



**Análisis técnico - económico de luminarias led frente a luminarias tradicionales en el
alumbrado público del cantón Salcedo.**

Hernández Padilla, Alex José

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

Msc. Iturralde Albán, Javier Hernán

28 de septiembre de 2023

Latacunga



Plagiarism report

TESIS_ ALEX_HERNANDEZ.pdf

Scan details

Scan time:
November 1th, 2023 at 17:58 UTC

Total Pages:
102

Total Words:
25378

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	3.2%	804
Minor Changes	1.1%	291
Paraphrased	3.5%	898
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage

- AI text
- Human text

Plagiarism Results: (45)

[2022_09_15-Proy.-Regulacion-SAPG-V4.pdf](#) 2.2%

<https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/upl...>

Diego Chavez

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables RESOLUCIÓN NRO. ARCERNNR-XX/2022 REGULACIÓN NRO....

[Análisis técnico, económico para determinar la via...](#) 0.7%

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18818/1/up...>

Narváz Muñoz, Johanna Paola

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Trabajo de titulación previo a la obtención del título ...

[Conceptos básicos de Luminotecnia - ppt descargar](#) 0.7%

<https://slideplayer.es/amp/10665620/>

Óscar Martín Valenzuela

Conceptos básicos de Luminotecnia Slides: ...



Firmado electrónicamente por:
JAVIER HERNAN
ITURRALDE ALBAN



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación “**Análisis técnico - económico de luminarias LED frente a luminarias tradicionales en el alumbrado público del Cantón Salcedo**”, fue realizado por el señor **Hernández Padilla, Alex José**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 06 de diciembre de 2023



Msc. Iturralde Albán, Javier Hernán

C.C.: 0501399190



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Hernández Padilla, Alex José** con cédula de ciudadanía 0503825242 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Análisis técnico - económico de luminarias LED frente a luminarias tradicionales en el alumbrado público del Cantón Salcedo”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 06 de diciembre de 2023

Hernández Padilla, Alex José

C.C.: 0503825242



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Autorización de publicación

Yo, **Hernández Padilla, Alex José** con cédula de ciudadanía 0503825242 autorizo a la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Análisis técnico - económico de luminarias LED frente a luminarias tradicionales en el alumbrado público del Cantón Salcedo**”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 06 de diciembre de 2023

Hernández Padilla, Alex José

C.C.: 0503825242

Dedicatoria

Con profundo agradecimiento, dedico este logro a mi amada familia, con un cariño que no puede expresarse con palabras. Especialmente a mi querida madre y padre Martha y José, cuyo apoyo incondicional a lo largo de estos años ha sido la fuerza impulsora detrás de mi éxito en la culminación de mis estudios universitarios y la realización de mis sueños.

Agradezco sinceramente a mis respetados profesores, quienes, durante mi formación como Ingeniero en Electromecánica, no solo impartieron conocimientos, sino que también me guiaron en el camino para convertirme en un profesional excepcional, capaz de sobresalir en cualquier entorno laboral.

A mis amigos y compañeros de clase, mi gratitud no tiene límites. Su lealtad y amistad han sido un pilar fundamental en este viaje. Desde lo más profundo de mi corazón, anhelo que el tiempo nos convierta en colegas y podamos compartir éxitos en el futuro cercano.

En gratitud eterna,

Hernández Padilla A.

Agradecimiento

En primer lugar, deseo expresar mi profundo agradecimiento a Dios por haberme brindado la oportunidad de cursar mis estudios en la prestigiosa Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Reconozco su constante guía y la sabiduría que me ha otorgado para enfrentar los desafíos académicos, así como la fortaleza que me ha permitido perseverar sin desfallecer.

Quiero extender mi sincero agradecimiento a los distinguidos profesores de la carrera de la ingeniería electromecánica. Su dedicación y generosidad al compartir sus conocimientos han ampliado mis horizontes y enriquecido mi formación. En especial, deseo destacar a mis tutores Ingeniero Hernán Iturralde e Ing. Carlos Cevallos cuya invaluable colaboración y apoyo durante la ejecución de mi proyecto han sido fundamentales para su éxito.

No puedo dejar de mencionar mi profunda gratitud al presidente de la empresa eléctrica provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. su tiempo y cooperación han sido esenciales para llevar a cabo de manera exitosa el proyecto en dicha empresa, lo cual ha contribuido significativamente a mi crecimiento profesional.

Por último, pero no menos importante, quiero expresar mi agradecimiento de corazón a mi familia y amigos. Su apoyo incondicional a lo largo de mi trayectoria universitaria ha sido mi fuente constante de inspiración y motivación. Cada palabra de aliento, cada gesto de alivio, han sido pilares fundamentales en este viaje hacia la culminación de mis estudios.

Con gratitud y humildad,

Hernández Padilla A.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenido.....	8
Índice de tablas.....	15
Índice de figuras.....	18
Resumen.....	21
Abstract.....	22
Capítulo I: Marco metodológico de la Investigación.....	23
Planteamiento del problema.....	23
Antecedentes.....	24
Justificación e importancia.....	25
Objetivos.....	26
<i>Objetivo General.....</i>	<i>26</i>
<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>26</i>
Capítulo II: Marco teórico.....	27
Antecedentes Investigativos.....	27

Fundamentación teórica.....	28
<i>Evolución histórica del cantón Salcedo en la Provincia de Cotopaxi.....</i>	28
<i>Alumbrado Público</i>	29
<i>Clases de iluminación.....</i>	30
Alumbrado de vías con tráfico motorizado.....	31
Alumbrado de vías para tráfico peatonal.....	31
Alumbrado de vías en zonas de conflicto.....	32
Túneles.....	32
<i>El funcionamiento del alumbrado público.....</i>	33
<i>Luminaria.....</i>	34
Luminaria LED.	36
Luminarias de VMAP.	36
Luminarias de VSAP.....	37
Halogenuros Metálicos.....	38
<i>Luz visible.....</i>	39
Temperatura del color.....	40
Reflexión.....	40
Transmisión-refracción.....	41
Absorción.....	41
<i>Eficiencia.....</i>	41
<i>Magnitudes físicas de la luz visible.....</i>	41

Flujo luminoso.....	41
Intensidad luminosa.....	42
Iluminancia.....	42
Luminancia.....	42
Rendimiento Luminoso.....	43
Fotometría.....	43
<i>Parámetros fotométricos.....</i>	44
Iluminancia promedio.....	44
Luminancia promedio de la calzada.....	44
Uniformidad.....	45
Relación de alrededores (SR).....	45
Incremento de Umbral.....	46
Deslumbramiento (TI).....	46
Disposición de luminarias.....	47
<i>Coordenadas UTM.....</i>	48
<i>Características de la calzada.....</i>	48
Difusa o casi difusa.....	49
Difusa especular o ligeramente difusa (mixta).....	49
Ligeramente especular o brillante.....	49
Brillante o muy especular.....	50
<i>Tipo de alumbrado según la clasificación vial.....</i>	50

Método de medición	51
Equipos de medición	52
Características técnicas de las luminarias	52
Voltaje (V).....	52
Distorsión armónica total (THD).....	53
Potencia (W).	53
Factor de potencia (FP).....	53
Resistencia la impacto (IK).	53
Resistencia a la intemperie (IP).....	53
Termografía	53
Mantenimiento proactivo	54
Costo beneficio	54
Marco Regulatorio y Normativas Ecuatorianas e Internacionales	54
Normativas nacionales.	54
Normativas internacionales.	55
ARCERNNR	56
Resolución Nro. ARCERNNR- 029/2020	57
ANSI C136.10.....	57
IEC 61347.	57
Fundamentación teórica	58
Fundamentación conceptual	59

Hipótesis	59
Variables de investigación.....	59
<i>Variable dependiente</i>	59
<i>Variable independiente</i>	59
Capítulo III: Metodología.....	60
Tipos de investigación	60
<i>investigación empírica</i>	60
<i>Investigación bibliográfica</i>	60
<i>Investigación de exploratoria</i>	60
<i>Investigación descriptiva</i>	61
<i>Investigación de campo</i>	61
Diseño de la investigación.....	61
Niveles de investigación	62
<i>Nivel descriptivo</i>	62
<i>Nivel correlacional</i>	63
<i>Predictivo</i>	63
<i>Nivel explicativo</i>	63
Población y Muestra.....	63
Técnicas de Recolección de Datos	66
Técnicas de Análisis de Datos	66
Técnicas de Comprobación de Hipótesis.....	67

Iluminación del Cantón Salcedo.....	68
Luminarias de alta intensidad de descarga (HID)	77
Cambio a luminarias con tecnología LED.....	79
Costos	80
Capítulo IV: Propuesta.....	82
Introducción.....	82
Datos informativos	82
Objetivos.....	83
<i>Objetivo General</i>	83
<i>Objetivos Específicos</i>	83
Caso estudio: San Miguel de Salcedo	83
Demandas de la iluminación.....	84
Perdidas de eficiencia en el tiempo	84
Los parámetros clave del mantenimiento.....	85
<i>Inspección fotogramétrica</i>	85
Análisis de uniformidad y Niveles de iluminación	88
<i>Análisis de uniformidad</i>	89
<i>Niveles de iluminación</i>	95
Tecnología LED Homologada	98
<i>Sylvania luminaria vial LED SYL-STREET 150-200W</i>	99
<i>Nova lighting luminaria vial AP LED 150W</i>	102

