rompiéndose la vía de comunicación.

Las desventajas de este sistema es el estado de las líneas eléctricas. Si las redes están deterioradas, los cables se encuentran en mal estado o tienen empalmes mal hechos no es posible utilizar esta tecnología.

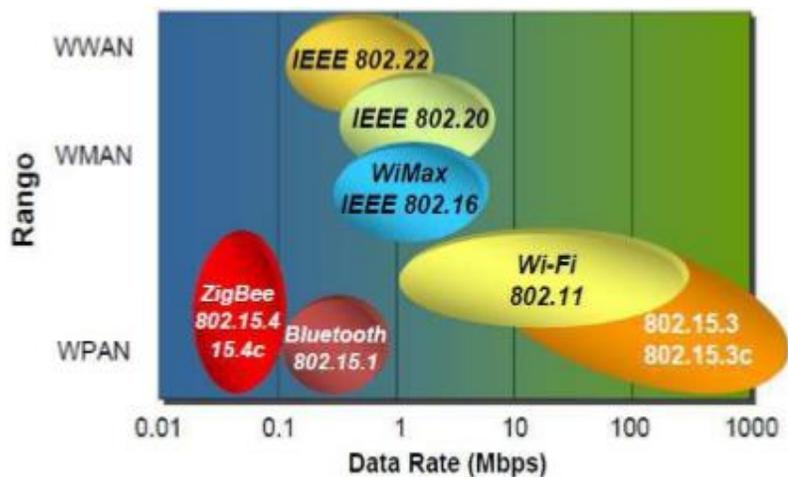
2.5.4.2 Transmisión Inalámbrica

Este sistema carece de cables, es decir para transportar la información de un punto a otro de la red sin necesidad de un medio físico, se utilizan ondas portadoras para el transporte de la información. Se realiza por medio de una modulación de la portadora. El aparato transmisor agrega datos a una onda de radio (onda portadora). Esta onda, llega al receptor, es analizada por éste, el cual separa los datos de la portadora.

En la siguiente figura se observa la clasificación de los protocolos de comunicación inalámbrica.

Figura 20

Protocolos de comunicación inalámbrica



Nota. La imagen muestra los protocolos de comunicación inalámbrica. Tomada de Elaboración de material para Manual de iluminación.2007.

La telegestión en los sistemas de Alumbrado Público la comunicación inalámbrica es una solución ideal, ya que la información siempre se encontrará a disposición con solo tener acceso a internet. A continuación, se presenta redes inalámbricas utilizadas.

WPAN

WPAN, (Wireless Personal Area Networks, red Inalámbrica de área personal) es una red de computadoras para la comunicación entre distintos dispositivos (computadoras, puntos de acceso a Internet, teléfonos, PDA, dispositivos de audio,

impresoras, etc.) cercanos al punto de acceso. Estas redes normalmente son de unos pocos metros y para uso personal.

Bluetooth

Trabaja en dos capas del modelo OSI que son la de enlace y aplicación, incluye un transceptor que transmite y recibe a una frecuencia de 2.4 GHz. Las conexiones que se realizan son de uno a uno con un rango máximo de 10 metros, si se deseara ampliar la distancia se tendría que utilizar repetidores los cuales nos ayuda a alcanzar una distancia de 100 metros.

Entorno a la seguridad la información es encriptación de 64 bits y autenticación para controlar la conexión y evitar que otros dispositivos puedan acceder a los datos o realizar su modificación. Los dispositivos que incorporan esta tecnología se reconocen entre sí y utilizan el mismo lenguaje de la misma forma que lo hacen otros dispositivos como son la computadora.

Tecnología Wi-Fi

Para tener esta red inalámbrica en casa sólo necesitaremos un punto de acceso, que se conecta al módem, y un dispositivo WIFI que se conectaría en nuestro aparato. Posee una frecuencia de 2.4 GHz está disponible casi universalmente, con una velocidad de hasta 11 Mbit/s, 54 Mbit/s y 300 Mbit/s, respectivamente.

En la actualidad ya se maneja también el estándar IEEE 802.11ac, conocido como WI-FI 5, que opera en la banda de 5 GHz y que disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios.

WNAM

Redes inalámbricas o bucle local inalámbrico de área metropolitana se basan en el estándar 802.16. La mejor red inalámbrica de área metropolitana es la WiMAX, que puede alcanzar una velocidad aproximada de 70 Mb/s en un radio de varios kilómetros.

La tecnología WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave access) es una tecnología WAN que permite realizar conexiones inalámbricas a distancias superiores a los 45 kilómetros del emisor de la señal, está diseñado para operar con frecuencias desde los 2 GHz a los 66 GHz.

WWAM

Las redes inalámbricas de área extensa son las que tienen el alcance más amplio de todas las redes inalámbricas. Por esta razón, todos los teléfonos móviles están conectados a esta red. Las tecnologías principales son:

- a) GSM (Global System for Mobile Communication):** El Sistema Global para las Comunicaciones Móviles es un sistema estándar para comunicación utilizando teléfonos móviles que incorporan tecnología digital; es uno de los estándares de comunicación más utilizado en el mundo
- b) GPRS (General Packet Radio Service):** Es un modelo analítico simple para dimensionar células de radio donde se mezcla el tráfico de voz con el de datos. Permite un tráfico de paquetes basado en IP de un aparato móvil a internet. Los recursos se comparten por un esquema llamado de partición parcial, donde algunos de los canales son dedicados para voz
- c) UMTS (Universal Mobile Telecommunication System):** Tecnología utilizada por los móviles de tercera generación, sucesora de GSM. Sus tres grandes

características son las capacidades multimedia, una velocidad de acceso a Internet elevada, la cual también le permite transmitir audio y video en tiempo real; y una transmisión de voz con calidad equiparable a la de las redes fijas.

2.6 Análisis de los sistemas de telegestión de alumbrado publico

Estos sistemas controlan y supervisa equipos y señales de entradas / salida situados en instalaciones distantes. El sistema está compuesto generalmente por los siguientes componentes:

- Sistemas de lámparas Led (sistema de accionamiento o actuadores)
- Sistema de comunicación (depende de la tecnología y proveedores)
- Concentradores de datos, control y monitoreo
- Sistema informático / centro de control

Estos componentes se relacionan mediante sistemas de telecomunicaciones, el mismo el que se encarga de monitorear, controlar y adquisición de datos del sistema de iluminación pública del centro histórico de Ibarra.

2.6.1 Sistema SMARTMATION

Maximiza la disponibilidad de la infraestructura de alumbrado público, optimización de recursos existentes en la red como a implementación de nuevos dispositivos con el objetivo de disminuir costos de mantenimiento y consumo eléctrico.

Tabla 1*Eficiencia en sus parámetros*

Detalle	Especificaciones
Tiempo de mantenimiento	Mejora del tiempo de reparación. En promedio nuestros principales clientes consiguieron una baja de 22 a 4,5 días
Costos de mantenimiento	Reducción de un 35% en el costo de mantenimiento de la infraestructura instalada.
Eficiencia energética	Reducción por dimerización de un 15% del costo en el consumo eléctrico
Satisfacción ciudadana	Aumento de un 80% en la satisfacción ciudadana.

Nota. Detalles de mejoramiento que aprueban el sistema de telegestión Smartmation según sus aplicaciones en campo.

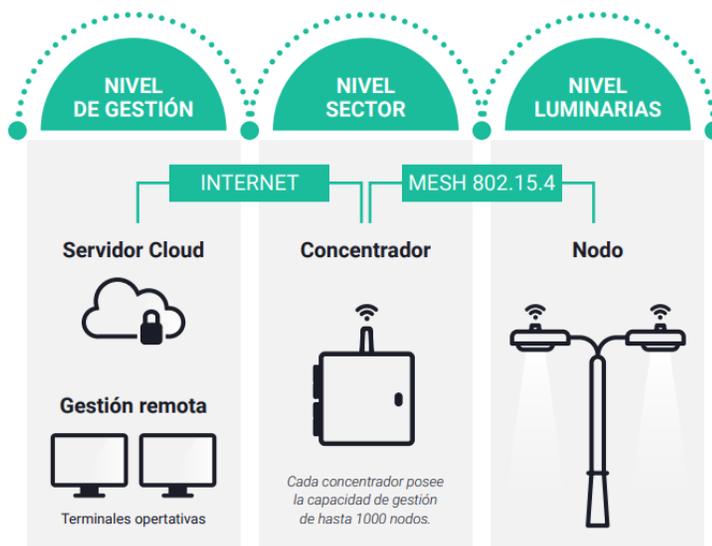
a) Arquitectura

El punto primario inicia desde los nodos inteligentes dispuestos en cada luminaria sectorizada y planificada adecuadamente según parámetros técnicos, mismos que son agrupados en sectores y gestionados por concentradores colocados estratégicamente. Estos concentradores se vinculan por Internet con uno o varios centros de control en donde se puede realizar el monitoreo, control y telegestión de la red de alumbrado público.

La arquitectura del sistema se basa en los siguientes componentes:

Figura 21

Arquitectura del sistema de telegestión SMARTMATION



Nota. La imagen muestra la estructura de la Arquitectura del sistema de telegestión SMARTMATION. Proyecto Piloto de Telegestión del servicio de Alumbrado Público, 2014.

Descripción de la estructura

b) Nodo de telegestión

Los nodos dentro del sistema de telegestión se coloca sobre la luminaria la misma que proporciona el monitoreo y control remoto de las mismas. Además, almacena los datos sobre el estado de funcionamiento de los componentes de iluminación (alarmas, eventos, energía, voltaje, corrientes etc.), para posteriormente transmitir esta información en forma inalámbrica al centro de control y poder ser analizada.

Figura 22

Nodo para el monitoreo y control de la luminaria



Nota. La imagen muestra la estructura de la Arquitectura del sistema de telegestión SMARTMATION. Proyecto Piloto de Telegestión del servicio de Alumbrado Público, 2014.

Tabla 2

Características técnicas Nodo para el monitoreo y control de la luminaria

Detalle	Especificaciones
Conexión estándar NEMA 7 (ANSI 136.41)	
Opciones de comunicación:	Mesh 802.15.4 LoRa / LoRa WAN (Q2 2019) LTE: Cat-1, Cat-M1, Cat-M1/NB-IoT (Q3 2019)
GPS incorporado	
Opciones de Control:	On/Off Dimerización 0-10V, 1-10V Calendario personalizado
Medidor de consumo clase 1 certificado	
Fotocélula para operación autónoma en caso de pérdida de comunicación	
Protecciones contra sobretensión por pérdida de neutro	
Entrada contacto seco para integración de sensores	
Protección IP 66 y rayos UV	

Nota. El dispositivo nodo es la etapa inicial o el actuador en los sistemas de telegestión que se acopla al módulo de iluminación.

Los módulos de iluminación poseen ciertas características técnicas en con una potencia de 170 W de tecnología LED, con un flujo luminoso de 24900 lúmenes, y una eficiencia lumínica de 150 lm/w (80000h de vida útil).

c) Controlador trifásico para tableros

Proporciona el monitoreo y control remoto de las luminarias que están direccionadas en el tablero. Recopila los datos sobre el funcionamiento del circuito para luego transmitirlos en forma inalámbrica al centro de control.

La funcionalidad del controlador permite gestionar el encendido/apagado automático de las luminarias en base a su reloj astronómico configurable. Además, detecta si la tensión y/o corriente son bajas o altas, o algún desbalance de cargas.

Figura 23

Controlador trifásico SP-1241



Nota. La imagen nos muestra un controlador trifásico. Recuperado de Instalaciones Eléctricas Básicas, 2010.

Tabla 3*Características técnicas de controlador trifásico SP-1241*

Detalle	Especificaciones
Tensión de alimentación	100-380 VAC
Frecuencia	50/60 Hz
Salidas	Relé 5ª/250VAC (3)
Entrada	Entradas digitales de contacto seco (3)
Comunicación	Módulo de comunicación celular 2G/CatM1/NB1ot

Nota. Es el control y la protección de los módulos de iluminación, además actuar de forma independiente en el caso de cortes de energía eléctrica.

d) Concentrador

El Concentrador de segmento interconecta las subredes de luminarias con el centro de control. Recibe y distribuye comandos provenientes del centro de control, siendo estos: envío de alarmas. Usos de energía, eventos, compensación energética etc.

Figura 24*Concentrador de subredes de telegestión*

Nota. La imagen muestra la estructura de la Arquitectura del sistema de telegestión SMARTMATION. Proyecto Piloto de Telegestión del servicio de Alumbrado Público, 2014.

Características técnicas

Tabla 4

Características técnicas del concentrador de subredes de telegestión

Detalles	Especificaciones
Basado en PC industrial	
Comunicación con nodos:	Mesh 802.15.4
Opciones de comunicación a Internet:	LTE 3G Ethernet
Capacidad de gestión de hasta 1000 nodos por concentrador	
Autonomía 12 horas con batería estándar de 12 VDC	
Sensor de puerta abierta	
Protección contra descargas atmosféricas	
Protección IP 65 y rayos UV	
Watchdog para prevenir pérdidas de comunicación de la red celular	
Memoria de almacenamiento de mediciones y eventos por 10 días	

Nota. Este dispositivo es el receptor de los nodos del sistema de telegestión, tomado del catálogo virtual de Smartation, Sección concentradores y módulos

e) Software de Gestión

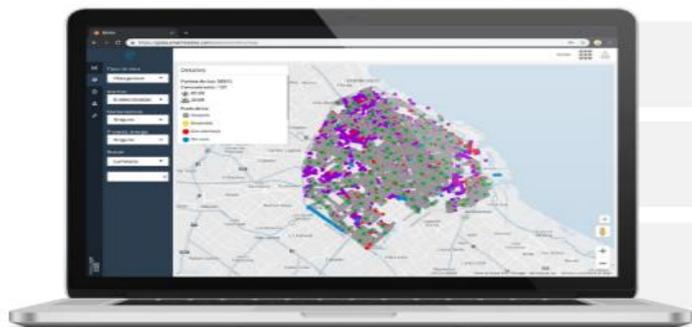
El software es el que permite la gestión de datos, es decir una vez que se recibe la información esta se procesa y se analiza para ejecutar planes de mejoramiento continuo.

- Posee un sistema para geolocalizar los elementos dentro del sitio para su monitoreo y control.
- Uno de las funciones importantes es el análisis y la gestión de la infraestructura.
- Tele-mantenimiento es decir parámetros para reparar y el orden en el que se va a desarrollar teniendo en cuenta la aparición de la falla, ubicación, tipo, criticidad entre otros.

- Accesos por perfiles y grupos usuarios con seguridad informática a nivel de función del sistema, además un registro de actividades y maniobras por parte del personal técnico
- Resumen mediante indicadores de desempeño (información) lo que permite implementar estímulos y/o penalidades a prestadores del servicio.
- La gestión del sistema de telegestión se lo puede realizar en forma remota desde varias ubicaciones mediante dispositivos móviles.

Figura 25

Sistema de gestión para sistema de iluminación



Nota. La figura muestra el sistema de gestión par un sistema de iluminación en una ciudad. Recuperado de Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación, 2001.

f) Infraestructura de Comunicación

De forma general trabaja con algunas redes de comunicación entre ellas LoraWan, NB-IoT, LoWPAN, 2G. Entre las usuales es LoRaWAN una tecnología de comunicación inalámbrica de consumo bajo, bidireccional, la transmisión de datos es en proporción pequeña, pero a grandes distancias. Este tipo de comunicación es llamada LPWAN (Low Power Wide Area Network).

Es un sistema enfocado en el IoT para cualquier tipo de entorno industrial, facility management, Smart Cities, logística, etc. Esta permite el despliegue en un área extensa de un amplio número de dispositivos alimentados por baterías. Es diferentes a la tecnología inalámbrica.

Figura 26

Protocolos de comunicación



Nota. Recuperado de PYRAMID, Telegestión Eficiente del Alumbrado Público.

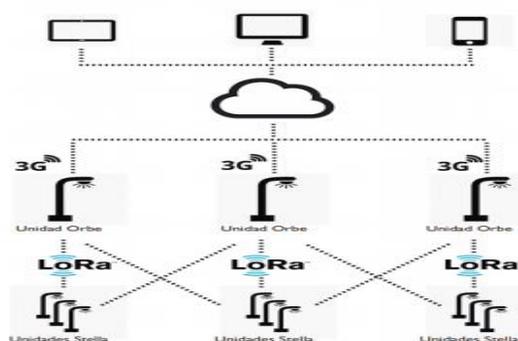
2.6.2 Sistema LUXCONTROL

Este sistema es diseñado por la ingeniería europea de NextCity Labs permite un ahorro de un 70% con respecto a la utilización de iluminación LED sin software de control, cabe mencionar que los sistemas de gestión basados en tecnologías como Zigbee o PLC permite un ahorrar del 40%. Este sistema posee la configuración PSS (Power Savings System), la cual permite ajustar la intensidad en base a la depreciación de la propia luminaria, aumentando la vida útil de la luminaria.

Arquitectura Sistemas LuxControl

Figura 27

Estructura del sistema de telegestión



Nota. Recuperado de PYRAMID, Telegestión Eficiente del Alumbrado Público.

Descripción de la arquitectura

Una unidad de control Orbe se instala en la luminaria en un sitio estratégico con el objetivo que pueda controlar el mayor número de Stella. Además, se instala una unidad controlada Stella en cada una de las luminarias controladas por una Orbe. Por lo tanto, la comunicación es desde dos niveles:

- Todos los módulos Stella se asigna a una Orbe, las mismas que se comunican bidireccionalmente mediante LORA.
- Las unidades Orbe (todas las instaladas) se comunican de forma bidireccional con la plataforma Cloud mediante 3G.

Para el proceso de análisis, monitoreo y control, el sistema LuxControl es accesible desde el navegador web Google Chrome o Mozilla Firefox, o a su vez desde dispositivos móviles mediante aplicaciones establecidas para sistemas Android/IOS. Además de pierden datos por interferencias, consumo bajo y el alcance de comunicación es amplio.(Orellana, 2019)

Lora permite satisfacer las necesidades del IOT (Internet of things). A continuación, se describen poder realizar tele-mantenimiento de comunicaciones desde el propio Cloud.

Infraestructura de comunicación LuxControl

a) Tecnología Lora

Tecnología en comunicación inalámbrica. Posee una alta sensibilidad (hasta -146dBm), no se

las ventajas que tiene el sistema.

- Alta conectividad, es decir gran consistencia a la red de puntos de luz
- Bajo consumo de cada módulo de telegestión.
- Mayor alcance de onda para comunicación.

Los puntos de luz se encuentran interconectados entre ellos, esto permite no solo depender de un módulo de control (Stella), lo que permite realizar tareas de mantenimiento a nivel comunicacional (plataforma Cloud). Otra ventaja es que evitar usar antenas externas.

b) Luminaria LED Serie Lena2

Esta luminaria esta creada para la filosofía de NextCity Labs, La eficiencia luminosa real de la luminaria alcanza 150 lm/w. Posee avances tecnológicos muy considerables desde su aspecto estético, resistencia, protección IP 66. Los Led son fabricados por LumiLeds. Las horas de trabajo indican según el fabricante mayores a 100000 horas y el flujo luminoso es de 18750 / 22500 lm.

El **Driver Led** integra programación tipo 0-5V, 0-10V, PWM y time-dimming. Algo muy importante en la seguridad del sistema del módulo es la protección built-in de sobrevoltaje (10KV).

Figura 28

Luminaria serie Lena2 – Driver Led



Nota. La figura muestra la luminaria serie Lena2 – Driver Led. Tomado del Manual de iluminación eficiente

c) Módulo de Control ORBE / ORBE+

Esta unidad de control tiene dos sistemas de comunicación, LORA y 3G. Cada una tiene establecida un número de unidades controladas llamadas “Stella”. Su función es gestionar los puntos de luz y es el enlace de unión entre las stellas y la plataforma Cloud. La diferencia entre Orbe y Orbe+ es: Orbe está diseñada para ser colocada dentro de la luminaria, mientras que Orbe+ en el exterior incorporado a una caja con protección IP67.

Figura 29

Módulo de control ORBE



Nota. La figura muestra un módulo de control ORBE. Tomado de Manual de iluminación eficiente

d) Módulo controlado Stella

La unidad Stella tiene un sistema de comunicación LORA, este permite comunicarse con los módulos Orbe de control. Posee un consumo promedio de 7mA, lo cual provoca una desventaja ya que afecta a la luminaria y también al ahorro del sistema.

Figura 30

Modulo controlado Stella

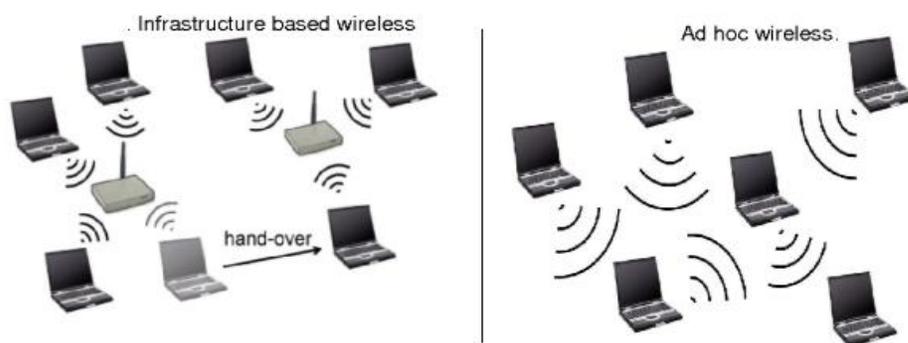


Nota. La figura muestra un Módulo controlado Stella. Tomado de Manual de iluminación eficiente

La proporción Orbe/Stella se basa en el ad hoc dependiendo de las características del sitio, es decir variables como la longitud y anchura de las calles, altura de los edificios, la geografía del lugar y las interferencias posible en el ambiente determinarán la cantidad que se van a ocupar, como parámetro general la proporción en condiciones normales, una unidad Orbe para 50-100 unidades Stella.

Figura 31

Sistemas de estructura y de Ad hoc



Nota. La figura muestra es sistema de estructura y de Ad hoc. Tomado de Manual de iluminación eficiente.

e) Seguridad del sistema

Los datos LORA son encriptados asimétricamente en ECC+AES. Poseen una capa de seguridad con protocolos IP los datos 3G. Además, trabajan con SIM's y VPN para proteger las comunicaciones. Todos los datos se gestionan por una cryptomemoria que genera la autenticación de lo dispositivo mediante firma digital (ECDSA) y el manejo de claves dinámicas es decir se va cambiando cada cierto tiempo.

2.6.3 Sylvania Schröder y Austube Schröder (Sistema Owlet IoT)

Es la fusión que inicio en el 2020 de dos empresas muy importantes en el desarrollo de smart city, este centro de innovación de telegestión proporciona a las ciudades información práctica, formación y soluciones para facilitar la transición de datos hacia una infraestructura urbana más inteligente y sostenible en el ámbito de mantenimiento y energético.

Arquitectura del Sistema Owlet IoT

Figura 32

Arquitectura del sistema Owlet IoT – capas



Nota. La imagen muestra la arquitectura de un sistema Owlet IoT – capas. Recuperado de Comité Español de Iluminación. 2010. Presente y futuro de la Iluminación Profesional con LED's, 2010.

Descripción de la Arquitectura Owlet IoT

Owlet IoT controla remotamente las luminarias en una red de alumbrado, mejorando la eficiencia, datos en tiempo real y ahorro de energía hasta un 85%. Owlet IoT de Schröder permite el control remoto para supervisar, medir y gestionar una red de alumbrado. Es una combinación de tecnología de última generación e interfaz web fácil

de usar para controlar de luminaria y desde cualquier sitio que posea el software de control. Mediante una comunicación bidireccional, se logra supervisar el estado de funcionamiento, el consumo de energía y los posibles fallos que pueden ocurrir en el sistema.

a) Estructura de comunicación

LoRa en términos generales significa “largo alcance” (LONg RANge), esta tecnología de modulación de redes LoRaWAN (WAN: Wide Area Network), y el tipo es de red LPWAN (Low power Wide Area Network). Diseñado para conectar de forma inalámbrica ‘cosas’ las cuales se alimentan con baterías a Internet en redes globales, y se dirige a los requisitos IoT, como bi- Servicios de comunicación direccional, proporcionando seguridad de extremo a extremo, localización y datos.

La comunicación que se pueden dar en esta capa de **Hardware**, además de **LoRaWAN** también pueden ser cableadas o **Wireless** por radiofrecuencia, en redes WAN o PAN, y con diferentes frecuencias de comunicación

b) Comunicación para redes de nodos y/o sensores

Existen dos tipos de comunicación para las redes de nodos y/o sensores de una smart city:

- **Sistema por Cableado.** Estas comunicaciones incluyen comunicaciones como ethernet, fibra óptica y tecnología PLC.
- **Sistema Wireless.** Incluyen tecnologías Radiofrecuencia en topología en estrella o mallada, celulares (2G/3G/4G/5G), NB-IoT y LoRa, SigFox, WiFi, Bluetooth entre otras.

Entre las comunicaciones cableadas, la comunicación Ethernet es la principal, Fibra óptica como la que más ancho de banda tiene, y la comunicación PLC (Power Line Communication) que aprovecha la red eléctrica para comunicar, y fue quien inicio con el proceso de las ciudades inteligentes.

c) Nodos / sensores

La conexión primaria o de la primera capa son los nodos y sensores en esta sección se hablará de los componentes que posee el nodo en la iluminaria.

Figura 33

Componente Owlet Wireless Outdoor



Nota. La imagen muestra un componente Owlet Wireless Outdoor. Recuperado de Comité Español de Iluminación. Presente y futuro de la Iluminación Profesional con LED's, 2010.

La tapa de cortocircuito del SCIP 66 es un cortocircuito el cual posee una protección alta IP 66, con el objetivo de una protección hermética. El receptáculo de tipo cerradura NEMA trabaja entre los voltajes (110 V - 480 V) muy robusto en su estructura.

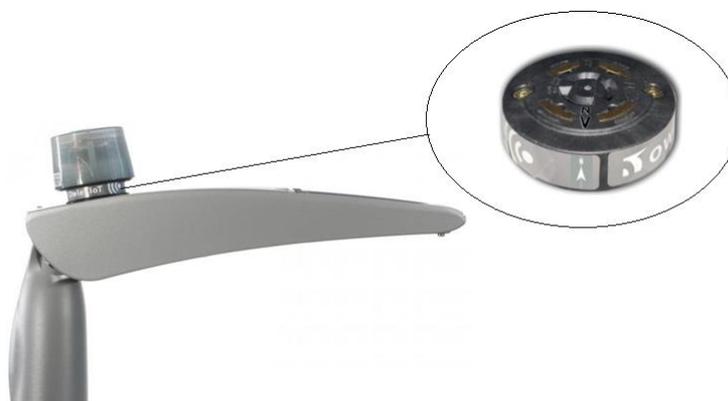
El SCIP 66 está diseñado para ajustar en la parte superior de la luminaria usando el receptáculo de bloqueo de giro ANSI C136.10 y C136.41 NEMA. El sistema

posee geolocalización en tiempo real y una detección de la luminaria automática, por lo cual la puesta en marcha es adecuada y en corto tiempo.

d) Owlet IoT RFID-Label-NEMA socket

Figura 34

Owlet IoT RFID-Label-NEMA socket – acople luminaria



Nota. La imagen muestra el dispositivo Owlet IoT RFID-Label-NEMA socket – acople luminaria para telegestión. Recuperado de Comité Español de Iluminación. Presente y futuro de la Iluminación Profesional con LED's, 2010.

Diseño de módulos de luminarias que incluyen sensores

Estos módulos incorporan sensores PIR y los radares directamente al controlador de la luminaria. Por lo cual, no necesitan de alimentación adicional. Los sensores pueden ser integrados en las luminarias Schréder, acopladas al poste o a una cierta distancia de los mismos. Este sensor puede ser conectado a múltiples luminarias y cada luminaria puede ser enlazada a varias entradas de sensores. Mejora el rendimiento visual, así como el nivel de confort al mantener una variación según sea los requerimientos del sitio. La señal de atenuación del controlador de la luminaria a el conductor puede ser 1-10V o DALI.

Figura 35

Módulo de luminaria con sensor PIR



Nota. La imagen muestra Módulo de luminaria con sensor PIR para telegestión. Recuperado de Comité Español de Iluminación. Presente y futuro de la Iluminación Profesional con LED's, 2010.

e) Controlador

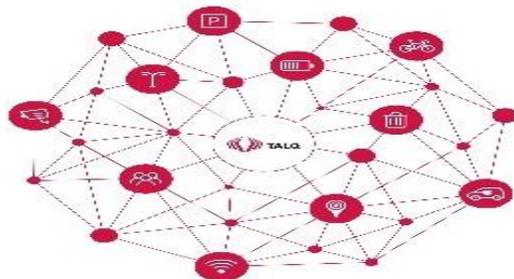
El controlador LUCO P7 CM se conecta en un casquillo Nema estándar de 7 pines, el mismo que funciona mediante interfaz DALI o de 1-10 V para controlar la luminaria mediante API abiertas.

f) TALQ – El protocolo de ciudad inteligente

TALQ es un protocolo de ciudad inteligente globalmente aceptado para el software de administración central (CMS) los mismos que permiten configurar, controlar, ordenar y maniobrar redes heterogéneas de dispositivos.