Pruebas de voltaje y corriente de las luminarias	105
<i>Preparación y seguridad</i>	105
Inspección termográfica	109
Simulaciones	114
Capítulo V: Análisis de resultados.....	116
Plan de mantenimiento	116
<i>Plan de mantenimiento para la tecnología VSAP</i>	116
<i>Plan de mantenimiento para la tecnología LED</i>	117
<i>Costos de los equipos</i>	119
<i>Costo de horas hombre</i>	120
<i>Proyecto de Cambio a Iluminación LED - Calculadora de Viabilidad</i>	122
<i>Cálculos</i>	123
<i>Resultados</i>	125
<i>Contribución al medio ambiente</i>	126
<i>Propuesta para el nuevo diseño</i>	135
Capítulo VI:Conclusiones y Recomendaciones.....	138
Conclusiones.....	138
Recomendaciones.....	139
Bibliografía.....	140
Anexos.....	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Parroquias y población</i>	28
Tabla 2 <i>Equivalencia Clases M y C</i>	45
Tabla 3 <i>Clase de Iluminación M</i>	50
Tabla 4 <i>Clase de iluminación P</i>	51
Tabla 5 <i>Clase de iluminación C</i>	51
Tabla 6 <i>Especificaciones de una luminaria según ARCERNR</i>	58
Tabla 7 <i>Estratificación de luminarias en Salcedo</i>	64
Tabla 8 <i>Nivel de confianza</i>	65
Tabla 9 <i>Iluminación de la Provincia de Cotopaxi</i>	69
Tabla 10 <i>Componentes naturales e infraestructurales del cantón Salcedo</i>	75
Tabla 11 <i>Distribución de la tecnología de iluminación por Parroquias</i>	76
Tabla 12 <i>Ahorro energético para vía de Motorizada</i>	78
Tabla 13 <i>Cambio de sodio a LED para vía M3</i>	79
Tabla 14 <i>Cambio de sodio a LED para vía M4</i>	80
Tabla 15 <i>Potencias comunes de la parroquia San Miguel</i>	83
Tabla 16 <i>Las especificaciones del dron DJI Mini 2:</i>	87
Tabla 17 <i>Luxómetro digital - Data Logging</i>	90
Tabla 18 <i>Dispositivo móvil Huawei P30 Lite LX3A</i>	91
Tabla 19 <i>Niveles de iluminación de la muestra</i>	95
Tabla 20 <i>Ventajas y desventajas de tecnología LED vs Tecnología tradicional</i>	97
Tabla 21 <i>Luminarias reconocidas y homologasen en el 2023 por ELEPCO S.A</i>	98

Tabla 22 <i>Ficha técnica de luminaria vial LED SYL-STREET 150-200W</i>	100
Tabla 23 <i>Ficha técnica del chip LED de SYL-STREET 150-200W</i>	101
Tabla 24 <i>Datos característicos del Drive de la luminaria SYL-STREET</i>	101
Tabla 25 <i>Ficha técnica de luminaria vial Nova lighting AP LED 150W</i>	103
Tabla 26 <i>Ficha técnica del chip LED de Nova lighting AP LED 150W</i>	104
Tabla 27 <i>Datos característicos del Drive de la luminaria vial AP LED 150W</i>	105
Tabla 28 <i>Datos técnicos del multímetro Truper MUT 202 TRU MRS</i>	106
Tabla 29 <i>Corriente y potencia de las luminarias led</i>	108
Tabla 30 <i>Ficha térmica de la cámara térmica Flir Pro Duo</i>	110
Tabla 31 <i>Pasos para la inspección termográfica</i>	111
Tabla 32 <i>Cambio de elementos en las luminarias VSAP en el tiempo</i>	117
Tabla 33 <i>Cambio de elementos en las luminarias LED en el tiempo</i>	118
Tabla 34 <i>Costos iniciales de las luminarias</i>	119
Tabla 35 <i>Costos de los accesorios de la luminaria LED</i>	119
Tabla 36 <i>Costos de los accesorios de la luminaria de sodio</i>	120
Tabla 37 <i>Costos según consultoría en iluminación (RR INGENIERIA)</i>	121
Tabla 38 <i>Datos para calculadora de Viabilidad</i>	122
Tabla 39 <i>Vialidad de sodio de 150W a LED de 100W</i>	125
Tabla 40 <i>Vialidad de sodio de 100W a LED de 70W</i>	126
Tabla 41 <i>Luminarias de sodio cerrado de 150W y 100W de la provincia otopaxi</i>	129
Tabla 42 <i>Huella de carbono de la energía de las luminarias de sodio</i>	131
Tabla 43 <i>Huella de carbono de la energía de las luminarias LED</i>	132

Tabla 44 <i>Ahorro en la huella de carbono con el cambio a luminarias LED</i>	133
Tabla 45 <i>Ahorro de emisión de CO2 en Cotopaxi</i>	134
Tabla 46 <i>Emisión de Kg de CO2 por hora en Salcedo</i>	134
Tabla 47 <i>Cronograma de actividades para mejorar la iluminación</i>	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Iluminación mundial</i>	29
Figura 2 <i>Parámetros para la selección de iluminación</i>	30
Figura 3 <i>Alumbrado peatonal</i>	31
Figura 4 <i>Alumbrado en zonas conflictivas</i>	32
Figura 5 <i>Túneles</i>	33
Figura 6 <i>Circuito de alumbrado público</i>	34
Figura 7 <i>Tipos de alumbrado en la vía pública</i>	35
Figura 8 <i>Tecnología LED</i>	36
Figura 9 <i>Lámparas de mercurio</i>	37
Figura 10 <i>Lámparas de vapor de sodio</i>	38
Figura 11 <i>Lámparas Halogenuros Metálicos</i>	39
Figura 12 <i>Colores del espectro de luz visible</i>	40
Figura 13 <i>Escalas de la temperatura del colore</i>	40
Figura 14 <i>El rendimiento de las lámparas</i>	43
Figura 15 <i>Medición de los parámetros fotométricos vial</i>	46
Figura 16 <i>Disposición de las luminarias en la vía</i>	47
Figura 17 <i>Normativa IEC 60598-1</i>	55
Figura 18 <i>ARCERNNR-019/2022</i>	56
Figura 19 <i>ANSI</i>	57
Figura 20 <i>Diagramas de flujo de la estructura de análisis de datos</i>	62
Figura 21 <i>Centro urbano San Miguel de Salcedo</i>	65

Figura 22 <i>Canto Salcedo en la provincia de Cotopaxi</i>	68
Figura 23 <i>Iluminación del Canto Salcedo en la provincia de Cotopaxi</i>	70
Figura 24 <i>Tendencia tecnológica de Iluminación vial en Cotopaxi</i>	71
Figura 25 <i>Parroquias de Salcedo</i>	72
Figura 26 <i>Iluminación del Cantones de Salcedo</i>	73
Figura 27 <i>Viabilidad vs iluminación de Cantones de Salcedo</i>	74
Figura 28 <i>Accesorios de las luminarias HID</i>	77
Figura 29 <i>Horas hombre</i>	80
Figura 30 <i>Tasa de falla de las luminarias Miguel</i>	84
Figura 31 <i>Fotogrametría nocturna en el centro urbano de San Miguel</i>	86
Figura 32 <i>Flujo vehicular de la noche en San Miguel San Miguel</i>	88
Figura 33 <i>Calibración del luxómetro entre las 10pm - 2am</i>	89
Figura 34 <i>Método de los 9 puntos</i>	92
Figura 35 <i>Mediciones con el luxómetro de alta precisión en la calle 24 de mayo</i>	93
Figura 36 <i>Mediciones con el luxómetro de alta precisión en la Avenida Olmedo</i>	93
Figura 37 <i>Mediciones con el luxómetro de alta precisión en la calle Sucre</i>	94
Figura 38 <i>Clase de iluminación para vías más comunes</i>	94
Figura 39 <i>Vías con la uniformada baja de la muestra características</i>	96
Figura 40 <i>Luminaria vial LED SYL-STREET 150-200W</i>	99
Figura 41 <i>Luminaria vial AP LED 150W</i>	102
Figura 42 <i>Mediciones de corriente a la luminaria vial LED SYL</i>	106

Figura 43 Medicines de corriente a la luminaria vial AP LED.....	107
Figura 44 Comportamiento de las luminarias en función del tiempo.....	108
Figura 45 Inspección termográfica.....	110
Figura 46 Informe termográfico de la Luminaria vial LED SYL-STREET.....	112
Figura 47 Informe termográfico de la luminaria vial AP LED.....	113
Figura 48 Software de diseño de iluminación Ulysse 3.....	114
Figura 49 Selección del modelo de cálculo CIE 140.....	115
Figura 50 Parámetros de la calle Vicente Maldonado.....	115
Figura 51 El diseño cumple con la normativa.....	115
Figura 52 Actividades de manteniendo de las luminarias publicas.....	121
Figura 53 Curva de generación en (MW) de Ecuador.....	127
Figura 54 Factor de emisión de CO2 de los combustibles.....	128
Figura 55 Emisión de CO2 de la tecnología VSAP vs LED.....	135
Figura 56 Zonificación de San Miguel de Salcedo.....	136

Resumen

En este estudio se llevará a cabo la extracción de datos eléctricos geográficos utilizando el software ArcGis en diferentes zonas específicas del cantón Salcedo de la provincia de Cotopaxi. Estos datos serán procesados para obtener los niveles de iluminación en la zona, lo que permitirá realizar un análisis de la eficacia de las luminarias de alumbrado público general he intervenido. Para obtener resultados precisos, se obtendrán también las características como la posición, la potencia, poste y de las luminarias de sodio existentes. Se aplicará una metodología que permitirá evaluar los niveles de iluminación según los parámetros definidos en la normativa ARCERNNR, luego se analizarán las simulaciones de las luminarias de sodio utilizando los datos extraídos de la información geográfica y las mediciones en campo para verificar los resultados. Finalmente, se realizarán simulaciones adicionales utilizando criterios y datos de la tecnología led, lo que permitirá comparar los resultados y determinar la eficacia de ambas tecnologías. Es importante destacar que este estudio puede tener una amplia aplicación práctica en la toma de decisiones para la mejora del alumbrado público y la eficiencia energética. Además, la metodología utilizada puede ser replicada en otras zonas geográficas para obtener información sobre la iluminación y la eficacia energética como estrategia de ahorro de energía.

Palabras clave: Cantón Salcedo, potencia - luminaria, coordenadas UTM, fotometría

Abstract

In this study, the extraction of geographic electrical data will be carried out using ArcGis software in different specific areas of the Salcedo canton of the province of Cotopaxi. These data will be processed to obtain the lighting levels in the area, which will allow an analysis of the effectiveness of the general public lighting luminaires that intervened. To obtain accurate results, characteristics such as position, power, pole and existing sodium luminaires will also be obtained. A methodology will be implemented that will allow lighting levels to be evaluated according to the parameters defined in the ARCERNNR regulations, then the simulations of the sodium luminaires will be analyzed using data extracted from geographical information and field measurements to verify the results. Finally, additional simulations will be carried out using criteria and data from the LED technology, which will allow the results to be compared and the effectiveness of both technologies to be determined. It is important to highlight that this study can have a wide practical application in decision making for the improvement of public lighting and energy efficiency. Furthermore, the methodology used can be replicated in other geographical areas to obtain information on lighting and energy efficiency as an energy saving strategy.