Figura 36

Gestión del sistema TALQ



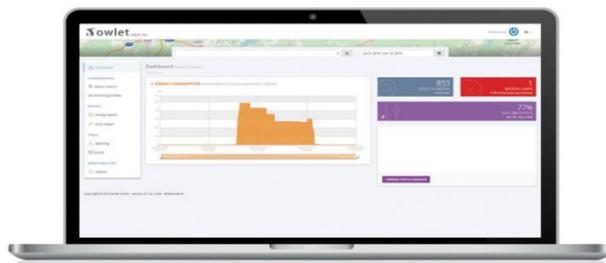
Nota. En la figura se muestra la estructura de comunicación TALQ. Tomado de Universidad Nacional de Colombia, Telegestión del Servicio de Alumbrado Público. 2010.

g) Sistemas de control

Un panel de control permite a cada usuario organizar y personalizar las pantallas, estadísticas e informes del sistema general de iluminación pública. Se puede acceder a la aplicación web Owlet IoT, desde cualquier sitio, mediante un dispositivo conectado a Internet.

Figura 37

Sistema de gestión Owlet



Nota. La imagen muestra el prototipo de un Sistema de gestión Owlet. Tomado de Elaboración de material para Manual de iluminación.2007.

El sistema de gestión de la ciudad de IOT Owlet, se basa en estándares abiertos, donde interactúan con los diferentes componentes remotos de la ciudad. El IO del Búho realiza el sistema de gestión a distancia, también intercambia datos o interoperan con los sistemas como los sensores de gestión de tráfico, de vigilancia del medio ambiente o dispositivos de seguridad

h) Estructura de comunicación

El sistema Owlet IoT utiliza comunicación inalámbrica local en retícula entre las luminarias, para reacciones instantáneas in situ. Utiliza un NPA seguro, en el caso que falle la comunicación, el reloj astronómico y la célula fotoeléctrica permitirían encender y apagar las luminarias, evitando así un el apagado del sistema de iluminación pública.

En la capa de gestión se tiene **API (Applications Program Interface)** es un conjunto de protocolos que se utiliza para desarrollar e integrar el software de las aplicaciones. Las APIs permiten que los productos y servicios se comuniquen con otros, sin la necesidad de conocer la estructura de implementación.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Antecedentes de investigación

En la tesis “Análisis del Sistema de Alumbrado Público, para la presentación de una Propuesta de Telegestión en los parques, Juan Montalvo y Pedro Fermín Cevallos de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua” (2015). Previo la obtención del título de ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia, el autor Masaquiza Masaquiza Christian, desarrolla un análisis de alumbrado públicos en la ciudad de Ambato, en la cual se investiga el sistema actual de sector central de la ciudad para conocer el tipo de luminaria, distribución, características técnicas, normativas de luminosidad para proponer una instalación del sistema de telegestión para una eficiencia energética

En la tesis “Telegestión del alumbrado público con tecnología LED. Estudio de un plan piloto para la Avenida Pio Jaramillo Alvarado de la Ciudad de Loja” (2014). Previo la obtención del título de ingeniero Electromecánico del autor Pablo David González Loaiza, fue ejecutada desde los sistemas actuales de alumbrado público que se encuentra en la avenida Pio Jaramillo una de las principales avenidas de la ciudad de Loja con el motivo de evaluar una eficiencia energética mediante la incorporación de un sistema de telegestión, para automatizar y evitar las pérdidas de energía eléctrica innecesarias.

3.2 Hipótesis

Si se ejecuta un análisis del sistema eléctrico de alumbrado público actual con respecto a su consumo de energía se podrá establecer una propuesta de

implementación de un sistema de telegestión que permita el uso eficiente de la energía del alumbrado público en el centro histórico de Ibarra

3.3 Variables de investigación

Variable independiente: Análisis del sistema eléctrico de alumbrado público actual con respecto a su consumo de energía.

Variable dependiente: Implementación de un sistema de telegestión que permita el uso eficiente de la energía del alumbrado público en el centro histórico de Ibarra

3.4 Operacionalización de variables

Tabla 5

Operacionalización de variable independiente

Variable Independiente	Definición	Dimensionamiento	Indicador
Análisis del sistema eléctrico de alumbrado público actual con respecto a su consumo de energía.	El consumo de la energía eléctrica en el sistema de alumbrado público mediante las características técnicas de las luminarias, la distribución y el número de lámparas. Especificaciones técnicas de Luminosidad	Luxómetro Perdidas de energía	Lux KWH

Tabla 6*Operacionalización de variable dependiente*

Variable (Dependiente)	Definición	Dimensionamiento	Indicador
Implementación de un sistema de telegestión que permita el uso eficiente de la energía del alumbrado público en el centro histórico de Ibarra	Se desarrollará una evaluación técnica viable y económica, analizando las condiciones actuales del sistema de iluminación del centro histórico de Ibarra con los nuevos dispositivos (software y hardware) para la implementación del sistema de telegestión	Luxómetro	Lux
		Ahorro energético	KWH
		Tiempo de ejecución	Horas
		Eficiencia	%
		Viabilidad	%
		Costo	USD/KWH

3.5 Modalidad de la investigación

En el presente proyecto está enfocado en el ámbito cualitativo y cuantitativo, ya que se desarrollará desde los sistemas actuales hasta la ejecución de un plan maestro para la implementación de un sistema de telegestión, inicializando desde el modelo actual que se encuentra el sistema de alumbrado siendo este bueno, malo, eficiente, sus desventajas y ventajas actuales, con ello un análisis cualitativo con valores y porcentajes en mejoras del sistema actual tomando en cuenta todas las variables para la innovación y eficiencia energética.

3.6 Investigación bibliográfica

La investigación bibliográfica como la primera etapa del proceso investigativo que proporciona el conocimiento de las investigaciones ya existentes, de un modo sistemático, a través de una amplia búsqueda de: información, conocimientos y técnicas sobre una cuestión determinada.

La elaboración de un modelo para la implementación de un sistema de telegestión y el diseño de alumbrado a base de sistemas led será apoyada en fuentes bibliográficas como libros, internet, documentos, catálogos, los que deben contener información sobre parámetros técnicos de luminotecnia, normativas de sistemas de iluminación en centros urbanos, características técnicas de dispositivos eléctricos, electrónicos y lámparas usados para sistemas de iluminación eficientes.

3.7 Investigación de campo

La Investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. (Santa 2010)

La investigación se desarrolla en los sistemas de iluminación actuales del centro histórico de Ibarra, sitio donde se analizará la distribución de luminarias distancia de postes, análisis lumínico de las lámparas en cada sector, paso peatonal, circulación de vehículo etc.

3.8 Tipos de Investigación

En la siguiente investigación se adopta la investigación explorativa y descriptiva.

3.8.1 Investigación exploratoria

La investigación adoptara el análisis explorativo mediante la constante selección de información que facilitara el desarrollo del problema.

3.8.2 Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva se orienta en describir bajo ciertos criterios técnicos la adecuada iluminación que debe tener los sectores del centro histórico de Ibarra, la cual permita optimizar la energía eléctrica, mediante la implementación de un sistema de telegestión, es decir automatizar el consumo energético de las luminarias y además cambiar el sistema actual por lámparas Led.

3.9 Muestra

La investigación se desarrolla en el centro histórico de Ibarra donde se cuenta con un universo de 250 luminarias, de las cuales se tomará una muestra aleatoria de 34 luminarias.

3.10 Técnicas de recolección de datos

Mediante esta técnica se determina el correcto proceso para la adquisición de datos entregada por los instrumentos y a su vez por los técnicos, dicha información se hace de utilidad para realizar el análisis de consumo energético actual y el sistema de alumbrado cumple con las especificaciones técnicas.

3.11 Instrumentos

Para obtener los datos a analizar se utiliza los siguientes instrumentos:

Tabla 7*Instrumentos para la ejecución del proyecto*

Técnicas	Instrumentos
Análisis documental	Bibliografías Normativas Eléctricas Fichas técnicas de los equipos Proyectos ejecutados
Observación	Bitácoras Distribución de luminarias (centro histórico)
Análisis técnico	Sistemas de telegestión implementados
Análisis de luminosidad	Luxómetro

Nota. Se detalla las técnicas de trabajo y los instrumentos que permite la recolección y análisis de los datos luminotécnicos.

3.12 Procesamiento y análisis

Se procesa los datos obtenido con el sistema actual de iluminación tomando como referencia la calidad de iluminación en todos los sectores del centro histórico de Ibarra. Y el consumo energético con todos los elementos que están colocados para la iluminación, con el objetivo de realizar un proceso comparativo entre el actual y un futuro sistema donde se cambia la iluminación existente por una a base de lámparas Led y la automatización del mismo con la ejecución de un proceso de optimización energética llamado Telegestión.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Sistema de Alumbrado Público actual del Centro Histórico de Ibarra

La empresa eléctrica EMELNORTE proporciona servicio de energía eléctrica para el norte del país, mediante fuentes de generación, transmisión y distribución. Una de las grandes competencias es brindar el servicio de alumbrado público y dentro de sus competencias está la parte centro o centro histórico de la ciudad de Ibarra uno de los sitios más visitados por los turistas y hermosos por su arquitectura colonial.

Por lo cual se debe brindar una iluminación acorde a las necesidades de la ciudadanía, y en función de la tecnología actual disponible, cumpliendo la normativa vigente del país. Por lo cual, mediante un análisis actual del sistema se indica que las luminarias que se utilizan en el Centro Histórico para la iluminación de las vías cuentan con lámparas de vapor de Sodio de alta presión, con potencia de 250 y 150 W, además de lámparas LED de 115 y 105 W.

4.2 Factores que intervienen en el alumbrado público (Parámetros fotométricos)

Se desarrolla un análisis del sistema de iluminación actual en base a especificaciones técnicas, basadas en la regulación realizadas por CONELEC, para lo cual se debe conocer ciertas especificaciones técnicas. (CONELEC, 2011)

4.2.1 Factor de uniformidad

Es la relación entre la iluminancia mínima y media de una instalación. Y la iluminación de una vía pública está en función de ciertos parámetros como la intensidad

del tráfico y la velocidad media de los vehículos, la distribución de la luz de la luminaria, el flujo luminoso de las lámparas y las propiedades de reflexión de la calzada, cabe notar que para estos diseños es recomendado desarrollar un estudio con un porcentual incremento a futuro y con el objetivo que no pase a ser el sistema obsoleto años más tarde. (CONELEC, 2011)

4.2.2 Uniformidad general de luminancia de la calzada (U_o)

Relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio de la vía

4.2.3 Uniformidad longitudinal sobre la calzada (U_L)

Relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima, estas son medidas o calculadas en dirección longitudinal a lo largo del eje central de cada carril o vía. Se mide o se calcula de acuerdo con la norma CIE 140-2000

4.2.4 Deslumbramiento (TI)

El deslumbramiento ocurre cuando la luminancia que produce un objeto es superior a la que existe en el entorno produciendo una sensación molesta para el peatón o usuario, por lo que es necesario establecer criterios de calidad que eviten situaciones peligrosas en donde la ciudadanía puede verse afectada en la salud u ocasionar accidentes.

Este deslumbramiento puede producirse de forma: directa que se da cuando se observa directamente a la fuente de luz; indirecta que es cuando vemos reflejada la luz de una fuente en una superficie reflejante. (CONELEC, 2011)

Figura 38*Deslumbramiento directo y reflectivo*

Nota. En la figura se muestra el deslumbramiento directo y reflectivo de un led. Tomado de Elaboración de material para Manual de iluminación, 2007.

4.2.5 Relación de alrededores (SR)

Relación de la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o menor en espacios que no permite) cada una adyacente a los dos bordes de la calzada (fuera de la calzada) para la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o la mitad del ancho si es inferior) dentro de la calzada. Para calzadas dobles, ambas calzadas se deben tratar conjuntamente como si fueran una única, a menos que estén separadas por más de 10 m. En los casos donde exista una iluminación propia de los alrededores, la utilización de la SR no es necesaria.

Normativa para niveles de Iluminación (parámetros fotométricos) establecidas en la regulación CONELEC 008/11

a) Parámetros fotométricos para tráfico motorizado (M1 al M6), recuerde esto se estandariza según la normativa.

Tabla 8*Parámetros fotométricos para el tráfico motorizado*

Clase de Iluminación	Tipos de superficie				Incremento de Umbral Ti(%) <	Relación de alrededor SR
	Seco		Mojado			
	Lav (cd/m ²)	U _o >	UL >	U _o >		
M1	2.0	0.40	0.70	0.15	10	0.5
M2	1.5	0.40	0.70	0.15	10	0.5
M3	1.0	0.40	0.60	0.15	15	0.5
M4	0.75	0.40	0.60	0.15	15	0.5
M5	0.50	0.35	0.40	0.15	15	0.5
M6	0.30	0.35	0.40	0.15	20	0.5

Nota. Tipos de vías y sus parámetros luminotécnicos en superficie seca y mojadas

b) Parámetros fotométricos para áreas peatonales (P1 al P6), recuerde esto se estandariza según la normativa.

Tabla 9*Parámetros fotométricos para áreas peatonales*

Clases de Iluminación	Tipo de aplicación	
	Iluminación horizontal (lx), referida a nivel de la superficie de uso	
	Promedio	Mínimo
P1	15.00	3.00
P2	10.00	2.00
P3	7.50	1.50
P4	5.00	1.00
P5	3.00	0.60
P6	2.00	0.40

Nota. Detalles de iluminación horizontal para el cumplimiento de las clases de iluminación, rango mínimo y promedio de trabajo.

c) Parámetros fotométricos para Zonas de conflicto (C0 al C5), recuerde esto se estandariza según la normativa.

Tabla 10*Parámetros fotométricos para zonas de conflicto*

Clase de Iluminación	Iluminación promedio E (lux) ⁴	Uniformidad de Iluminancia U _o (E)	Incremento de Umbral (%) ⁵	
			Moderada y alta velocidad	Baja y muy baja velocidad
C0	50		10	15
C1	30		10	15
C2	20		10	15
C3	15	0.40	15	20
C4	10		15	20
C5	7.5		15	25

Nota. Se detalla los parámetros luminotécnicos según las características de la clase de iluminaria y uniformidad.