Keywords: Salcedo Canton, power - luminaire, UTM coordinates, photometry

Capítulo I

Marco metodológico de la investigación

Planteamiento del problema

La carencia de políticas de eficiencia energética en el Alumbrado Público, a pesar de las leyes existentes, constituye un problema significativo, la falta de seguimiento y evaluación sistemáticos compromete la eficiencia. El reemplazo de elementos sin considerar su pérdida de eficiencia genera un uso ineficiente de recursos, afectando la sostenibilidad y la economía local.

La disminución en la eficiencia de la conversión de energía eléctrica a luz presenta un desafío significativo en la generación de electricidad destinada a la iluminación. Esta problemática señala que parte de la electricidad empleada se pierde durante el proceso y no se convierte completamente en luz utilizable. Este desperdicio de energía no solo impacta la eficacia del sistema, sino que también contribuye a problemas medioambientales, especialmente al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La gravedad de este problema se ve exacerbada por la falta de una política clara de eficiencia energética por parte de la mayoría de los gobiernos autónomos descentralizados. La ausencia de una dirección estratégica en este ámbito se refleja en la escasa coordinación efectiva entre estos gobiernos y las empresas distribuidoras, como se evidencia en el caso de ELEPCO S.A. La empresa no ha implementado medidas esenciales, como la transición de luminarias de Vapor de Sodio de Alta Presión (VSAP) a luminarias de Diodo Emisor de Luz (LED), resaltando la necesidad urgente de hacer referencia y aplicar la ley de eficiencia energética para abordar de manera integral esta problemática sistémica.

Antecedentes

La iluminación pública se ha convertido en una parte fundamental de los sistemas eléctricos de potencia desde finales del siglo XIX, cuando se comenzaron a implementar sistemas de alumbrado público a gran escala en las ciudades. Con el tiempo, la iluminación pública ha evolucionado, desde el uso de lámparas incandescentes, VSAP, VMAP (Vapor de Mercurio de Alta Presión), halogenuros metálicos y luz mixta, hasta las tecnologías más modernas como el LED.

En Ecuador como ente regulador para la prestación del servicio de alumbrado público general está la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), mediante la resolución N° ARCERNNR - 029/20 la misma que tiene como objetivo normar las condiciones técnicas que permitan a las empresas eléctricas distribuidoras prestar el servicio de alumbrado público general con calidad y eficiencia.

Las normas CIE 115 emitidas por organismos internacionales como la Comisión Electrotécnica Internacional (CIE) establecen los parámetros fotométricos como luminancia e iluminancia y metodológicas necesarias para diseñar y medir la luz artificial en vías peatonales y vehiculares. Esta norma fue utilizada como referencia para la regulación del ARCERNNR.

ELEPCO S.A. se adhiere y cumple con la normativa actual en lo que concierne al servicio de alumbrado público general, mediante la detección de fallas como lámparas quemadas, accesorios averiados, postes dañados o problemas de alimentación eléctrica.

En este estudio se utilizan herramientas y técnicas de análisis de datos, así como información sobre el historial de las luminarias y las condiciones de operación. La implementación de un análisis técnico-económico adecuado puede prevenir tiempos de inactividad, aumentar la eficiencia y reducir los costos de mantenimiento a mediano plazo y largo plazo.

Justificación e importancia

El proyecto busca mejorar la calidad del servicio de iluminación pública para asegurar que los espacios públicos y comunitarios estén debidamente iluminados. Esto implica ajustar las actividades de las empresas distribuidoras, el MEM (Ministerio de Energía y Minas), ARCERNNR y los consumidores finales, tanto públicos como privados, para cumplir con las políticas de eficiencia energética y cumplir con las obligaciones reglamentarias y normativas definidas por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. En definitiva, se busca mejorar la eficiencia energética y garantizar la calidad del servicio de iluminación pública para beneficio de la comunidad.

Ley orgánica de eficiencia energética declara el uso eficiente de la energía como un interés nacional, aspirando a una sociedad sostenible y competitiva. Fundamentada en principios constitucionales y acuerdos internacionales, la ley involucra a los Gobiernos Autónomos Descentralizados en el Plan Nacional de Eficiencia Energética, asignándoles responsabilidades en la implementación de políticas. Asimismo, insta a los consumidores en diversos sectores a adoptar prácticas eficientes, ofreciendo incentivos y certificados según la reglamentación establecida. Como referencia las Artículos; 2, 3, 9, 16 de la Ley orgánica de eficiencia energética.

El incumplimiento de lo establecido en la resolución N° ARCERNNR - 029/20 donde el capítulo VI artículo 21, indica lo siguiente: De acuerdo al artículo 67 inciso B, La empresa comete infracciones leves, al no cumplir los planes de expansión y mejora, siempre que no afecte la seguridad e incumplir parcialmente los índices de calidad energía. Se sancionará con una multa de 20 a 30 salarios básicos unificados por la ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica y la regulación de juzgamiento de infracciones emitida por la ARCERNNR.

Es decir, cualquier incumplimiento de las obligaciones establecidas en la regulación será objeto de medidas punitivas, como multas o sanciones administrativas, para garantizar el cumplimiento efectivo de las disposiciones.

Objetivos

Objetivo General

Identificar las áreas que necesitan mejoras en la iluminación pública y determinar si la implementación de luminarias LED es viable y rentable a largo plazo en términos de eficiencia energética y costos de operación.

Objetivos Específicos

1. Recopilar los datos de la posición, potencia y tipo de tecnología de las luminarias existentes distribuidas en cantón Salcedo de la provincia de Cotopaxi utilizando el ArcGIS Y Geo portal web.
2. Medir los niveles de iluminación pública en áreas urbanas aleatoriamente, para analizar la muestra, considerando un margen de error máximo del 2% e intervalo de confianza mínimo del 95%.
3. Diagnosticar las condiciones técnicas para la prestación del servicio de alumbrado público general del cantón Salcedo en el año 2023.

Capítulo II

Marco teórico

Antecedentes Investigativos

Metodología para la evaluación de los niveles de iluminación pública en áreas urbanas aplicando información geográfica. 2022. Previo a la obtención del título de Ingeniería Eléctrica, el proyecto técnico busca desarrollar una metodología. Para lograrlo, se utilizará la extracción de información de ArcGIS, lo que permitirá una gestión más eficiente del alumbrado público y una iluminación adecuada y segura para los ciudadanos. Calle & Ulloa (2022)

Análisis técnico - económico para determinar la viabilidad de reemplazar todas las luminarias de VSAP utilizadas en el sistema de alumbrado público general en el área urbana de la ciudad de Cuenca por luminarias de tecnología Led (Light emitting diode), Previo a la obtención del título de Ingeniera Electrónica, de la autora Johanna Paola, Narváez Muñoz, Cambiar las luminarias de sodio por luminarias LED de menor potencia (94W) ahorraría 2.56% anual en energía, mantenimiento y costos de inversión. La inversión sería rentable a partir del segundo trimestre, pero a largo plazo no sería rentable debido al mayor costo inicial de las LED. Se ahorraría un 38% de potencia con las luminarias LED. Narváez (2020)

Evaluación de las fuentes de luz en iluminación pública frente al impacto en el barrio "Rumipamba de las Rosas" del cantón Salcedo en el año 2013. Diseño de un sistema alternativo. Previo a la obtención del grado académico de Magister en Gestión de Energías, del autor, Ing. Iturralde Albán, Javier Hernán. El proyecto evalúa el impacto técnico-económico, energético, social y ambiental de la sustitución de fuentes tradicionales de iluminación pública por tecnología LED amigable con el medio ambiente, lo que reduce el consumo energético, los costos de mantenimiento y las emisiones de CO₂ y mercurio. Iturralde (2013).

Fundamentación teórica

Evolución histórica del cantón Salcedo en la Provincia de Cotopaxi

El cantón Salcedo, ubicado en la Provincia de Cotopaxi, ha experimentado una evolución histórica significativa a lo largo de los años. Según lo señalado por el historiador Jorge Núñez, "Salcedo fue habitado desde tiempos prehispánicos por grupos indígenas que se asentaron en la zona debido a la fertilidad de sus tierras y la riqueza de sus recursos naturales". Con la llegada de los españoles en el siglo XVI. Durante la época republicana, Salcedo fue elevado a la categoría de cantón y experimentó un importante desarrollo agrícola y comercial, convirtiéndose en uno de los principales centros productores de cereales, frutas y hortalizas de la región. En la actualidad, Salcedo es reconocido por su rica cultura, tradiciones y costumbres, y por ser un destino turístico popular en Ecuador.

Tabla 1

Parroquias y población.

Parroquia	Rural	Urbano	Total	%
Antonio José Holguín	2.664	-	2.664	4,58%
Cusubamba	7.200	-	7.200	12,37%
Mulalillo	6.379	-	6.379	10,96%
Mulliquindil (Santa Ana)	7.203	-	7.203	12,37%
Panzaleo	3.455	-	3.455	5,93%
San Miguel	18.827	12.488	31.315	53,79%
Total, cantón:	45728	12488	58216	100,00%

Nota. Tabla de la población del Cantón Salcedo. Tomado de Dirección Provincial de Cotopaxi (2015)

Alumbrado Público

El alumbrado público engloba la iluminación de áreas de tránsito, seguridad, embellecimiento y deporte en espacios públicos. Se divide en alumbrado general, ornamental he intervenido según su función y diseño. ACERNNR (2020).

- **Alumbrado general:** Iluminación en vías públicas, áreas deportivas públicas, excluye propiedad horizontal y ornamental.
- **Alumbrado Ornamental:** Iluminación ornamental en áreas públicas, regulada por criterios estéticos y autoridades locales.
- **Alumbrado Intervenido:** Iluminación vial especial con niveles y estructuras distintos a lo convencional

La Iluminación para tráfico vehicular y de personas se regirá por la norma CIE 115, ampliamente reconocida como la referencia principal, ya que numerosas empresas distribuidoras en todo el mundo se basan en sus recomendaciones para establecer sus regulaciones locales.

Figura 1

Iluminación mundial



Nota. Tasa de población. Tomado de ONU (2018).

Clases de iluminación

Según, ACERNNR (2020). Las clases de alumbrado de vías se categorizan de según su clase, en función de sus parámetros. La clase se determina conforme la siguiente ecuación:

$$M = P = C = (6 - \sum V_{pm}) \quad (1)$$

Donde:

M : Clase de iluminación para motorizados, va de $M1$ a $M6$.

P : Clase de iluminación peatonal, va de $P1$ a $P6$.

C : Clase de iluminación para vías conflictivas, va de $C0$ a $C5$.

$\sum V_{pm}$: Sumatoria de los valores de ponderación (V_{pm}) seleccionados como se indica en la Fig.2.