Recuerde: si el parámetro no es un número entero se aproxima al menor valor.

4.3 Altura de luminaria

Es un criterio importante para alumbrado público, la altura del punto de luz, porque interviene directamente sobre la calidad de iluminación, mantenimiento y costos. Para un correcto montaje se obtiene tomando en cuenta elementos como: la intensidad luminosa de la luminaria y anchura de la calzada.

A continuación, se detalla las ventajas al situar el punto de luz a una gran altura, pero también desventajas que este presenta.

Ventajas:

- Reduce distribución de luminarias en la vía.
- Separación entre puntos de luz puede ser mayor, por lo tanto, reducción del número de unidades luminosas y del costo total de la instalación.
- Permite instalar lámparas de mayor potencia luminosa por punto de luz, al tener menor deslumbramiento.

Desventajas:

- Se incrementa los costos por mantenimiento.
- El flujo luminoso emitido incide fuera de la zona a iluminar, por lo cual, el factor de utilización se reduce.

Un correcto reparto de la luminancia sobre la calzada y minimizar las causas de deslumbramiento, proporciona una calidad de iluminación en la calzada.

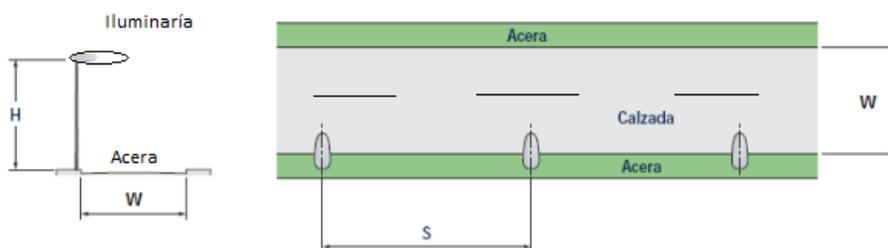
La **relación entre la separación y altura de luminaria** afecta directamente a la uniformidad de la iluminación que se consigue sobre la calzada, a los valores absolutos de las luminancias y a las características fotométricas de la luminaria.

4.4 Distribución de los puntos de luz

Las configuraciones de los puntos de luz en la vía pública se lo pueden realizar de diferentes formas según las necesidades y como estén construidas las calzadas y sus alrededores.

a) Configuración unilateral

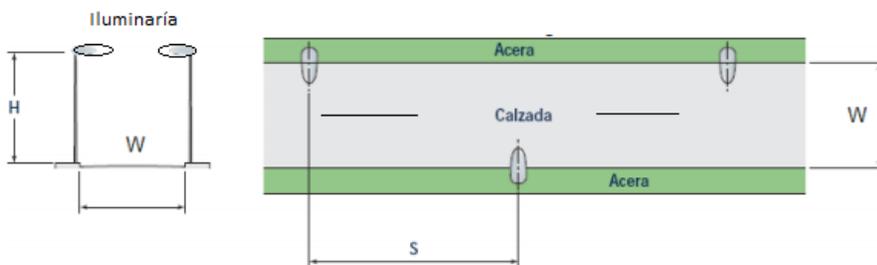
Se distribuye las luminarias a un solo lado de la vía. Es necesario ocupar elementos y componentes apropiados que cumpla con los requisitos fotométricos proporcionando la iluminación ideal en la calzada (altura de montaje, distancia entre luminarias etc.).

Figura 39*Configuración Unilateral*

Nota. La figura representa la configuración unilateral de la calzada y acera. Tomado de Ministerio de minas y energías, Colombia 2010.

b) Bilateral alternada

Se desarrolla esta configuración cuando la vía presenta un ancho W superior a la altura de montaje H de las luminarias. Con esta distribución se busca ocupar un mayor rango de iluminación, minimizando zonas de baja intensidad iluminancia.

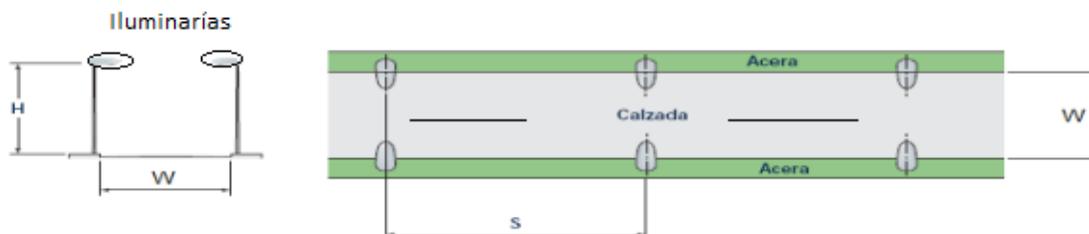
Figura 40*Distribución bilateral alternada*

Nota. La figura representa la distribución bilateral alternada de la calzada y acera. Tomado de Ministerio de minas y energías, Colombia 2010.

c) Bilateral opuesta sin separador

Figura 41

Disposición bilateral opuesta sin parterre



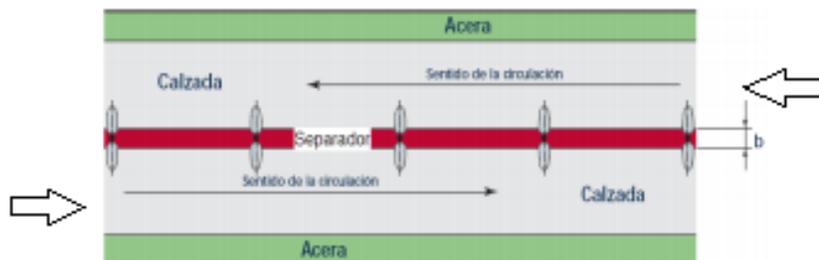
Nota. La figura representa la configuración bilateral opuesta sin parterre de la calzada y acera. Tomado de Ministerio de minas y energías, Colombia 2010.

c) Configuración central doble

El diseño de estos carriles de circulación con dos direcciones está separado por una barrera o separador de cierta dimensión b . Para lo cual se dispone la distribución de postes en el centro con dos brazos que contienen la iluminaria (forma de unilaterales).

Figura 42

Configuración central doble



Nota. La figura representa la configuración central doble de la calzada y acera. Tomado de Ministerio de minas y energías, Colombia 2010.

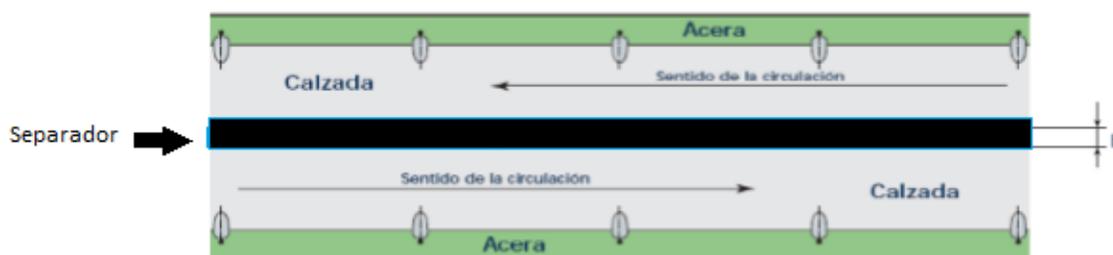
d) Bilateral opuesta con parterre

Esta configuración consta de dos filas de luminarias: una a cada lado de la vía y cada luminaria se encuentra enfrentada con su correspondiente del lado contrario.

Cuando la vía presenta un ancho **W** muy superior a la altura de montaje **H** de las luminarias ($1,25 < (W/H) < 1,75$)

Figura 43

Configuración bilateral opuesta con parterre



Nota. La figura representa la configuración bilateral opuesta con parterre de la calzada y acera. Tomado de Ministerio de minas y energías, Colombia 2010.

4.5 Factor de utilización

Es la relación entre el flujo luminoso que llega a la superficie (calzada), y el nominal emitido por la lámpara instalada. Este parámetro se obtiene de las curvas de utilización de la luminaria la misma que son proporcionadas por el fabricante.

$$fu = \frac{\varphi_{superficie}}{\varphi_{lámpara}} [5]$$

4.6 Factor de mantenimiento

Este factor es importante para el cálculo de la depreciación causado por el envejecimiento de la lámpara y la suciedad que se da al estar en un ambiente muy crítico.

En la siguiente ecuación nos proporciona el factor de mantenimiento respecto a estos parámetros.

$$FM = FE * DLB * Fb \quad [6]$$

FM: Factor de Mantenimiento.

FE: Depreciación de la luminaria por suciedad.

DLB: Depreciación por disminución de flujo luminoso de la bombilla.

Fb: Factor de balasto

El CIE incorpora una tabla para determinar el factor de mantenimiento en función del tipo de luminaria, la frecuencia de mantenimiento y el grado de contaminación ambiental.

Tabla 11

Factor de mantenimiento

Frecuencias de limpieza (años)	1				2			
	P	C	N	D	P	C	N	D
Condiciones ambientales								
Luminarias abiertas	0.96	0.93	0.89	0.83	0.93	0.89	0.84	0.78
Reflector parte superior abierta	0.96	0.90	0.86	0.83	0.89	0.84	0.80	0.75
Reflector parte superior cerrada	0.94	0.89	0.81	0.72	0.88	0.80	0.69	0.59
Reflector cerrado	0.94	0.88	0.82	0.77	0.89	0.83	0.77	0.71
Luminaria a prueba de polvo	0.98	0.94	0.90	0.86	0.95	0.91	0.86	0.81
Luminarias con emisión indirecta	0.91	0.86	0.81	0.74	0.86	0.77	0.66	0.57

Nota. La presente tabla tiene el actor de mantenimiento según la frecuencia de limpieza. Tomado de repositorio de ESPOL Energías,

P=Puro

C: Limpio (clear)

D=Sucio (dirty)

4.7 Análisis del Sistema Actual del centro Histórico de Ibarra

Para el análisis del sistema de iluminación del centro histórico se debe delimitar el perímetro, con el objetivo de realizar el estudio actual del sistema, los componentes de iluminación, las características técnicas, entre otros, por ello se ha determinado las calles que conforman siendo estas: *Calles principales* Chica Narváez, Sánchez y Cifuentes, José Joaquín de Olmedo, Simón Bolívar, Antonio José, Vicente Rocafuerte, *calles secundarias*: José Mejía Barreno, Germán Grijalva, García Moreno, José Flores, Miguel Quevedo, Pedro Moncayo, Juan de Velasco. Se ubican cerca de 35 manzanas y varios sitios de atractivos turísticos y emblemáticos de la ciudad de Ibarra.

La calidad del servicio de iluminación se lo desarrolla mediante simulaciones en software técnicos, mediante la toma de datos de los parámetros y características del sistema de iluminación actuales, los mismos que se verifican con datos obtenidos en campo. Cabe mencionar que se lo ejecutará en un muestreo representativo de todo el conjunto o universo.

4.7.1 Cálculo de la muestra

La muestra es un cierto número de elementos escogidos por diferentes parámetros o técnicas que definan una correcta información representativa del universo, para el cálculo de la muestra existen varios tipos, pero en este caso las aleatorias o probabilísticas son adecuadas para hacer generalizaciones de una muestra significativa de un universo. Lo ideal en una muestra es que todos los miembros del universo tengan

las mismas probabilidades de pertenecer en la muestra a fin de obtener información relevante del universo.

La siguiente fórmula se desarrolla para universos menores a 100 000 elementos.

$$n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{E^2 (N-1) + Z^2 * P * Q} \quad [7]$$

Donde:

Z = Distribución normal (tabla Z).

P = Variabilidad positiva

Q = Variabilidad negativa

N = Tamaño del universo

E = Error muestral

4.7.2 Clases de muestreo

El tipo aplicar en este estudio es el **muestreo aleatorio simple** este es una técnica de muestreo en la que todos los elementos que forman el universo pueden ser incluidos en el marco muestral, por lo que tienen idéntica probabilidad de ser seleccionados. El proceso de muestreo que emplea esta técnica es equivalente a realizar un sorteo entre los elementos (iluminarias) del universo, donde se va extrayendo al azar iluminarias de cada sección.

4.7.3 Tamaño del universo

Es la cantidad total de elementos que se va analizar, en este caso las iluminarias a esto lo denominamos tamaño del universo, entonces se planifica los elementos y la distribución para el universo de la siguiente manera; el centro Histórico de la ciudad de

Ibarra consta de 35 manzanas, de las cuales se desarrolla segmentos o cuadras siendo estas un total de 81 cuadras intervenidas, de estas se dispone 14 calles (6 principales y 8 transversales), en las cuales se encuentra un total de 250 luminarias (193 luminarias de sodio y 57 luminarias LED). Existen algunas variables, pero en este estudio se va a tomar en cuenta como universo el número de cuadras (en cada cuadra consta de un promedio de 3 iluminarias).

$$N = 81$$

4.7.4 Error muestra (E)

Es un factor importante para considerar una hipótesis verdadera o falsa. Para tener un error al 0% es necesario estudiar a todo el universo con las características individuales, pero demanda mucho tiempo y recursos.

El rango de error comúnmente usado varía entre el 4 y 8%, para este caso de estudio se coge un valor promedio el cual es de 7 %, este valor permite coger una muestra representativa del universo.

$$E = 0.07$$

4.7.5 Constante de nivel de confianza (Z)

Es el porcentaje de seguridad que se quiere para generalizar los resultados obtenidos en el estudio, es decir, un nivel de confianza del 100% permite generalizar completamente los resultados, pero eso indica que el estudio se lo debe realizar a todo el universo. Por tal motivo plantearse un nivel de confianza adecuado permite reducir costos, tiempo y nos permite analizar universos amplios. A continuación, se muestra una tabla de distribución estándar.

Tabla 12*Constante de confianza Z*

Tabla de distribución normal estándar (Z)							
Z	1.15	1.28	1.44	1.65	1.96	2	2.58
%	75	80	85	90	95	95.5	99

Nota. Recuperado de Fuente: Estadística, segunda edición. Murray R. Spiegel

Se ha planteado un nivel de confianza del 90% siendo este el porcentaje recomendable en un estudio. Según la tabla obtenemos una constante Z.

$$Z = 1.65$$

4.7.6 Variabilidad positiva (P)

Es la probabilidad o el porcentaje con el cual se aceptó una hipótesis de un estudio anterior. En ciertos casos, el valor de P es desconocido o cuando la encuesta abarque diferentes aspectos, donde estos valores son desiguales, se recomienda tomar el caso más adecuado, siendo este $P = Q = 0.5$ (50 %), una proporcionalidad igualitaria.