Figura 2

Parámetros para la selección de iluminación

Parámetro	Opciones	Valor de Ponderación (V_{pm})	V_{pm} seleccionado
Velocidad	Muy alta ($v \geq 100$ km/h)	1	
	Alta (70 km/h < $v < 100$ km/h)	0,5	
	Moderada (40 km/h < $v \leq 70$ km/h)	0	
Volumen del Tráfico	Muy alto	1	
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0,5	
	Muy bajo	-1	
Composición de Tráfico	Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2	
	Mezclado	1	
	Solamente motorizado	0	
Separación de vías	No	1	
	Si	0	
Densidad de la intersección	Alta	1	
	Moderada	0	
Vehículo Parqueados	Se permite	0,5	
	No se permite	0	
Iluminación Ambiental	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baja	-1	
Guías Visuales	Pobre	0,5	
	Moderado o bueno	0	
			$\sum V_{pm}$

Nota. Tomado de ACERNNR (2020)

Los parámetros indicados en la Figura 2, se determinará dependiendo si la vía es una carretera o una calle o avenida de una zona urbana o rural. Para el caso de carreteras, se deberá utilizar la información con que cuente el Ministerio de Transporte y Obras Públicas – (MTO). Para el caso de calles y avenidas, la ponderación dependerá de la densidad poblacional muy alta, alta, moderada, baja o muy baja. pero lo más recomendado es la clase de iluminación vial M3(ver tablas 3).

Alumbrado de vías con tráfico motorizado. El alumbrado de vías para tráfico motorizado, es la clase M se basa en la velocidad máxima permitida y el volumen de tráfico, considerando información del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) para carreteras y la densidad poblacional para calles/avenidas. Los parámetros son críticos para determinar el tipo y cantidad de luminarias necesarias para asegurar la seguridad vial. Aquí otros parámetros; Velocidad, Volumen del Tráfico, Composición de Tráfico, Separación de vías, Densidad de la intersección, Vehículo Parqueados, Iluminación Ambiental y Guías Visuales.

Alumbrado de vías para tráfico peatonal. Las clases de alumbrado tipo P son para proporcionar visibilidad a peatones, ciclistas y conductores a baja velocidad. La categoría de velocidad baja se utiliza en vías sin límite de velocidad y en ciclovías, y la de velocidad muy baja o al caminar en vías sin límite de velocidad y sin vehículos motorizados.

Figura 3

Alumbrado peatonal



Nota. Tomado de Ciudad (2020)

Alumbrado de vías en zonas de conflicto. Los parámetros fotométricos para la clase tipo C. Llamado como alumbrado de vías en zonas de conflicto se enfocan en mejorar la seguridad en áreas donde hay mayor riesgo de accidentes o delitos. Se pueden utilizar diferentes estrategias de iluminación, como el uso de luces más brillantes o la instalación de cámaras de seguridad.

Figura 4

Alumbrado en zonas conflictivas



Nota. Redondel San Miguel de Salcedo entrada norte.

Túneles. La norma CIE 88-2004 es una actualización de la norma CIE 88 para el diseño de iluminación en túneles. Proporciona criterios y parámetros actualizados para el diseño de iluminación, incluyendo el cálculo de niveles de iluminación, uniformidad y deslumbramiento, y la selección de colores de luz adecuados para diferentes áreas del túnel.

El presente estudio carece de una muestra representativa de túneles en el cantón Salcedo, ubicado en la provincia de Cotopaxi, debido a la ausencia de infraestructuras subterráneas en dicha área geográfica.

Figura 5

Túneles

Nota. Tomado de Iluminet (2016)

El funcionamiento del alumbrado público

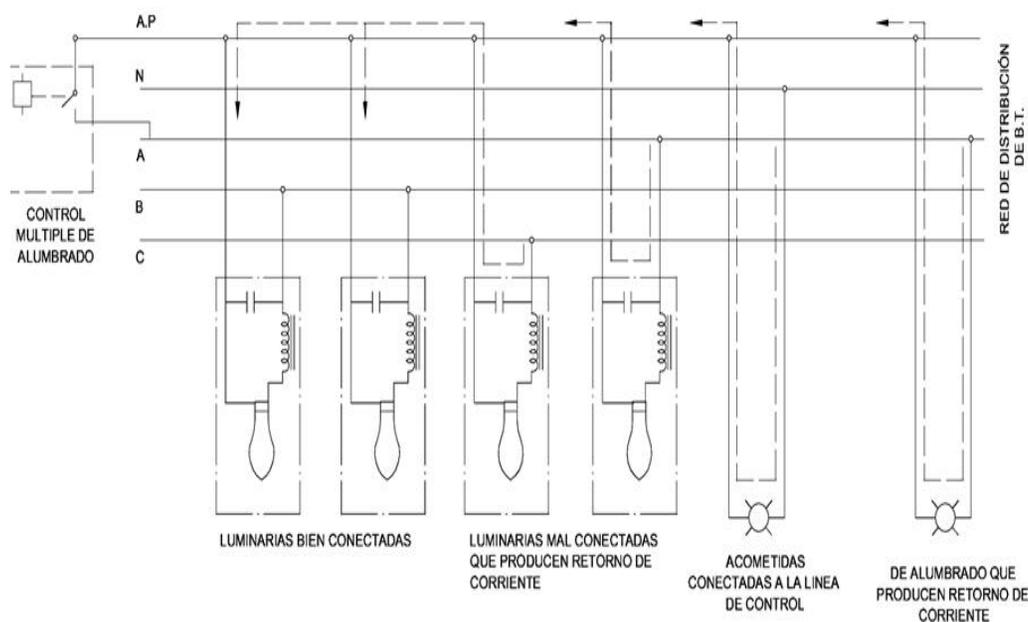
El funcionamiento del alumbrado público puede variar según la ubicación y los requisitos específicos, pero en general, implica los siguientes elementos:

- **Luminarias:** son los dispositivos que emiten luz y se instalan en postes o estructuras para iluminar las calles o áreas públicas.
- **Red eléctrica:** proporciona la energía eléctrica necesaria para alimentar las luminarias. La red puede ser aérea o subterránea, y está conectada a la fuente de energía eléctrica.
- **Controladores:** pueden ser temporizadores, sensores de movimiento, fotocélulas u otros dispositivos que regulan el encendido y apagado de las luminarias.
- **Sistema de mantenimiento:** implica la revisión periódica y reparación de las luminarias, controladores y la red eléctrica para asegurar un funcionamiento adecuado y eficiente.

- **Sistema de monitoreo:** algunos sistemas de alumbrado público pueden incluir cámaras o dispositivos de monitoreo que permiten la supervisión remota del funcionamiento del sistema, facilitando la detección de fallos y la resolución de problemas.

Figura 6

Circuito de alumbrado público



Nota. Tomado de Likinormas (2000)

Luminaria

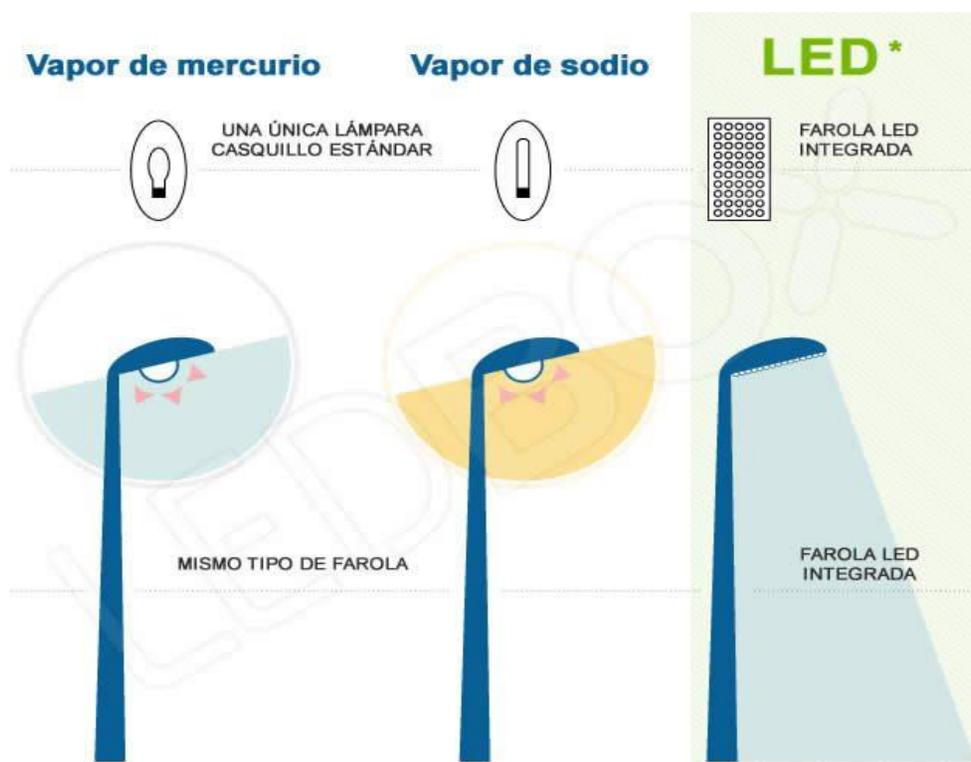
Las luminarias públicas son dispositivos de iluminación diseñados para proporcionar una iluminación adecuada en espacios públicos como calles, plazas y parques durante la noche. Su función principal es mejorar la seguridad al prevenir accidentes y actos delictivos, pero también pueden tener un valor estético y mejorar la calidad de vida de la comunidad en general según Lighting Research Center – LRC (2022).