Para este caso de estudio se implementó un análisis de 7 características que intervienen el proceso con el objetivo de mejorar la variabilidad positiva. Estos factores son: Tipo de luminaria, Altura de instalación, Grado de inclinación, ancho de la acera, Ancho de la calzada, Factor de mantenimiento y distancia entre luminarias.

Análisis de Uniformidad General

Se tomó un promedio de luminarias previstas en el análisis de estudio, de las cuales se recolectaron los siguientes datos:

a) Luminaria: Sodio Alta presión de 250 W y de 150 W, LED de 115 y 105 W (tenemos una potencia promedio de 155 W siendo un porcentaje del 100% un 62%)

- b) **Altura:** 8m para todas las luminarias.
- c) **Inclinación:** 10° para todas las luminarias.
- d) **Acera:** Promedio 2.80 m, Mínimo 2.20 m, porcentaje de uniformidad 0,78 %.
- e) **Calzada:** Promedio 8.20 m, Mínimo 7.10 m, porcentaje de uniformidad 0,86 %.
- f) **Factor de mantenimiento:** No existe un ciclo de mantenimiento preventivo por lo que se considera uniformidad en todo el sector.
- g) **Distancia entre luminarias:** Promedio 35.18 m, Mínimo 34 m, porcentaje de uniformidad 0.96 %.

El objetivo es tener un porcentaje que demuestre la realidad del sistema por lo tanto de un 100% que conforma los 7 ítems se cumple un 6.22 %, donde se obtiene un 88% del porcentaje total.

$$P = 0.88$$

4.7.7 Variable negativa

Es el porcentaje de rechazo de la hipótesis, lo contrario de la variabilidad positiva. Esta dada por la siguiente ecuación.

$$Q = 1 - P \quad [8]$$

$$Q = 1 - 0.88 = 0.12$$

4.7.8 Tamaño de la muestra con los datos obtenidos

Tabla 13

Tamaño de la muestra con los datos obtenidos

Muestra	N	Z	E	P	Q	n
1	81	1.65	0.07	0.88	0.12	34.2

Por lo tanto, se coge un muestreo de 34 cuadras (cada cuadra consta con un promedio de 3 iluminarías).

4.7.9 Factor de mantenimiento

Para el factor de mantenimiento se ha considera mediante datos utilizados en campo por medio del cuerpo técnico de la empresa “EMELNORTE” el factor corresponde a un ciclo de limpieza de 2 años, con luminarias a prueba de polvo a un 0.86.

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1 Tema de la Propuesta

La propuesta está enfocada en examinar la eficiencia energética, mediante un análisis comparativo del consumo energético del sistema de iluminación actual y el que se efectúa con el cambio de iluminación a LED, todo esto mediante estudio de campo y simulación, además de la incorporación de la tecnología de Telegestión, el mismo que se lo desarrolla mediante el estudio de cada sistema teniendo en cuenta ciertos parámetros como eficiencia, robustez, costos, comunicación, sistemas de supervisión, maniobra y control.

5.2 Objetivo de la propuesta

- Proponer un sistema de telegestión con la incorporación iluminación Led, para mejorar la eficiencia energética del alumbrado público en el centro histórico de Ibarra
- Análisis comparativo entre el sistema actual y el propuesto, para diagnosticar la factibilidad técnica de la implementación.

5.3 Justificación de la Propuesta

La eficiencia energética es el nuevo parámetro de calidad en servicios de alumbrado públicos, esto quiere decir que este sistema tiene un alto consumo de energía que en mucho de los casos representa altos costos, energía disponible innecesaria, mantenimiento continuo entre otros aspectos. Por lo cual, es necesario la implementación de sistemas de alumbrado público con nueva tecnología que permita realizar un ahorro energético y que cumpla con las especificaciones técnicas. Además

de un sistema para la supervisión, monitoreo y control de las redes de iluminación siendo esta la tecnología de Telegestión, claro está que se debe seleccionar la que cumpla con los requerimientos y adecuaciones al sistema actual del centro histórico.

5.4 Análisis y Fundamentación de la Propuesta

El análisis del sistema de iluminación se lo desarrolla mediante un software de iluminación para su comparación con las lámparas que se encuentran actualmente verificadas en estudio de campo y la nueva tecnología LED, y después se desarrolla tablas comparativas de los sistemas de telegestión para obtener la tecnología que se adecua al sistema que se encuentra en el centro histórico de Ibarra.

5.5 Simulación del sistema actual

Para iniciar con la simulación una vez obtenido el cálculo del tamaño de muestra en la que consta de 34 cuadras, se procede al análisis del sistema con luminarias de vapor de sodio y LED (con una pequeña muestra), para ello se utilizó programas especializados de cálculo lumínico, con el objetivo de simular con los datos obtenidos de campo (Anexo 1), la distribución lumínica en el centro histórico y validar los resultados con los requerimientos según la normativa.

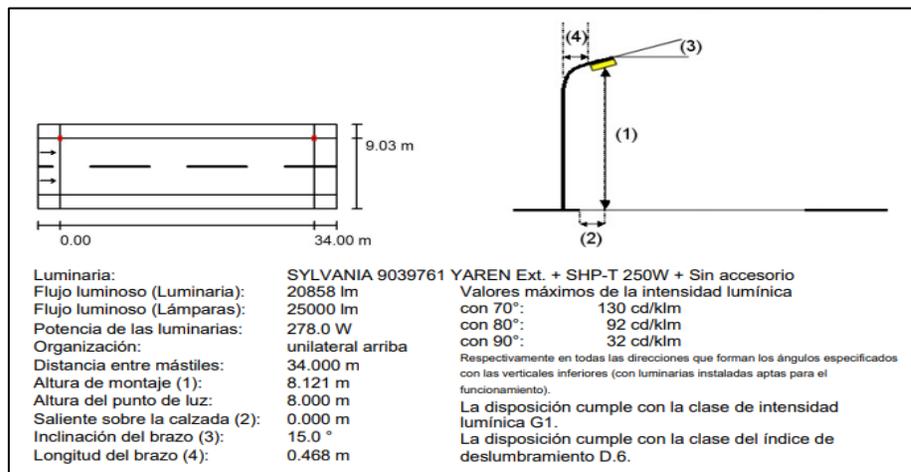
De esta forma se realizó la simulación de cada una de las cuadras determinadas las cuales se encuentra detalladas en el Anexo 2. A continuación se presenta un promedio general del sistema de alumbrado público.

Calles Secundarias

Centro Histórico / Calle: Pedro Moncayo

Figura 44

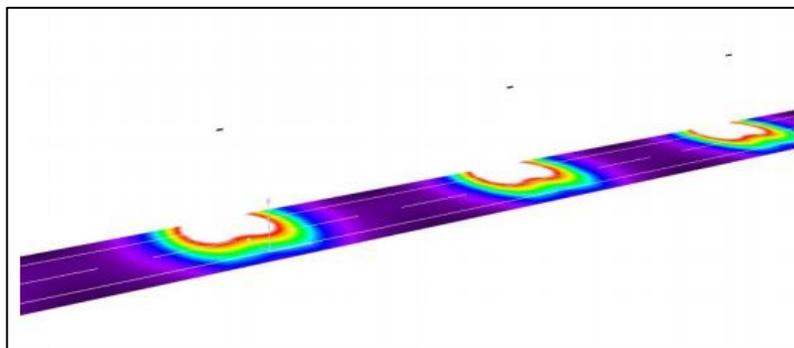
Datos de planificación y análisis



Nota. En la figura 44 muestra los parámetros técnicos de la iluminaria y los datos obtenidos de campo de la calzada y cera, diseñado en el software Dialux.

Figura 45

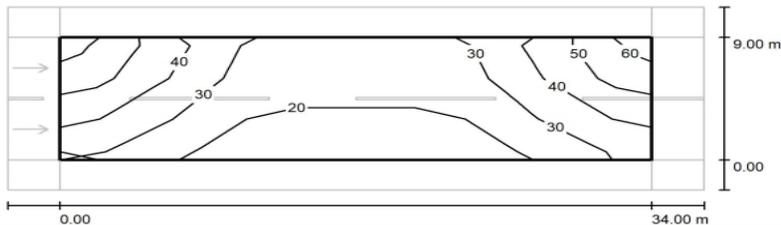
Datos de planificación y análisis



Nota. En la figura se muestra el proceso calorímetro de la calle, diseñado en el software Dialux.

Figura 46

Evaluación de calzada Isolíneas



Nota. En la figura se muestra la evaluación de la calzada, diseñado en el software Dialux.

Tabla 14

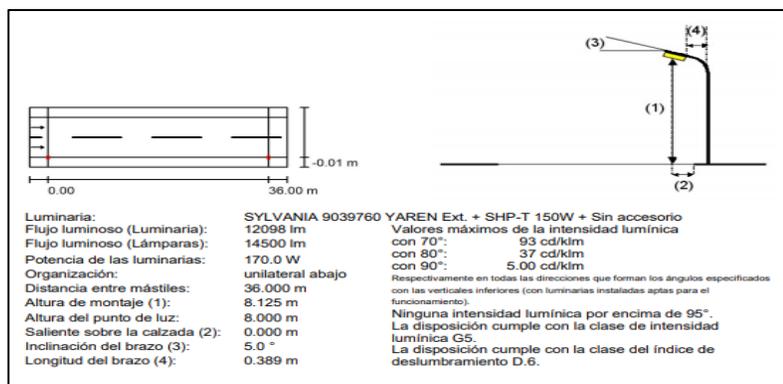
Análisis de luminaria de vapor de sodio Calle Pedro Moncayo

Luminarias de vapor de sodio 250 W (promedio) Calle secundaria Pedro Moncayo (26)									
H(m)	d(m)	Acera(m)	Calzada(m)	Lmed (cd/m ²)	Uo (%)	Emed (Lux)	Ti (%)	Ui 1 (%)	SR
8	34	2.2	9	1.23	0.26	27	3	0.33	0.73

Centro Histórico / Calle: Germán Grijalva

Figura 47

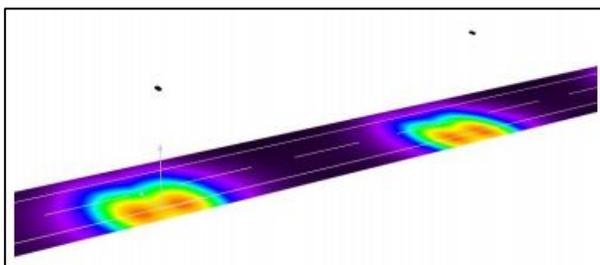
Datos de planificación y análisis



Nota. En la figura muestra los parámetros técnicos de la iluminaria y los datos obtenidos de campo de la calzada y cera, diseñado en el software Dialux.

Figura 48

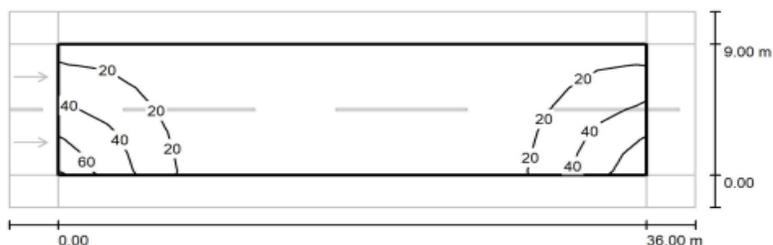
Procesado de colorimetría



Nota. En la figura se muestra el proceso calorímetro de la calle, diseñado en el software Dialux

Figura 49

Evaluación de calzada Isolíneas



Nota. En la figura se muestra la evaluación de la calzada, diseñado en el software Dialux.

Tabla 15

Análisis de luminaria de vapor de sodio Calle German Grijalva

Luminarias de vapor de sodio 150 W (promedio)									
Calle secundaria Germán Grijalva (18)									
H(m)	d(m)	Acera(m)	Calzada (m)	Lmed (cd/m ²)	Uo (%)	Emed (Lux)	Ti (%)	Ui 1 (%)	SR
8	36	2.2	9	0.59	0.16	27	2	0.33	0.73

Según el análisis promedio de las calles principales se puede notar que ciertas calles cumplen con los requerimientos, pero existen varias calles con niveles de uniformidad general de calzada por debajo del mínimo requerido para una vía de tipo M3 (Anexo 1)

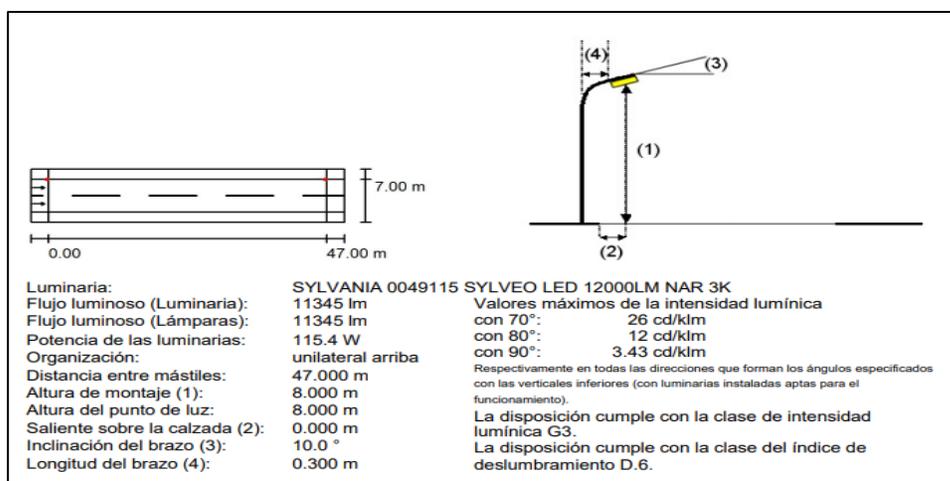
como son Juan de Velasco y Miguel Oviedo (Anexo 2), según establece la normativa CONELEC 008/11

Calles Principales

Centro Histórico / Calle: José Joaquín Olmedo

Figura 50.

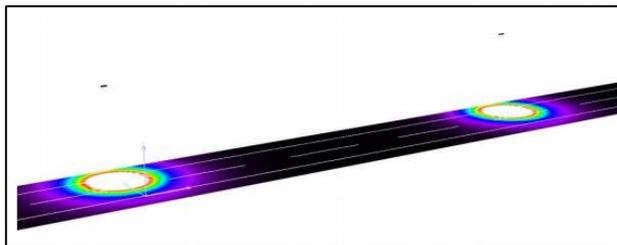
Datos de planificación y análisis de la calle José Joaquín de Olmedo



Nota. En la figura muestra los parámetros técnicos de la iluminaria y los datos obtenidos de campo de la calzada y cera en la calle J.J.Olmedo, diseñado en el software Dialux.

Figura 51.

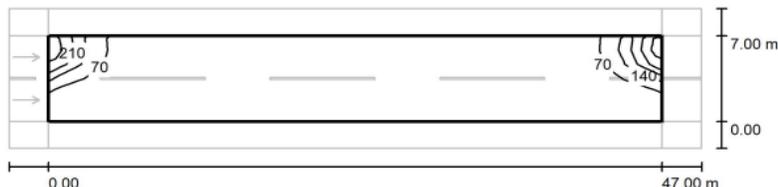
Procesado de colorimetría calle JJ Olmedo



Nota. En la figura se muestra el proceso calorímetro de la calle, diseñado en el software Dialux

Figura 52

Detalle isolíneas (distribución de lux)



Nota. En la figura se muestra la evaluación de la calzada, diseñado en el software Dialux.

Tabla 16

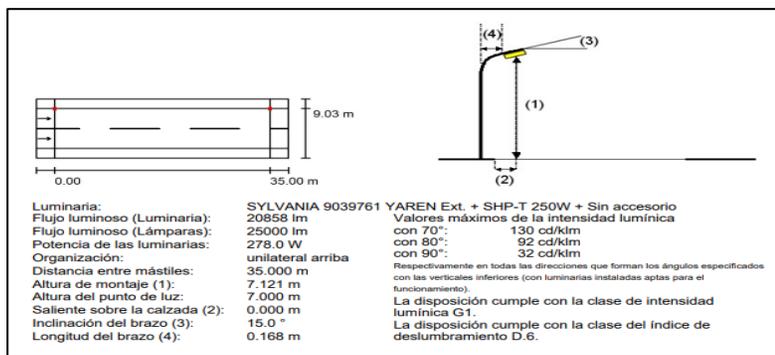
Análisis de luminaria Led Calle José Joaquín de Olmedo

Luminarias Led de 115W (promedio) Calle principal José Joaquín de Olmedo (6)									
H(m)	d(m)	Acera(m)	Calzada(m)	Lmed (cd/m2)	Uo (%)	Emed (Lux)	Ti (%)	Ui 1 (%)	SR
7	47	2.1	7	1.17	0.16	26	4	0.06	0.67

Centro Histórico / Calle: Sánchez y Cifuentes

Figura 53

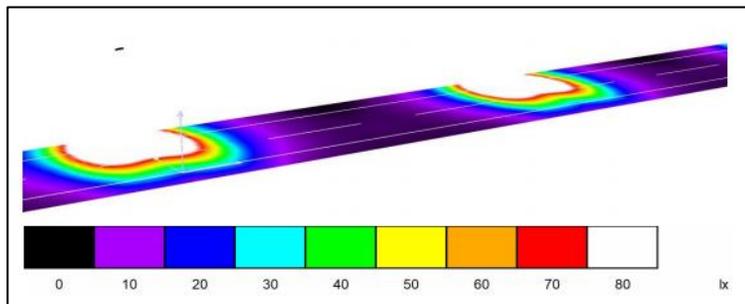
Datos de planificación y análisis de la calle José Joaquín de Olmedo



Nota. En la figura 50 muestra los parámetros técnicos de la iluminaria y los datos obtenidos de campo de la calzada y cera en la calle J.J.Olmedo, diseñado en el software Dialux.

Figura 54

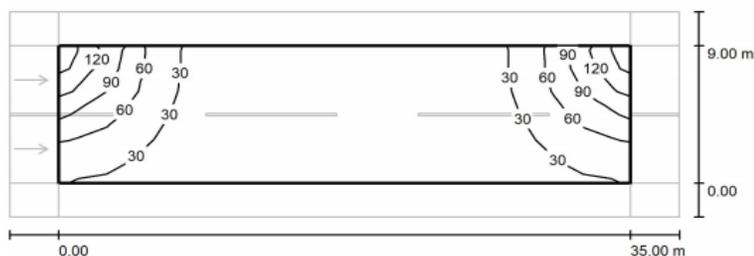
Procesado de colorimetría calle JJ Olmedo



Nota. En la figura se muestra el proceso calorímetro de la calle, diseñado en el software Dialux

Figura 55

Detalle isolíneas (distribución de lux)



Nota. En la figura se muestra la evaluación de la calzada, diseñado en el software Dialux.

Tabla 17

Análisis de luminaria de vapor de sodio Calle Sánchez y Cifuentes

Luminarias de vapor de Sodio de 250 W (promedio) Calle principal Sánchez y Cifuentes (8)								
H(m)	d(m)	Acera(m)	Calzada(m)	Lmed (cd/m ²)	Uo (%)	Emed (Lux)	Ti (%)	Ui 1 (%)
8	35	2.2	9	0.67	0.02	27	0	0.42

Para el análisis de las calles transversal al igual que en las principales existen ciertas cuadras que si cumplen con los requerimientos mínimos, pero existen algunas

que no cumplen con estos detalles técnico entre ellas tenemos Sánchez y Cifuentes, Manuel de la Chica Narváez.

Generalmente dentro del análisis desarrollado en el sistema general de iluminación público, los parámetros como es la Luminancia promedio está en el rango establecido ($L_{med} = 1,00 \text{ cd/m}^2$), la uniformidad de la calzada existe una cierto variación menor a lo establecido ($U_o \geq 0,4$; $U_i \geq 0,6$), el deslumbramiento en todas las vías si cumple efectivamente, ($TI \leq 15\%$).

5.6 Consumo energético del sistema Actual

Para el consumo energético de una luminaria de vapor de sodio depende de la potencia de la bombilla instalada y los equipos auxiliares que se implementan para el funcionamiento, por lo cual se debe tener en cuenta para los cálculos de la demanda energética. Según la Regulación No. CONELEC 006/18, la potencia total consumida por una luminaria de acuerdo a la lámpara instalada se puede determinar por la siguiente tabla:

Tabla 18

Potencia total consumida de una luminaria de vapor de sodio

Potencia (W)	Potencia máxima en auxiliares (%)
$P \leq 70$	16
$70 < P \leq 100$	15
$100 < P \leq 150$	13
$P > 150$	12

En la siguiente tabla se ilustra la demanda energética de sistema de iluminación actual.

Tabla 19

Demanda energética del sistema de iluminación actual.

Tipo de luminaria	Tensión	Potencia	N° de luminarias	% de consumo elementos externo (W)	Consumo de las luminarias (W)	Consumo de las luminarias (KW)	Consumo KWh/día	Consumo KWh/mes	Consumo KWh/ anual
Vapor de Sodio	220	250	110	3575	31075	31.075	372.9	11187	134244
Vapor de Sodio	220	150	83	1618.5	14068.5	14.0685	168.822	5064.66	60775.92
Lampara Led	220	115	29	433.55	3768.55	3.76855	45.2226	1356.678	16280.136
Lampara Led	220	105	28	382.2	3322.2	3.3222	39.8664	1195.992	14351.904
Total			250		Total	52.23425	626.811	18804.33	225651.96

Nota. La presente tabulación corresponde a los datos obtenidos de campo mediante los parámetros técnicos de cada lámpara.

5.7 Análisis de la muestra de campo del Luxómetro y simulación

A continuación, se muestra los valores obtenidos en la prueba de campo mediante el luxómetro en las calles seleccionadas y comparadas con los valores de la simulación para constatar los resultados, mismos que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 20

Análisis de la muestra de campo del luxómetro

Nombre de la calle	Potencia de luminaria	Disposición de luminarias	L/med (cd/m ²)	Uo (%)	Emed (lux)	Emed (lux) Campo	Ti (%)	UI 1 (%)	SR
Centro Histórico / Calle: Manuel de la Chica Narváez	Sodio de 150W	Unilateral	0.53	0.22	13	9.52	2	0.14	0.77
	Sodio de 150W	Unilateral	0.57	0.27	14	10.58	2	0.17	0.77
Promedio			0.55	0.245	13.5	10.05	2	0.155	0.77
Centro Histórico / Calle: Sánchez y Cifuentes	led 105	Unilateral	0.73	0.08	22	23.07	0	0.04	0.45
	Led 105	Unilateral	0.5	0.04	15	16.51	1	0.04	0.45
Promedio			0.615	0.06	18.5	19.79	0.5	0.04	0.45
Centro Histórico / Calle: José Joaquín Olmedo	Sodio de 250	Unilateral	0.7	0.23	17	14.59	3	0.1	0.73
	Led 115	Unilateral	0.67	0.02	21	18.53	0	0	0.32
Promedio			0.685	0.125	19	16.56	1.5	0.05	0.525

Nota. Descripción de los parámetros luminotécnicos, estudios de campo y simulación

5.8 Implementación del nuevo Sistema de alumbrado público con tecnología led

La tecnología led es la innovación en iluminación por sus costos, eficiencia en flujos luminosas, entre otros, por tal motivo se desarrolla la implementación del nuevo sistema de alumbrado público con tecnología led, el mismo que cumpla con los diseños de iluminación establecidos para una calle tipo M3 que presenta el sistema actual.

Con la ejecución de este proyecto se plantea la sustitución de luminarias de sodio por led, con el objetivo de analizar los aspectos técnicos que deben cumplir los módulos de iluminación. El análisis se desarrolla de igual forma en ciertas calles de forma aleatoria comprobando que cumpla con los requerimientos caso contrario determinar las mejores opciones

5.9 Análisis del sistema con tecnología Led

El análisis se efectuó mediante el software de análisis lumínico como se desarrolló en los anteriores ítems, para lo cual se procedió a escoger lámparas Led con ciertas características técnicas generales que son utilizadas en alumbrado público, esto se basó con diferentes bases digitales, empresas de tecnología Led entre otras, A continuación, se muestra una tabla con detalles de la lámpara led seleccionada y simulada comprobando el cumplimiento de los parámetros técnicos.

Tabla 21

Análisis del sistema con tecnología led

Descripción	Especificación técnica
Voltaje nominal	240/120V
Potencia	170w
Frecuencia	60 Hz
Protección	IP66
Flujo lumínico	22700 lúmenes
Eficiencia luminosa	>110 lm/w
Corriente de trabajo	700 mA

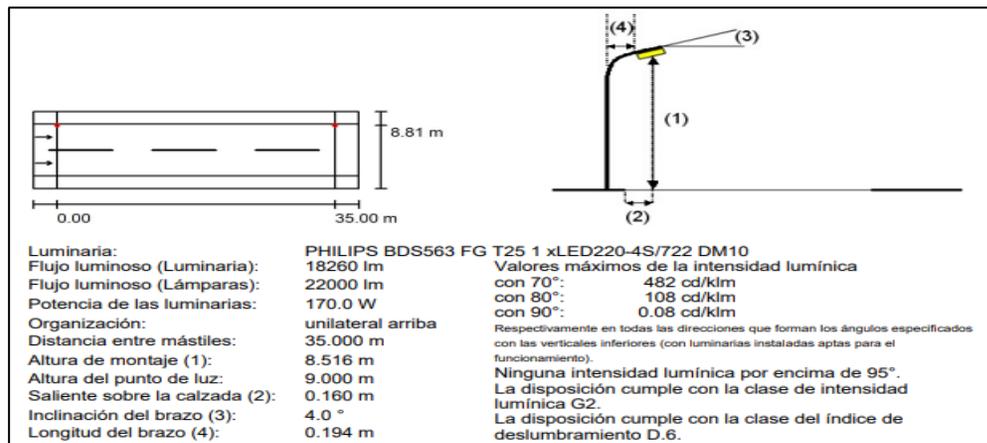
Nota. Recuperado de Base digitales, repositorio de Universidad de Cuenca, capacitaciones Roy Alpha.

Desarrollo de la simulación de las nuevas lámparas de iluminación LED

Centro Histórico / Calle principal: Sánchez y Cifuentes

Figura 56

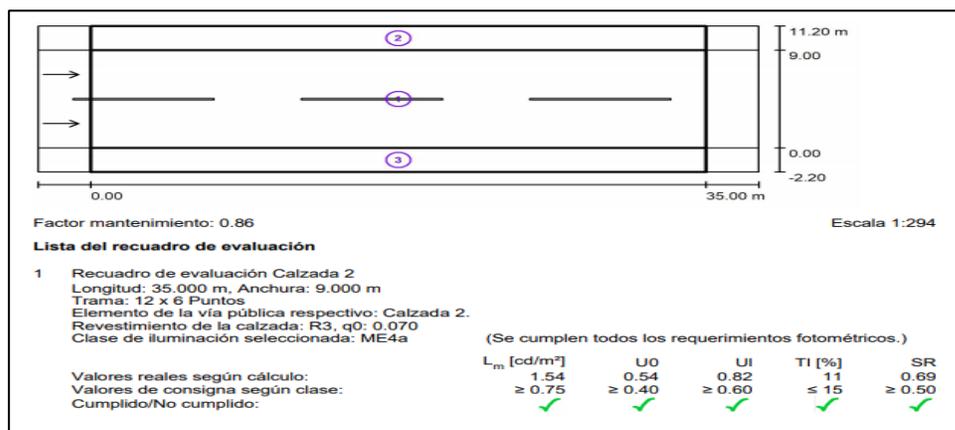
Datos de planificación y análisis de la calle Sánchez y Cifuentes



Nota. En la figura se muestra los parámetros técnicos de la luminaria y los datos obtenidos de campo de la calzada y acera en la calle Sánchez y Cifuentes, diseñado en el software Dialux.

Figura 57

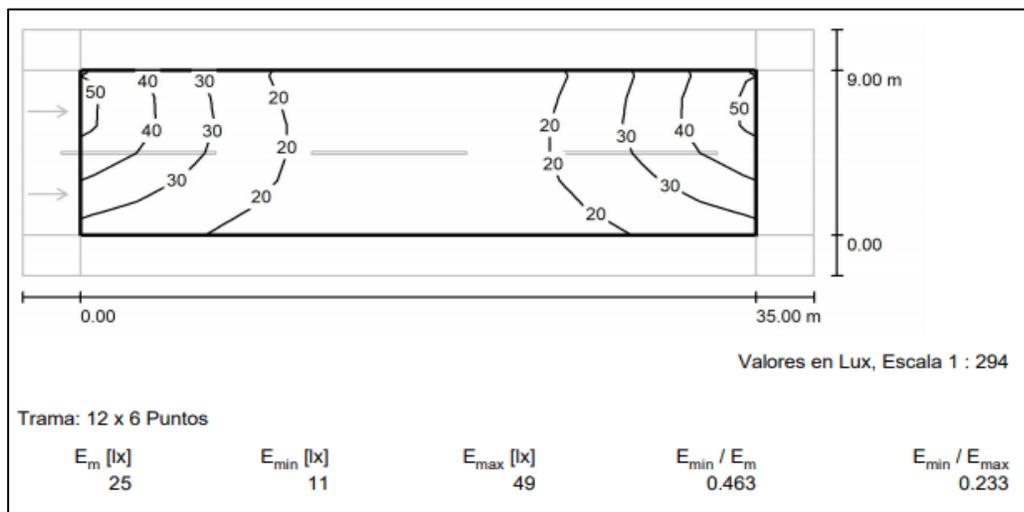
Evaluación técnica de la calle Sánchez y Cifuentes



Nota. En la figura se muestra los parámetros técnicos de la iluminaria y los datos obtenidos de campo de la calzada y cera en la calle Sánchez y Cifuentes, diseñado en el software Dialux.