Existen muchas tecnologías en uso en la actualidad. Algunas de las tecnologías más utilizadas son:

- LED (Diodo Emisor de Luz)
- VMAP (Vapor de mercurio alta presión)
- VSAP (Vapor de sodio alta presión)
- Halogenuros Metálicos

Figura 7

Tipos de alumbrado en la vía pública



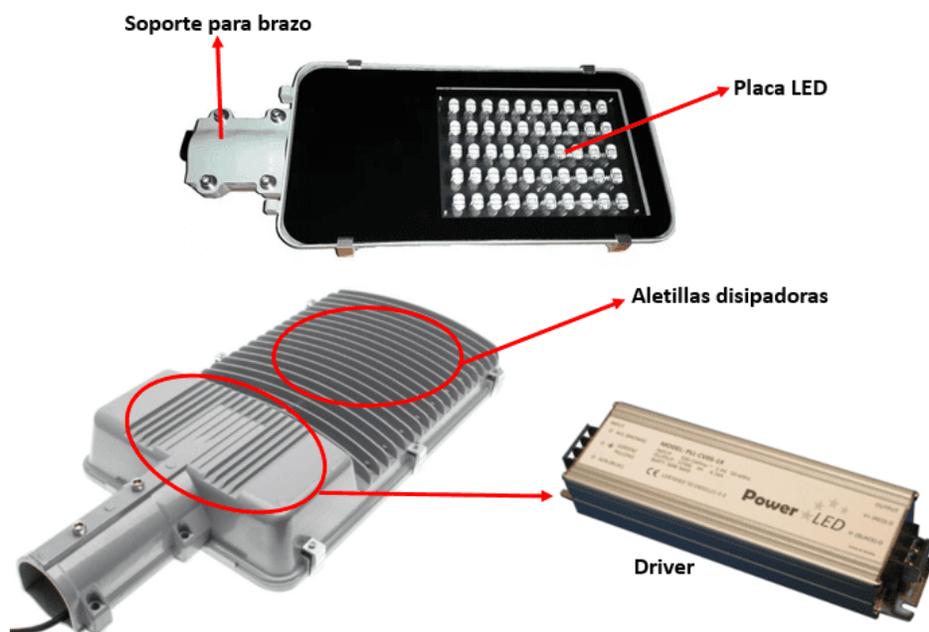
Nota. Tomado de Vélez. (2011)

La luminaria requiere la anodización (acabado superficial mediante electroquímico) que podría aplicarse con el propósito de mejorar la resistencia a la corrosión y proporcionar propiedades estéticas a la superficie del reflector en VSAP Y VMAP. También cuenta con una pantalla frontal que es resistente a los impactos y protege completamente contra el agua. La forma en que está diseñada la luminaria asegura que la luz se distribuya de manera uniforme en la superficie a iluminar.

Luminaria LED. Abreviatura de "diodo emisor de luz", es un componente electrónico que convierte la energía eléctrica en luz. Montados en placas de circuitos, su luz brilla en una dirección específica, haciéndolos más eficientes que otras tecnologías. Las luminarias LED cuentan con un brazo de soporte para anclaje y un sistema de disipación de calor debido al alto consumo de energía. El driver, que acondiciona la energía eléctrica de la red y protege el circuito LED de sobrecargas, suele ser interno, pero también puede ser externo. Dumlux (2022).

Figura 8

Tecnología LED



Nota. Tomado de Dumlux (2022)

Luminarias de VMAP. Las lámparas de mercurio funcionan excitando el gas de mercurio en su interior a través de un arco eléctrico generado por la corriente eléctrica aplicada a los electrodos. La ionización del vapor de mercurio (Hg) con el gas argón (Ar) o xenón (Xe) produce radiación ultravioleta que es absorbida por el fósforo en el interior del tubo de vidrio, produciendo luz visible.

Figura 9

Lámparas de mercurio



Nota. Tomado de Linfht (s. f.)

La principal diferencia entre la lámpara de mercurio abierta y la lámpara de mercurio cerrada es que la lámpara de mercurio abierta no contiene una cubierta exterior de vidrio, mientras que la lámpara de mercurio cerrada sí la tiene.

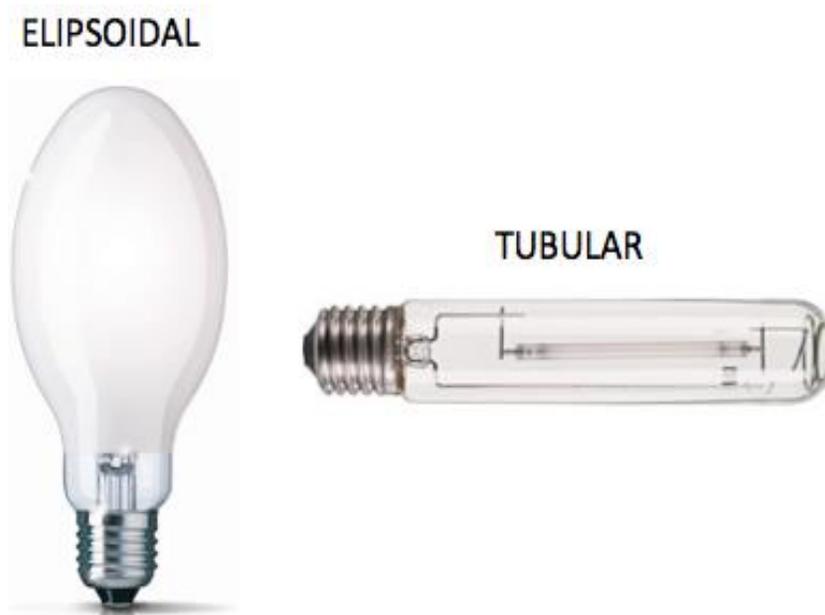
Luminarias de VSAP. Las luminarias de vapor de sodio funcionan con corriente eléctrica en un tubo de descarga con gas de sodio y otros inertes. Al excitarse el vapor de sodio y el gas como Neón (Ne), Kriptón (Kr), Mercurio (Hg), Xenón (Xe) o Selenio (Se), los electrones se mueven a niveles de energía más altos, emitiendo luz amarilla-naranja al volver a sus niveles originales.

La lámpara VSAP se conecta a una fuente de suministro eléctrico adecuada para proporcionar la corriente necesaria, algunos modelos cuentan con un arrancador, que puede ser independiente o estar incorporado en la lámpara, para facilitar el proceso de ignición. Al aplicar voltaje eléctrico, se genera una corriente a través del gas de sodio en su interior,

elevando su temperatura y convirtiéndolo en un vapor incandescente. Una vez que el gas de sodio se ha vaporizado y alcanzado la temperatura óptima, emite luz visible de color amarillo intenso, que es característico de los focos de vapor de sodio de alta presión debido a las propiedades espectrales del sodio.

Figura 10

Lámparas de vapor de sodio alta presión



Nota. Tomado de Efimarket (2017)

Halogenuros Metálicos. Las lámparas de halogenuros metálicos son una variedad de las lámparas de vapor de mercurio. Su tubo de descarga contiene aditivos metálicos que potencian zonas de espectro visible, mejorando el rendimiento luminoso y de color. Su composición espectral es versátil y se adapta a las necesidades del usuario mediante la selección de metales añadidos. El tubo de descarga lleva dos electrodos principales de tungsteno y está relleno de gases como argón-neón, dosis de mercurio y halogenuros de metales como ioduros de indio, sodio, talio, escandio y litio.

Figura 11*Lámparas Halogenuros Metálicos*

Nota. Tomado de Amazon (2016)

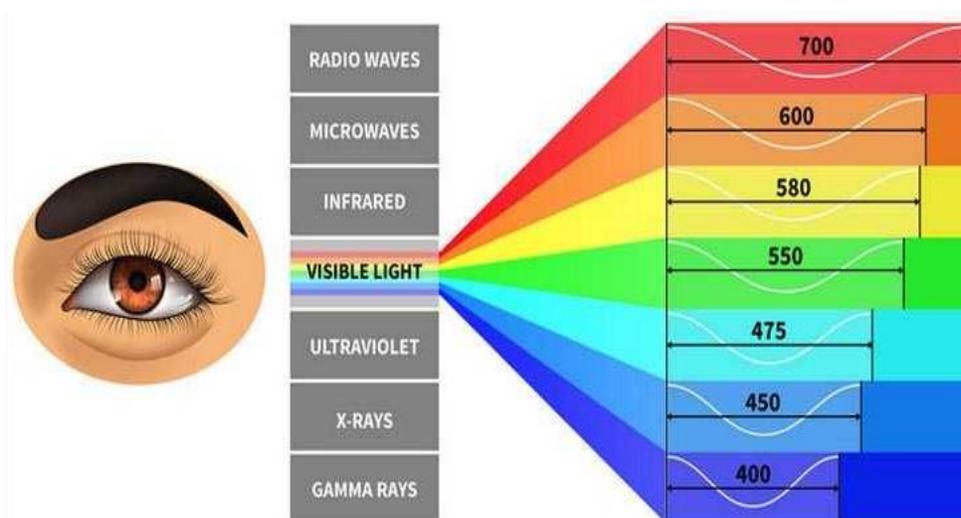
Luz visible

La luz visible es una forma de radiación electromagnética que se puede percibir por el ojo humano y que tiene longitudes de onda entre aproximadamente 400 y 700 nanómetros. Es una parte del espectro electromagnético que incluye otras formas de radiación, como la luz ultravioleta, los rayos X y las ondas de radio.

Según Wolbarsht (1980) "La luz visible es fundamental para la percepción humana y es esencial para la fotosíntesis y la regulación de los ritmos circadianos en la Tierra. Además, también es crucial para la observación de objetos astronómicos y para la comunicación a través de señales de luz en la tecnología óptica."

Figura 12

Colores del espectro de luz visible



Nota. Tomado de Foto Manias (2019)

Temperatura del color. Según Hara (2023), La temperatura del color cuantifica la calidez o frialdad de la luz visible, medido en grados Kelvin.

Figura 13

Escalas de la temperatura del color



Nota. Tomado de Lumi (2020)

Reflexión. La reflexión de la luz se produce cuando ésta rebota en una superficie y cambia su dirección, sin alterar su frecuencia ni longitud de onda. La ley de la reflexión establece que el ángulo en que la luz incide en la superficie es igual al ángulo en que se refleja la luz. Es decir, la luz rebota con un ángulo de incidencia igual al ángulo de reflexión. Tipler y Mosca (2012).

Transmisión-refracción. Se produce cuando una onda cambia su dirección y velocidad al pasar de un medio a otro que tiene un índice de refracción diferente. La parte de la onda que entra en el nuevo medio se transmite a través de él, pero su trayectoria se desvía debido al cambio en la velocidad de la onda. Esto se debe a que la velocidad de propagación de la onda varía según el medio por el que se mueve. Tipler y Mosca (2012).

Absorción. Es la transferencia de energía de una onda a un medio, lo que resulta en la conversión de la energía de la onda en otra forma, como calor. Este proceso puede ocurrir en cualquier tipo de onda, incluyendo la luz, el sonido y las ondas de radio. Tipler y Mosca (2012).

Eficiencia

Según Javier S. (2018), La eficiencia es un tema ampliamente explorado en el campo de la economía. Se refiere a la reducción de la cantidad de recursos necesarios para producir un nivel determinado de bienes y servicios.