Figura 58

Detalle técnico de Lux de la calle Sánchez y Cifuentes



Nota. En la figura se muestra los parámetros técnicos de la iluminaria y los datos obtenidos de campo de la calzada y cera en la calle Sánchez y Cifuentes, diseñado en el software Dialux.

Tabla 22

Especificaciones y parámetros luminotécnicos de la calle Sánchez y Cifuentes

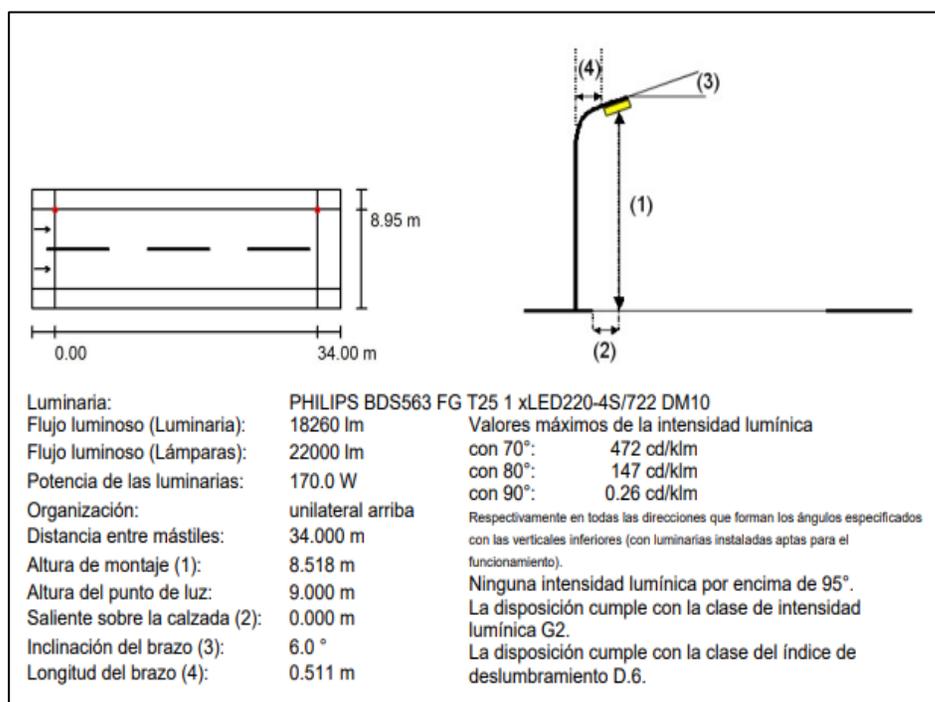
Luminarias LED									
Calle principal Sánchez y Cifuentes (8)									
H(m)	d(m)	Acera (m)	Calzada (m)	Lmed (cd/m ²)	Uo (%)	Emed (Lux)	Ti (%)	Ui (%)	RS
8	35	2.2	9	1.54	0.54	25	11	0.82	>0.50
									0.69

Nota. Detalles de los parámetros luminotécnicos, con la nueva tecnología Led.

Centro Histórico / Calle secundaria: Pedro Moncayo

Figura 59.

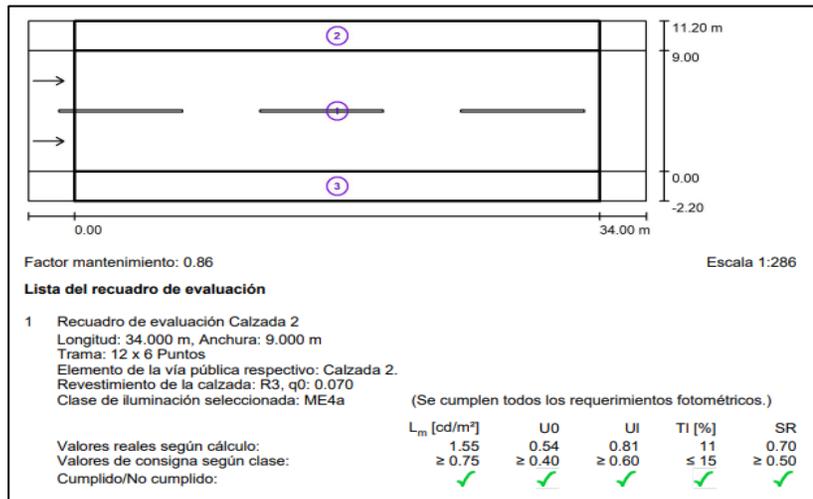
Datos de planificación y análisis de la calle Pedro Moncayo



Nota. En la figura se muestra los parámetros técnicos de la iluminaria y los datos obtenidos de campo de la calzada y cera en la calle Pedro Moncayo, diseñado en el software Dialux

Figura 60

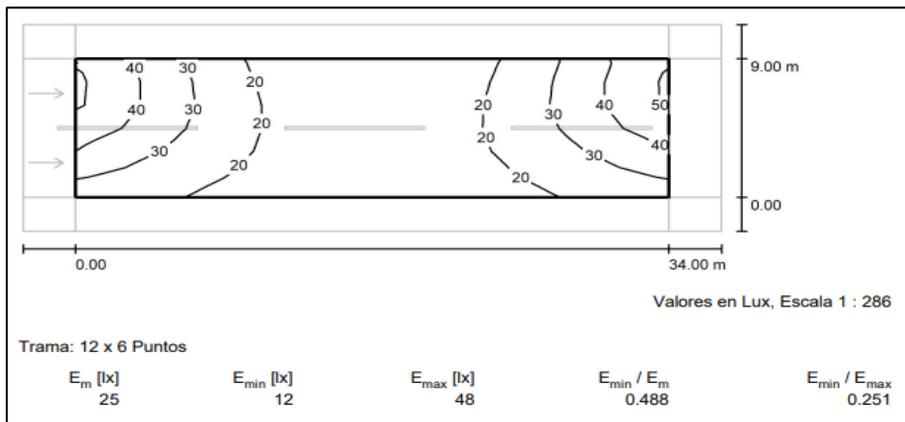
Evaluación técnica de la calle Pedro Moncayo



Nota. En la figura se muestra los parámetros técnicos de la iluminaria y los datos obtenidos de campo de la calzada y cera en la calle Pedro Moncayo, diseñado en el software Dialux.

Figura 61

Detalle técnico de Lux de la calle Sánchez y Cifuentes



Nota. En la figura se muestra los parámetros técnicos de la iluminaria y los datos obtenidos de campo de la calzada y cera en la calle Sánchez y Cifuentes, diseñado en el software Dialux.

Tabla 23

Especificaciones y parámetros luminotécnicos realizados en la calle Sánchez y Cifuentes

Luminarias LED									
Calle secundaria Pedro Moncayo (26)									
H(m)	d(m)	Acera(m)	Calzada (m)	Lmed (cd/m ²)	Uo (%)	Emed (Lux)	Ti (%)	Ui (%)	RS >0.50
8	34	2.2	9	1.54	0.54	25	11	0.81	0.70

La nueva disposición de lámpara a base de tecnología LED, permite cumplir los estándares técnicos de luminosidad en las calles del centro histórico de la ciudad de Ibarra, esto al analizar los valores de diseño y obtener resultados favorables en la simulación.

Dentro del análisis nuevo con tecnología Led para el sistema de iluminación público, los parámetros como es la Luminancia promedio están en el rango establecido ($L_{med} = 1,00 \text{ cd/m}^2$), la uniformidad de la calzada cumple en todos sus parámetros ($U_o \geq 0,4$; $U_i \geq 0,6$), de igual forma el deslumbramiento, ($T_i \leq 15\%$).

5.10 Consumo energético del nuevo sistema con tecnología LED

Para el análisis energético se toma en cuenta las lámparas Led que se encuentran instaladas actualmente siendo un total de 57 luminarias y el restante es reemplazado por lámparas de 170W con tecnología Led, además corresponde un 10% de potencia para los equipos auxiliares y con ello determinar el consumo energético.

Tabla 24*Consumo energético del nuevo sistema con tecnología LED*

Tipo de luminaria	Tensión	Potencia	N° de luminarias	% de consumo elementos externo (W)	Consumo de la luminaria (W)	Consumo de la luminaria (KW)	Consumo KWh/día	Consumo KWh/mes	Consumo KWh/ anual
Lámpara Led	220	170	193	3281	36091	36.091	433.092	12992.76	155913.12
Lámpara Led	220	115	29	333.5	3668.5	3.6685	44.022	1320.66	15847.92
Lámpara Led	220	105	28	294	3234	3.234	38.808	1164.24	13970.88
Total						42.9935	515.922	15477.66	185731.92

Nota. Detalles de consumo de la tecnología Led, el consumo energético que desarrolla durante un año.

5.11 Selección de un sistema de telegestión para el centro histórico de Ibarra

Para la selección del sistema de telegestión se procede a realizar tablas comparativas con el objetivo de colocar los aspectos técnicos que ofrece cada una de los sistemas.

Tabla 25*Detalle Técnico del módulo de iluminación Smartmation "Raled II"*

Módulo de iluminación Smartmation "Raled II"	
Potencia	170 W
Voltaje nominal	100 / 277 VAC
LED	PHILLIPIS
Driver	Phillipis advance led driver Xitanium
Intensidad Luminosa	22700 lm
Eficiencia Luminosa	150 lm/w
THD	IEC 61000-3-2
Mantenimiento Lumínico	150000 horas
Nivel de protección IP	IP66

Tabla 26*Detalle Técnico del módulo de iluminación Serie LENA 2*

Módulo de iluminación Serie LENA 2	
Potencia	150 W
Voltaje nominal	100 / 277 VAC
LED	PHILLIPIS Luxeon
Driver	OSRAM/INventronics
Intensidad Luminosa	18750 - 22500 lm
Eficiencia Luminosa	135lm/w - 150 lm/w
THD	< 15%
Mantenimiento Lumínico	> 100000 horas
Nivel de protección IP	IP66

Nota. Tomado del sistema de telegestión LuxControl, sección apartados Serie Lena

Tabla 27*Detalle Técnico del módulo de iluminación Schareder*

Módulo de iluminación Schareder	
Potencia	170 W
Voltaje nominal	100 / 277 VAC
LED	PHILLIPIS Luxeon
Driver	OSRAM/INventronics
Intensidad Luminosa	18750 - 22500 lm
Eficiencia Luminosa	135lm/w - 150 lm/w
THD	< 15%
Mantenimiento Lumínico	> 120000 horas
Nivel de protección IP	IP66

Nota. Tomado del catálogo de los sistemas Schareder, sección módulos de luminarias

En la siguiente tabla expresa las ponderaciones dependiendo si el sistema cumple o no cumple con los requerimientos (cualitativo), mientras que en otros casos se detalla a nivel cualitativo, esto quiere decir que se va

seleccionando desde un rango; mayor (es el mejor de los tres sistemas), medio y bajo (el de menor rango de los sistemas analizados).

Tabla 28

Ponderación de cumplimiento

Detalle cuantitativo	Porcentaje de cumplimiento	Ponderación	<i>Detalle cualitativo</i>
Cumple con los requerimientos	100%	1	<i>Mayor</i>
La variancia que tiene es aceptable (solo para datos cuantitativos)	50%	0.5	<i>Medio</i>
No cumple con los requerimientos	0%	0	<i>Bajo</i>

A continuación, se presenta la matriz de análisis alternativo en base a distintos criterios técnicos de sistemas de telegestión y las diferentes ponderaciones que poseen cada uno de los tres sistemas sin afectar del uno al otro.

Tabla 29

Matriz de análisis alternativo para selección del sistema de telegestión

	Criterio de Análisis	de	S. telegestión Smartmation	S. telegestión Luxcontrol	S. telegestión Austube Schröder
Módulo Iluminaria	Eficiencia Luminosa 150 lm/w	>	1	1	1
	Potencia de luminaria 170W		1	0.5	1
	<i>Mayores horas para mantenimiento</i>		1	0	0.5

	Protección IP66	1	1	1
	Tipo de comunicación inalámbrica	1	1	1
Estructura de comunicación	Red de comunicación	1(LoRa WAN)	1 (LoRa WAN)	1(LoRa WAN)
	En el caso de pérdida de energía el sistema incorpora encendido por fotocélula	1	1	1
	<i>Tiempo de independencia en el caso de pérdidas de energía</i>	<i>1(1 hora)</i>	<i>0.5 (40 min)</i>	<i>0.5 (40 min)</i>
	Criterio de Análisis	S. telegestión Smartmation	S. telegestión Luxcontrol	S. telegestión Austube Schréder
	<i>Alcance de las luminarias para control</i>	<i>1 (500 m)</i>	<i>0.5 (450m)</i>	<i>0.5 (450 m)</i>
	Driver de control	Concentrador	Stella	LUCO P7 CM
Driver y Controladores	Configuración PSS (Power Savings System)	1	1	1
	Capacidad de control unidades	1 (100 nodos)	0.5 (50 unidades)	1 (nodos continuos logrando cubrir la totalidad del sistema de iluminación 100)

	Generación de estadísticos e informes del sistema de iluminación	1	1	1
Sistema de Gestión y control	<i>Interoperación con otros sistemas por ejemplo de vigilancia, seguridad gestión de tráfico.</i>	1	0.5	1
	Criterio de Análisis	S. telegestión Smartmation	S. telegestión Luxcontrol	S. telegestión Austube Schröder
	Gestión del sistema de forma remota (dispositivos móviles)	1	1	1
	Ponderación total	16	12.5	14.5

Nota. Matriz de análisis alternativo mediante las características estructurales y el funcionamiento de cada sistema de telegestión

El análisis para la selección del sistema de telegestión se lo realiza mediante ponderación de cumplimiento en cada una de las características técnicas. Siendo estas el módulo de iluminación, la comunicación, el controlador (driver), el sistema de gestión y control, en forma general los tres sistemas son muy competitivos, eficientes, se adecuan a las necesidades.