Magnitudes físicas de la luz visible

Las magnitudes físicas son cruciales para comprender y describir la luz visible. Permiten medir y cuantificar sus características, como su intensidad, color y dirección. La longitud de onda determina el color, la intensidad mide la cantidad de energía y la luminancia se refiere a la cantidad de luz emitida o reflejada desde una superficie.

Flujo luminoso. Se define el flujo luminoso como la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. A la relación entre watts y lúmenes se le llama equivalente luminoso de la energía y equivale a:

$$1 \text{ watt} - \text{luz a } 555 \text{ nm} = 683 \text{ lm}$$

Donde:

ϕ : Es el símbolo de flujo luminoso y su unidad de medida es el lumen (lm)

Intensidad luminosa. La intensidad luminosa es una de las magnitudes fotométricas. Relaciona el flujo luminoso con el ángulo del haz de una fuente de luz. La intensidad luminosa indica, por tanto, la concentración de la luz o la densidad de la luz emitida.

$$I = \frac{\phi}{\omega} \quad (2)$$

Donde:

I : Es el símbolo Intensidad luminosa y su unidad de medida es la candela (cd)

ω : Es el símbolo del elemento diferencial del ángulo sólido y su unidad de medida estereorradián

$$1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/estereorradián}$$

Iluminancia. La iluminancia o nivel de iluminación se define como el flujo luminoso que incide sobre una superficie.

$$E = \frac{\phi}{S} \quad (3)$$

Donde:

E : Es el símbolo Iluminancia y su unidad de medida es el lux (lx), Existe también otra unidad, el foot-candle (fc),

S : Es el símbolo del área de incidencia su unidad de medida metros cuadrados (m²)

$$1 \text{ fc} \approx 10 \text{ lx}$$

$$1 \text{ lx} \approx 0.1 \text{ fc}$$

Luminancia. Se llama luminancia a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada:

$$L = \frac{I}{S_{\text{Aparente}}} = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha} \quad (4)$$

Donde:

L : Es el símbolo de la luminancia y su unidad de medida es (cd/m²)

$S_{Aparente}$: Es el símbolo del área vista desde un andullo de observación (m^2)

α : Es el ángulo de observación se mide en grados o radianes.

Rendimiento Luminoso. Cuando se trata del flujo luminoso, es importante tener en cuenta que parte de la energía eléctrica consumida por una lámpara se disipa como calor y radiación invisible, en lugar de producir luz visible. Esto ocurre con lámparas de todo tipo, incluyendo bombillas y fluorescentes. Tolocka E. (2015).

Figura 14

El rendimiento de las lámparas



Nota. Tomado de Tolocka E (2015)

$$n = \frac{\phi}{W} \quad (5)$$

Donde:

n : Es el símbolo del rendimiento o eficiencia luminosa y su unidad de medida es flujo luminoso sobre potencia consumida (lm/W)

W : Es el símbolo de la potencia consumida en watt (W).

Fotometría. La fotometría es la ciencia que mide la luz emitida o reflejada por un objeto. Se enfoca en medir la radiación electromagnética visible, perceptible por el ojo humano. Utiliza instrumentos como fotómetros y espectrofotómetros para medir la intensidad y distribución

espectral de la luz. Unidades de medida específicas, como lux y candela, se emplean para medir la iluminancia y la intensidad luminosa, respectivamente. En el campo de la fotometría vial, se realizan mediciones y cálculos para evaluar la distribución y uniformidad de la iluminación, así como el nivel de iluminancia en las vías. Estos datos son fundamentales para diseñar sistemas de iluminación eficientes y efectivos, mejorando la seguridad y comodidad en entornos viales. ACERNNR (2020).

Parámetros fotométricos

Aunque se reitera, el diseño de iluminación es un tema que es objeto de estudio de un posgrado, involucra mucho más que un simple cálculo en una pantalla. Para este proyecto solo se considerará directamente los siguientes aspectos para Alumbrao de carreteras para tráfico de vehículos y peatones el cual el software nos ayuuar a modelar y modificar los siguientes parámetros.

Iluminancia promedio. La iluminancia promedio es la cantidad promedio de luz que llega a una superficie y se expresa en lux (lx). La iluminancia puede variar en diferentes áreas debido a la ubicación de las fuentes de luz. Es esencial para la visibilidad y el confort visual en espacios interiores y exteriores. Los estándares de iluminación establecen valores mínimos de iluminancia promedio para diversos entornos, con el objetivo de proporcionar condiciones de iluminación adecuadas.

Luminancia promedio de la calzada. Se expresa en candelas por metro cuadrado (cd/m^2) y se calcula tomando el promedio de la luz reflejada en varios puntos de la calzada. Cumplir con requisitos mínimos de luminancia promedio, establecidos por normas de tráfico, garantiza una iluminación adecuada y una visibilidad óptima para los conductores. Esto reduce los riesgos de accidentes y mejora la seguridad en las vías.

Tabla 2*Equivalencia Clases M y C*

Coeficiente de luminancia medio (Q0)	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Clase de alumbrado C si $Q0 \leq 0,05$	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Clase de alumbrado C si $0,05 < Q0 \leq 0,08$	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Clase de alumbrado C si $Q0 > 0,08$	C0	C1	C2	C3	C4	C5

Nota. Tomado de ACERNNR (2020)

Uniformidad. Es un parámetro importante para garantizar una iluminación adecuada y sin zonas de sombra o áreas excesivamente iluminadas, Existen diferentes tipos de uniformidad en iluminación, entre ellos:

- Factor de uniformidad global (**Uo**) : Este factor se calcula dividiendo la iluminancia o luminancia mínima por la iluminancia o luminancia promedio.
- Factor de la uniformidad Longitudinal (**Ul**) : Se refiere a la consistencia en la distribución de la iluminancia o luminancia a lo largo de una dirección o eje específico en un área o superficie, evaluando la igualdad en la cantidad de luz que llega o se refleja en diferentes puntos o áreas.

$$Ul = \frac{E_{min}}{E_{max}} \quad (6)$$

Donde:

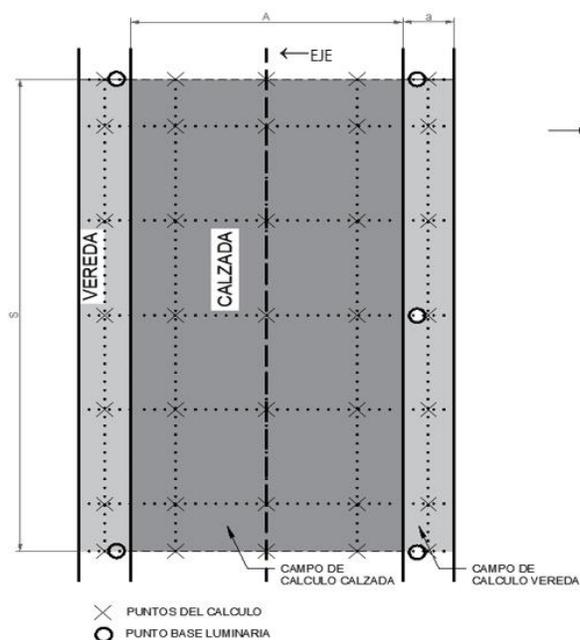
E_{min} : Es el símbolo de iluminación mínima medida en (lux).

E_{max} : Es el símbolo de iluminación máxima medida en (lux).

Relación de alrededores (SR). La relación de alrededores compara la iluminancia promedio fuera de la calzada con la iluminancia promedio dentro de la calzada, utilizando bandas de 5 m de ancho. Para Las calzadas dobles deben tratarse como una sola, excepto si están separadas por más de 10 m.

Figura 15

Medición de los parámetros fotométricos vial



Nota. Tomado de C.A. (2022)

Incremento de Umbral. El incremento de umbral implica aumentar el nivel de iluminación por encima del mínimo requerido. Es importante tener en cuenta que el incremento de umbral en la iluminación pública debe ser cuidadosamente planificado y diseñado para evitar problemas como la contaminación lumínica, que puede tener efectos negativos en la fauna, el medio ambiente y el consumo de energía. Se deben considerar soluciones que sean eficientes desde el punto de vista energético y respetuosas con el entorno.

Deslumbramiento (TI). Es una condición visual que causa incomodidad y disminución en la capacidad de distinguir objetos debido a la mala distribución o variación de la luminosidad, así como a los contrastes de luz. En esta condición, la visión se ve afectada negativamente, lo que puede dificultar la percepción de los detalles y la claridad de los objetos. El deslumbramiento puede ser causado por fuentes de luz intensa, superficies reflectantes o una iluminación inadecuada en el entorno. ACERNNR (2020).

$$TI = \frac{k * E_e}{(lav)^{0.8} * \theta^2} \quad (7)$$

Donde:

k : Factor del observador en función de su edad usualmente 6501.

E_e : Iluminancia total inicial producida por las luminarias, en su estado nuevo, sobre un plano normal a la línea de visión y a la altura del ojo del observador.

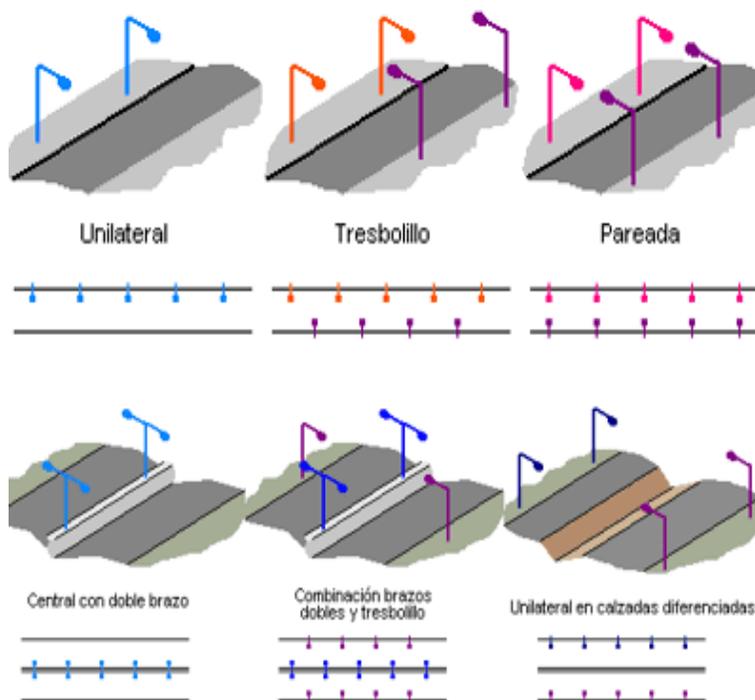
lav : Luminancia inicial promedio.

θ : Ángulo en grados formado entre la línea de visión y el centro de cada luminaria.

Disposición de luminarias. El arreglo geométrico depende del eje y ancho de la vía a iluminar, en Cotopaxi las luminarias se encuentran en una altura de 12 metros y vanos (distancia entre postes) de 35 metros, específicamente el ancho para las vías del centro histórico de San Miguel de Salcedo es de 7,5 metros a 8 metros.

Figura 16

Disposición de las luminarias en la vía



Nota. Tomado de Javier (s. f.)

- **Unilateral:** Se usa cuando el ancho de la vía es inferior a la altura de montaje de la luminaria.
- **Bilateral opuesta:** Se usa o se recomienda cuando el ancho de la vía es muy superior a la altura de montaje de la luminaria.
- **Bilateral alternada:** Se usa o se recomienda cuando el ancho de la vía es ligeramente superior a la altura de montaje de la luminaria.
- **Central Doble:** Se recomienda en vías dobles con separadores centrales colocando las luminarias sobre estos.

Coordenadas UTM

Las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) son un sistema de referencia cartográfica utilizado para la ubicación precisa en la superficie terrestre. Se basan en una proyección cartográfica que divide la Tierra en zonas y utiliza coordenadas cartesianas (ejes x e y) para representar puntos en cada zona. Las coordenadas UTM son ampliamente aplicadas en cartografía, topografía y navegación, ofreciendo una forma precisa y estandarizada de representar ubicaciones terrestres. También se emplean en sistemas de posicionamiento global (GPS) para determinar y compartir con exactitud la ubicación geográfica. la empresa eléctrica trabaja con la UTM17S. ELEPCOSA (2023)

Características de la calzada

Según, ACERNNR (2020) . Las superficies de las vías públicas pueden ser de diferentes tipos, dependiendo de su función y características. A continuación, te mencionaré algunos de los tipos más comunes de superficies de vías públicas:

- **Asfalto:** Es una capa de asfalto compactada y lisa que se utiliza comúnmente en carreteras y autopistas. Proporciona una superficie suave y resistente al desgaste.
- **Concreto:** Consiste en una capa de concreto endurecido y pulido. Se utiliza en carreteras, calles y aeropuertos debido a su durabilidad y resistencia.

- **Adoquines:** Compuesta por adoquines de piedra o concreto dispuestos en un patrón específico. Se utiliza en áreas peatonales y calles históricas debido a su apariencia estética y durabilidad.
- **Grava:** Se compone de una capa de grava compactada. Se utiliza comúnmente en caminos rurales y áreas con poco tráfico, ya que proporciona una superficie rugosa pero resistente.
- **Tierra o suelo:** Es una superficie sin pavimentar y natural, que se encuentra en caminos rurales, senderos y áreas no urbanizadas. Dependiendo de las condiciones, puede ser arenosa, arcillosa o rocosa.

Difusa o casi difusa. Se divide según su concentración de material:

- Superficies que al menos el 15 % de los materiales utilizados en las superficies de asfalto sean reflectantes o de color claro, o que al menos el 30 % de la superficie esté cubierta con rocas altamente brillantes.
- Las superficies que consisten en gravas y que cubren más del 80% del área de la calzada deben estar compuestas por una gran cantidad de material claro o reflectante, o estar completamente hechas de rocas altamente brillantes.
- Las superficies de calzada construidas con hormigón de concreto.

Difusa especular o ligeramente difusa (mixta). Se divide en:

- Superficies con una textura áspera que contienen agregados regulares.
- Pavimentos asfálticos con un contenido del 10% al 15% de aditivos brillantes.
- Capas de hormigón bituminoso de espesor grueso y textura rugosa, que contienen más del 60% de grava con tamaños mayores a 10 mm.
- Asfalto mastico que ha sido sometido a tratamiento, también conocido como asfalto mastico en estado reciente.

Ligeramente especular o brillante. Se divide según su tipo de superficie:

- Superficies revestidas con hormigón (como asfalto frío o asfalto cemento) que contienen grava de tamaño superior a 10 mm y presentan una textura rugosa.
- Superficies tratadas que exhiben una textura rugosa pero pulida.

Brillante o muy especular. Se divide según la reflexión de la calzada:

- Asfalto mastico tras un periodo de uso prolongado.
- Superficies con una textura suave o pulida.

Tipo de alumbrado según la clasificación vial

Tabla 3

Clase de iluminación M

Clase de Iluminación	Campo de Aplicación					
	Todas las Vías		Vías sin o con pocas intersecciones		Vías con aceras no iluminadas para clases P1 a P4 (ver tablas 4)	
	Luminancia promedio L_{av} (cd/m ²)mantenido		Factor de uniformidad U_0 Mínimo	TI % Máxima inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia U_L Mínimo	Relación de alrededores (SR) Mínima
	Máxima	Mínima				
M1	2,5	2,0	0,40	10	0,70	0,5
M2	1,8	1,5	0,40	10	0,70	0,5
M3	1,3	1,0	0,40	15	0,60	0,5
M4	0,9	0,75	0,40	15	0,60	0,5
M5	0,6	0,50	0,35	15	0,40	0,5
M6	0,50	0,30	0,35	20	0,40	0,5

Nota. Tomado de ACERNNR (2020).

Tabla 4*Clase de iluminación P*

Clase de Iluminación	Iluminancia (lx)		
	Medida Máxima (*)	Valor Promedio (*)	Valor Mínimo (*)
P1	27	15	3
P2	18	10	2
P3	13,5	7,5	1,5
P4	9	5,0	1,0
P5	5,4	3,0	0,6
P6	3,6	2,0	0,4

Nota. Tomado de ACERNNR (2020).

Tabla 5*Clase de iluminación C*

Clases de Iluminación	Iluminancia horizontal E (lx)		Uniformidad global de Iluminancia mínima U_0	Incremento de Umbral (%)	
	Máxima	Mínima		Moderada y Alta Velocidad	Baja y muy baja velocidad
C0	60	50	0,40	10	15
C1	50	30		10	15
C2	30	20		10	15
C3	20	15		15	20
C4	15	10		15	20
C5	10	7,5		15	25

Nota. Tomado de ACERNNR (2020).

Método de medición

El método, según ACERNNR (2020), indica que la norma CIE 140 emplea la división de una vía en grillas como táctica en la medición urbana para la iluminación de vías públicas, estableciendo como método de los 9 puntos ver Figura 34.

Equipos de medición

La medición de la luz visible nos permite cuantificar la intensidad, la distribución espectral y otros parámetros de la luz que percibimos, la medición de la luz visible también es importante en aplicaciones relacionadas con la salud, como la fototerapia y la evaluación de la exposición a la luz.

Existen varias formas de medir la luz visible, entre las que se incluyen:

- **Luxómetro:** es un instrumento que se utiliza para medir la intensidad de la luz visible en lux. Está compuesto por un fotómetro y un sensor de luz que mide la cantidad de luz que llega al fotómetro.
- **Espectrómetro:** es un instrumento que se utiliza para descomponer la luz en sus diferentes componentes espectrales. Esto permite medir la intensidad de la luz en diferentes longitudes de onda y obtener información sobre la composición de la luz.
- **Radiómetro de luz visible:** es un instrumento que se utiliza para medir la intensidad de la luz visible y la energía que se transmite en una unidad de tiempo. Los radiómetros de luz visible son especialmente útiles para medir la cantidad de luz que llega a una superficie, como por ejemplo una planta en un invernadero.
- **Fotómetro:** es un instrumento que mide la cantidad de luz que llega a un sensor de luz. Los fotómetros se utilizan para medir la exposición de la luz en fotografía y para medir la intensidad de la luz en diferentes aplicaciones industriales

Características técnicas de las luminarias

Voltaje (V). El voltaje, conocido también como diferencia de potencial eléctrico, es una cuantificación de la intensidad o fuerza eléctrica que impulsa el flujo de corriente en un circuito. Su medida se expresa en voltios (V) y representa la energía eléctrica potencial por cada unidad de carga eléctrica. ACERNNR (2020).

- Voltaje nominal - sistema monofásico: 240 V / 120 V.

- Voltaje nominal - sistema trifásico: 210 V / 121 V - 220 V / 127 V.
- Frecuencia: 60 Hz (hertzios).

Distorsión armónica total (THD). Según ACERNNR (2020) la norma IEC 61000-3-2, la THD de corriente a potencia nominal debe ser menor o igual al 20%. Esto significa que la suma de todas las armónicas presentes en la corriente, expresada como un porcentaje de la corriente fundamental, no debe superar el 20% de la corriente nominal.

Potencia (W). La potencia eléctrica se refiere a la tasa a la cual la energía eléctrica se transfiere o se consume en un circuito eléctrico. Se mide en vatios (W) y se calcula multiplicando el valor de la corriente eléctrica (I) por el valor del voltaje eléctrica (V)

Factor de potencia (FP). Conocido como factor de potencia, es una evaluación que señala la proporción entre la potencia activa y la potencia aparente en un sistema de corriente alterna. Un factor de potencia de 1 denota un aprovechamiento eficiente de la energía, mientras que un factor de potencia inferior a 1 sugiere la existencia de potencia reactiva en el circuito.

Resistencia al impacto (IK). La resistencia al impacto es la capacidad de un material para resistir la rotura o fractura bajo cargas de impacto repentinas. Es una medida de la tenacidad y la capacidad de absorción de energía de un material antes de romperse.

Resistencia a la intemperie (IP). La resistencia a la intemperie se refiere a la capacidad de un material o dispositivo para resistir las condiciones climáticas y ambientales al estar expuesto al aire libre durante períodos prolongados. La clasificación IP proporciona información sobre la protección contra objetos sólidos y líquidos según un sistema de clasificación numérico.

Termografía

Según E-ficiencia (2022), la termografía es un método no invasivo que captura imágenes de temperatura a distancia, sin contacto directo, brindando detalles térmicos de objetos o seres vivos mediante imágenes infrarrojas

Mantenimiento proactivo

El mantenimiento proactivo es una estrategia que se enfoca en identificar y abordar las causas raíz de los problemas recurrentes en equipos y sistemas. En lugar de solo prevenir fallos futuros, busca eliminar las causas subyacentes de los problemas para mejorar la confiabilidad y el rendimiento a largo plazo. Implica el análisis de fallas, el monitoreo de condiciones, mejoras en el diseño y optimización de procesos. El objetivo es prevenir problemas en lugar de solo reaccionar a ellos, lo que puede aumentar la disponibilidad de los activos y reducir los costos de mantenimiento.