Que tienen una cierta particularidad en su estructura, pero el principio es el mismo. De esta forma se escogió el mejor entre los sistemas más eficientes, dando como resultante la tecnología de Smartmation cumpliendo ciertas

especificaciones que van a mejorar completamente el sistema de iluminación, tanto para la gestión, monitoreo, control y mantenimiento.

5.12 Evaluación económica para la viabilidad del sistema de telegestión seleccionado

Dentro de análisis económico se toma en cuenta ciertos aspectos de construcción como de operación, cabe recalcar que ciertas cifras son desarrolladas mediante promedio en experimentos de campo ejecutadas por el personal de la empresa eléctrica de Ibarra.

Tabla 30

Costos de los sistemas de telegestión

Gastos de proyecto	S. Telegestión Smartmation	S. Telegestión Luxcontrol	S. Telegestión Austube Schröder
Módulos de Iluminación	340,900.00	307,128.50	334,390.00
Driver	240,100.00	242,898.08	245,750.00
Controladores	9,000.00	8,780.40	8,500.00
Sistema de control	65,300.00	63,267.40	65,400.00
Conectores- conductores	13,500.00	19,784.24	10,200.00
Otros	9,500.00	3,823.20	10,100.00
Mano de obra			
Desmontaje de luminaria	4,850.00	15,384.08	5,200.00
Montaje de módulos de luminarias Led	8,760.00	18,622.40	9,500.00
Montaje de tableros de control	360.00	457.92	350.00
Instalación del centro de control	345.00	66.84	874.50
Extras	1,850.00	1,900.00	2,000.00
Total	\$ 694,465.00	\$ 682,113.06	\$ 692,264.50

Nota. Detalle de los costos de los instrumentos y materiales de los sistemas de telegestión, tabla comparativa.

En los costos se puede indicar el costo más bajo es de la tecnología de LuxControl, pero el motivo es claro por el costo que existe en los módulos de luminaria debido a su capacidad menor en comparación al del Smartmation y del Schreder, mientras que el costo de instalación completo entre los dos restantes es casi similar por lo tanto la tecnología escogida por sus características técnicas y en costos es Smartmation. El detalle de ahorro energético al implementar esta tecnología según los detalles técnicos de la empresa es en un 15% de la demanda, por lo tanto, son número muy bueno para en los cuales se va a ir recuperando en un cierto periodo.

Tabla 31

Porcentajes técnicos de los sistemas Smartmation

Detalle	Especificaciones
Tiempo de mantenimiento	Mejora del tiempo de reparación. En promedio nuestros principales clientes consiguieron una baja de 22 a 4,5 días
Costos de mantenimiento	Reducción de un 35% en el costo de mantenimiento de la infraestructura instalada.
Eficiencia energética	Reducción por dimerización de un 15% del costo en el consumo eléctrico

Nota. Detalles técnicos de la tecnología Smartmation respecto a las cualidades de mejoramiento en su instalación.

Tabla 32

Análisis de ahorro energético

Detalles	Consumo energético KWh/año
Sistema actual	225651.96
Sistema con el cambio de luminarias Led	185731.92
Implementación Telegestión (15% ahorro)	157872.132

El ahorro energético en base a la implementación de tecnología led es amplia siendo una variación de 39920.04 KWH/anual, es decir el costo beneficio es rentable, además con la ejecución del proyecto del sistema de telegestión provoca un ahorro energético del 15% al consumo con la nueva tecnología, a ello se suma un ahorro de 67779.828 KWH al año.

Hipótesis

“Si se ejecuta un análisis del sistema eléctrico de alumbrado público actual con respecto a su consumo de energía se podrá establecer una propuesta de implementación de un sistema de telegestión que permita el uso eficiente de la energía del alumbrado público del centro histórico de Ibarra.”

Análisis

El consumo que existe en la actualidad en el centro histórico de Ibarra con un total de 250 luminarias distribuidas de la siguiente forma; 110 luminarias de vapor de sodio de alta potencia de 250W, 83 lámparas de vapor de sodio de 150W, 29 lámparas Led de 115W y 28 lámparas Led de 105W, estos datos son tomados en pruebas de campo. Se desarrolla el cálculo del consumo energético al año, para lo cual, se establece un horario de trabajo del alumbrado público de 12 horas, a partir de las 18:00 pm hasta las 6:00 am, proporcionando un consumo total en el día de 626,81 KWh/día y anualmente un consumo de 225651,96 KWh/anual, estos son datos generados a partir de las pruebas desarrolladas.

Desde un enfoque de cumplimiento sobre las características técnicas que debe mantener el sistema de alumbrado público respecto a la luminosidad de las lámparas, se ejecuta el levantamiento de información, para lo cual, se obtiene que el 95% de la disposición de luminarias están colocadas unilateralmente, el ancho de la calzada está en un promedio de 8.5 metros, el ancho de la acera de 2.2 m. mientras que el largo de la calle entre 31 y 33 m, el objetivo es realizar datos comparativos entre las pruebas de campo y la simulación de luminosidad del sistema (módulos de luminarias). Entonces en las pruebas desarrolladas en campo mediante la metodología de los 9 puntos se tiene una iluminancia promedio entre 13 y 20 lux, y en datos comparativos con la simulación concuerda con los datos de campo con cierta variación mínima (anexo C 1-1), con este antecedente se realiza un análisis con los parámetros que deben cumplir según la normativa para calles M3, proporcionando indicadores como la luminancia promedio está en el rango establecido ($L_{med} = 1,00 \text{ cd/m}^2$), la uniformidad de la calzada es menor a lo establecido ($U_o \geq 0,4$; $U_i \geq 0,6$), el deslumbramiento en ciertas vías contempla el rango, ($TI \leq 15\%$), por lo tanto, globalmente no existe un cumplimiento de todos los parámetros técnicos.

Se simula el sistema de alumbrado público, pero con los nuevos parámetros de los módulos de luminarias, con tecnología Led de 170W, la intensidad luminosa promedio de 22000 lúmenes, con las mismas disposiciones desarrolladas en campo se tiene un total de las 250 lámparas Led, con el periodo de tiempo dispuesto anteriormente de 12 horas de funcionamiento, se

obtiene una potencia de trabajo al día de 515.92 KW/h y anualmente de 185731.92 KWh/año, teniendo un ahorro energético de 39920.04 KWh/año, entonces se verifica un ahorro energético considerable con la nueva tecnología.

La implementación de los sistemas de telegestión intervienen en la supervisión, control y monitoreo de las redes de iluminación pública, por lo tanto permite reducir el consumo energético de las luminarias y el mantenimiento preventivo que se lo puede realizar mediante gestión de datos y estadísticas generadas por el software de control, la mejora a nivel energético según el sistema seleccionado nos indica que es el 15% del consumo actual, cabe indicar que el proyecto está contemplado con la nueva tecnología led, entonces el nuevo consumo energético es de 157872.32 KWh/año en comparación con el sistema de iluminación actual de 225651,96 KWh/año presenta un ahorro de 67779.82 KWh/año.

La automatización mediante la implementación del sistema de telegestión SMARTMATION identifica nuevos parámetros de calidad, con el cumplimiento de los mismos en las vías del centro histórico de Ibarra tipo M3, esto se lo comprueba mediante simulación con las características de lámparas de iluminación LED con una potencia de 170W, flujo lumínico de 22500 lúmenes, obteniendo el cumplimiento de todos los detalles técnicos ($L_{med} = 1,00 \text{ cd/m}^2$), la uniformidad de la calzada ($U_0 \geq 0,4$; $U_1 \geq 0,6$) y el deslumbramiento ($TI \leq 15\%$).

Por lo tanto, la implementación de un sistema de telegestión en el centro histórico de Ibarra, contempla un beneficio de ahorro energético, mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de luminarias y además del cumplimiento de las especificaciones técnicas que deben tener las vías (tipo M3) para una correcta visibilidad de los peatones y los transportistas.

CONCLUSIONES

El levantamiento de información de campo se obtiene un análisis de sectorización para delimitar el perímetro del centro histórico de Ibarra, a fin de obtener el número total de luminarias siendo este de 250 luminarias, 110 de vapor de sodio de 250W, 83 de vapor de sodio de 150W y lámparas Led de 115W, 105W con un número de 29 y 28 respectivamente. Obteniendo un consumo actual de 225651,96 KWh/anual.

El sistema de telegestión se analiza desde la viabilidad de acoplarse al sistema existente en el centro histórico de Ibarra, para ello la nueva tecnología incorpora un dispositivo llamado nodo en cada lámpara, la cual va a receptor las acciones que va a cumplir el módulo de iluminación y enviar los datos en primera instancia a los concentradores donde es el receptor de toda la información y control de las lámpara sectorizadas hasta un alcance máximo de 500 metros a la redonda, cabe mencionar que también depende de las interferencias que exista como edificios, árboles, rótulos gigantes etc. La comunicación entre los concentradores y el sistema de gestión se lo realiza por LoRaWAN un sistema de comunicación inalámbrica con parámetros API con una velocidad alta y

volúmenes de información bajos ya que la información enviada por la lámpara no requiere alta capacidad de información.

La eficiencia energética a partir de la implementación de la tecnología de telegestión en el centro histórico de Ibarra, además de la incorporación de las lámparas led produce cambios favorables, la eficiencia en el consumo de la red de iluminación pública se reduce de 225651,96 KWh/año en la actualidad a un consumo de 157872.32 KWh/año con la nueva tecnología, presentando un ahorro de consumo de 67779.82 KWh/año. En términos de estudio y simulación siempre existe un factor de seguridad promedio de 0.85, es decir, el cumplimiento del análisis desarrollado por lo cual no deja de ser rentable un ahorro energético que representa directamente una reducción en costos tanto de producción como de mantenimiento.

RECOMENDACIONES

Un sistema de telegestión implementado para solucionar los problemas de eficiencia energética cumpliendo con las normativas técnicas de luminarias, también se lo puede enfocar para sistemas de seguridad pero se debe tener en cuenta los efectos que pueden producir en los concentradores por el consumo de memoria informática, redes de comunicación y fuentes de alimentación pero que podría ser un amplio campo de estudio para mejorar tanto la eficiencia de consumo de energía eléctrica y los sistemas de seguridad en las ciudades.

Las redes de comunicaciones en los sistemas de telegestión se han ido incorporando según las necesidades y la evolución de la tecnología, por ello se tiene como principio el uso de PLC como controladores, para el envío y transmisión de datos mediante cables, ahora se utilizan protocolos de comunicaciones, pero existen ciertos problemas por la interferencia de datos, por lo cual es muy recomendable profundizar un análisis de estructuras de comunicación en sistemas de telegestión.

El software de gestión en los sistemas de mando y control de telegestión, es la principal fuente de estadísticas o generación de información en bruto, pero es necesario adentrarse en el análisis e interpretación de resultados sobre la información proporcionada, con el objetivo de tomar decisiones sobre la red de alumbrado público.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ardia, A. (2014). Un Fotón tan esquivo que mereció un premio Nobel de Física. *Scielo*, 10.

Colombia, M. d. (30 de Marzo de 2010). *Resolución N° 180540*. Obtenido de https://armadaled.org/pdf_books/alumbrado_publico_e_iluminacion_exterior.pdf. Recuperado el 5 de enero del 2020

CONELEC, R. (24 de noviembre de 2011). *Repositorio Conelec*. Obtenido de Prestación del servicio Alumbrado Público General N° 083/11: https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/Regulaci%C3%B3n-No.-CONELEC-005_14-Prestaci%C3%B3n-APG_.pdf. Recuperado el 12 de febrero del 2020

Coronado, C. (Marzo de 2011). *Esquemas de reflexión y refracción*. Obtenido de Research Gate: https://www.researchgate.net/figure/Esquemas-de-la-reflexion-y-refraccion-de-la-luz_fig5_311922869. Recuperado el 12 de septiembre del 2019

Corrales, J. (Julio de 2015). *La óptica es uno de los factores clave en el funcionamiento y duración de las luminarias LED*. Obtenido de LEDBOX: <https://blog.ledbox.es/informacion-led/la-importancia-de-la-optica-en-la-iluminacion-led>. Recuperado el 25 de marzo del 2020

González, A. (2019). Gestión de Mantenimiento para alumbrado público. *Repositorio Universidad de Santander*, 140.

Jiménez, J. (Agosto de 2008). *Luminotecnia características técnicas*. Obtenido de ComparaLux:

<https://www.comparalux.es/www/apuntes/magnitudesFundamentales.php>.
Recuperado el 19 de enero del 2020

Loor, T. (Mayo de 2010). *Luminotecnia*. Obtenido de Voltimum:
<https://www.voltimum.es/search/site/manual%20de%20luminotecnia%20o%20sram%20descargar>. Recuperado el 19 de noviembre del 2019

Luminotecnia. (Enero de 2015). Obtenido de Repositorio de Ciudad Real:
https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Instalaciones/Luminotecnia.pdf.
Recuperado el 21 de abril del 2020

Navarrete, P. (Febrero de 2012). *Iluminación Led*. Obtenido de Terra Ecología práctica: <http://www.terra.org/categorias/articulos/saboreando-la-iluminacion-led>. Recuperado el 16 de febrero del 2020

Olweert, N. (Abril de 2013). *Propiedades de transmisión de la luz*. Obtenido de Shutterstock: <https://www.shutterstock.com/es/image-vector/how-light-works-properties-reflection-absorption>. Recuperado el 12 de julio del 2020

Orellana, S. (2019). *DataLights, Solucion de control e Iluminación*. Cuenca: DataLights.

Peñaherrera, P. (Septiembre de 2015). *Características módulo Led*. Obtenido de Punto Flotante: <http://www.puntofotante.net/MATRIZ-DE-LEDS-DE-7X5-A.htm>. Recuperado el 28 de junio del 2019

Pozo, M. d. (2009). *Evaluación del efecto de la contaminación sobre aisladores poliméricos retirados se servicio*. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/36365/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Recuperado el 29 de septiembre del 2019

Proaño, F. (Junio de 2010). *Características técnicas de lámparas de vapor de mercurio*. Obtenido de Interest:

<https://www.pinterest.com/pin/690810030312834365/>. Recuperado el 11 de noviembre del 2019

Sornoza, N. (Agosto de 2009). *Intensidad luminosa*. Obtenido de Celasa: <https://celasa.com.gt/>. Recuperado el 4 de abril del 2020

Torres, M. (Agosto de 2010). *Placas PCB de alta potencia*. Obtenido de Power Light: <https://www.powerlight.es/leds-y-placas-completas/5386-placa-pcb-con-leds-de-alta-potencia-pcb-cf-81s-led-colorbank.html>. Recuperado el 18 de diciembre del 2019

ANEXOS