Costo beneficio

El costo beneficio se utiliza en una amplia gama de contextos, desde proyectos de inversión en empresas hasta evaluaciones de políticas públicas. Proporciona una herramienta para tomar decisiones informadas al comparar y evaluar diferentes opciones. Es importante tener en cuenta que el costo beneficio no es la única consideración en la toma de decisiones, ya que también se deben considerar otros factores, como el riesgo, la sostenibilidad y los impactos no monetarios.

Marco Regulatorio y Normativas Ecuatorianas e Internacionales

La iluminación pública es una obligación de las autoridades municipales y gubernamentales, y hay regulaciones y leyes tanto a nivel nacional como global que determinan los estándares técnicos y de excelencia que los sistemas de iluminación pública deben cumplir. A continuación, se presentan algunas de las regulaciones más importantes aplicables en Ecuador.

Normativas nacionales. Aquí se menciona las más utilizadas en Ecuador:

- La Resolución Nro. ARCERNNR-029/2020 emite la siguiente normativa bajo el título de "Regulación sobre la Prestación de Servicios de Alumbrado Público", la cual será identificada como la Regulación Nro. ARCERNNR-006/20.

- La Resolución Nro. ARCERNNR-017/2020 emite la normativa titulada "Regulación de la Calidad del Servicio de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica", identificada como la Regulación Nro. ARCERNNR-002/20.
- La Resolución ARCERNNR-009/2022, emitida por el Directorio de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), establece la tarifa establecida para el suministro de electricidad se mantiene constante en 0,092 (USD/kWh).
- Norma Ecuatoriana de Iluminación (NEC): establece los requisitos mínimos de iluminación para diferentes aplicaciones, incluyendo el alumbrado público.

Normativas internacionales. Estas son las normas recomendadas:

- Norma CIE 115: La norma internacional de iluminación (CIE), establece las recomendaciones para el alumbrado de calzada de tráfico motorizado y peatonal.
- Norma CIE 140: La norma internacional de iluminación (CIE), indica los Métodos de cálculo para la iluminación pública de carreteras.
- Norma IEC 61347-1: La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), asegura compatibilidad, intercambiabilidad y calidad; excluye luminarias no conformes.

Figura 17

Normativa IEC 60598-1



Nota. Tomado de Comisión Internacional de la Iluminación (2023)

En general, estas normativas y regulaciones tienen como objetivo garantizar que los sistemas de alumbrado público sean eficientes, seguros y respetuosos con el medio ambiente, y que cumplan con los requisitos de calidad y desempeño necesarios para asegurar la satisfacción de los usuarios y la comunidad en general.

ARCERNNR

La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) es la entidad encargada de regular y controlar el sector eléctrico en Ecuador. En cuanto a las luminarias, la agencia de regulación y control establece las normas y reglamentaciones para la eficiencia energética y la calidad de la iluminación en el país según ARCERNNR (2023)

La ARCERNNR trabaja en conjunto con otras entidades del Estado, como el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables y el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), para establecer las normativas técnicas y de seguridad que deben cumplir las luminarias que se comercializan en el país. Estas normas establecen los requisitos mínimos de eficiencia energética, durabilidad, seguridad y calidad de la luz emitida por las luminarias.

Además, la ARCERNNR realiza inspecciones y monitoreos en el mercado para verificar el cumplimiento de estas normas por parte de los fabricantes e importadores de luminarias. En caso de detectar incumplimientos, la ARCERNNR puede aplicar sanciones y multas, e incluso retirar del mercado las luminarias que no cumplan con las normas establecidas.

Figura 18

Resolución Nro. ARCERNNR-029/2022



Nota. Tomado de ARCERNNR (2023)

En resumen, la agencia de regulación y control trabaja para garantizar que las luminarias que se comercializan en Ecuador cumplan con los requisitos de eficiencia

energética, calidad de la iluminación y seguridad, contribuyendo así a la protección del medio ambiente y al bienestar de la población ARCERNNR (2023)

Resolución Nro. ARCERNNR- 029/2020

Mediante la Resolución número ARCERNNR-029/2020, el Directorio de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARC), regula la provisión del servicio de Iluminación Pública en General. El propósito de esta regulación es establecer directrices técnicas y comerciales para que las compañías eléctricas distribuidoras puedan ofrecer el servicio de iluminación pública en general con altos estándares de calidad y eficiencia.

ANSI C136.10. La norma ANSI C136.10 es un estándar vigente que garantiza la compatibilidad y la intercambiabilidad de los componentes utilizados en estos sistemas, lo que facilita la instalación, el mantenimiento y la sustitución de las luminarias y sus accesorios del mercado las luminarias que no cumplan con las normas establecidas.

Figura 19

ANSI



Nota. Tomado del Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (2023)

IEC 61347. La norma IEC 61347-1 se aplica a los aparatos de control de lámparas que suministran energía eléctrica a las lámparas, como balastos, controladores electrónicos y transformadores utilizados en sistemas de iluminación. Estos aparatos son responsables de proporcionar la energía necesaria para encender y operar las lámparas de manera segura y eficiente. Algunos de los aspectos cubiertos por la norma IEC 61347-1 incluyen:

- Requisitos de seguridad mecánica en el diseño y construcción de lámparas.
- Requisitos de seguridad eléctrica para garantizar el funcionamiento

Tabla 6

Especificaciones de una luminaria LED según ARCERNNR

ESPECIFICACIONES GENERALES	
Condiciones de servicio:	
Tipo	Alumbrado Vial.
Humedad relativa.	≥ 70%.
Características eléctricas del sistema de distribución:	
Voltaje nominal - sistema monofásico.	240 / 120 V.
Voltaje nominal - sistema trifásico.	220 / 127 V - 210 / 121 V.
Frecuencia.	60 Hz.
Protector de la luminaria:	
Material.	Vidrio templado plano liso
Resistencia al impacto.	IK ≥ 08.
Intemperie	IP ≥66.
Factor de potencia.	≥0,92.
Distorsión armónica THD	Menor o igual al 20%,
Eficacia luminosa.	≥130 lm/W (2700 °K o 4000 °K).
Vida Útil del Sistema	≥100.000 horas
Dispositivo de protección contra sobretensiones (spd).	
Dispositivo de protección	10 kA / 10 kV Corriente máxima

Nota. Tomado de Unidades Propiedad (2022)

Fundamentación teórica

- **Resolución Nro. ARCERNNR-019/2022:** Corresponde a todas las empresas eléctricas y al CENACE presentar a la ARCONEL la información técnico-económica necesaria para realizar el análisis para la determinación de los costos del servicio público de energía eléctrica.
- **Resultados del Costo del Servicio de Alumbrado Público General:** Análisis del Costo del Servicio de Alumbrado Público General para el año 2023 para el mantenimiento del sistemas y equipo eléctrico.

- **IEC 60598-1:** La norma internacional que establece los requisitos de seguridad para luminarias (aparatos de iluminación). Esta norma clasifica las luminarias en dos categorías principales: Clase I (con tierra) y Clase II (sin tierra).

Fundamentación conceptual

- **ARCONE:** Agencia de Regulación y Control de Electricidad.
- **ARCERNNR:** Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables.
- **CIE:** Comisión Internacional de Iluminación (IEC por sus siglas en inglés: International Commission on Illumination)
- **ELEPCO S.A:** Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi Sociedad Anónima.
- **SIG:** Sistema de Información Geográfica.
- **DPCO:** Dirección Provincial de Cotopaxi

Hipótesis

¿Si se logra caracterizar el sistema de iluminación pública teniendo en cuenta la eficiencia, eficacia y efectividad, se podrá proponer alternativas tecnológicas que cumplan con las normas de iluminación y que reduzcan los costos de operación y mantenimiento?

Variables de investigación

Variable dependiente

El ahorro energético buscando comodidad y seguridad para mejorar la calidad de vida y el nivel económico que ofrece en el sistema de distribución de (ELEPCO S.A).

Variable independiente

La iluminación pública, con recopilación y análisis de magnitudes o datos para toma de decisiones según normativas de la Empresa (ELEPCO S.A).

Capítulo III

Metodología

Modalidad de Investigación

El presente estudio de tesis se basa en la recopilación de datos mediante el enfoque inductivo, con el propósito de analizar la eficiencia energética en la iluminación vial del cantón Salcedo de la provincia de Cotopaxi utilizando técnicas de análisis de datos avanzados. El objetivo principal es diagnosticar y formar un criterio de sustitución eficiente para las luminarias VSA, los cuales se obtienen a través de la recolección de información en la base de datos de Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A (ELEPCO S.A)

Tipos de investigación

investigación empírica.

Según Albert Einstein (1955), la investigación empírica nos enseña a cuestionar nuestras suposiciones y a buscar respuestas basadas en la realidad, no en la especulación. El objetivo de la investigación empírica en el análisis de datos es obtener conocimiento basado en evidencia objetiva, describir fenómenos, explorar relaciones, probar hipótesis, predecir resultados y proporcionar una base para la toma de decisiones informadas.

Investigación bibliográfica

Según Hernandez (2014). La investigación bibliográfica tiene como objetivo recopilar y analizar información relevante y actualizada de fuentes documentales para obtener una base sólida de conocimientos teóricos sobre un tema, estableciendo el estado del arte y orientando la investigación.

Investigación de exploratoria

Según Vint Cerf (2002), una gestión adecuada del almacenamiento de datos es fundamental para los avances científicos y tecnológicos en nuestra sociedad. A partir de los resultados de la investigación exploratoria, los datos recopilados sobre potencia, ubicación y tecnología distribuidos en el cantón Salcedo se pueden encontrar en la base de datos

bibliográfica de la institución o municipalidad encargada de gestionar sus activos incluso cuentan con páginas web que brindan esa información

Investigación descriptiva

La investigación descriptiva juega un papel fundamental en el desarrollo del conocimiento científico, al proporcionarnos una perspectiva amplia y detallada de los fenómenos investigados. En el caso específico de la iluminación vial, su objetivo es describir de manera clara y detallada las características, condiciones y efectos de la iluminación en las vías públicas. Esto implica evaluar aspectos como la eficiencia energética, el rendimiento lumínico, la seguridad vial, el impacto ambiental y las necesidades de los usuarios. Este enfoque contribuye a mejorar el diseño y la gestión de los sistemas de iluminación vial, promoviendo la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad en entornos urbanos.

Investigación de campo

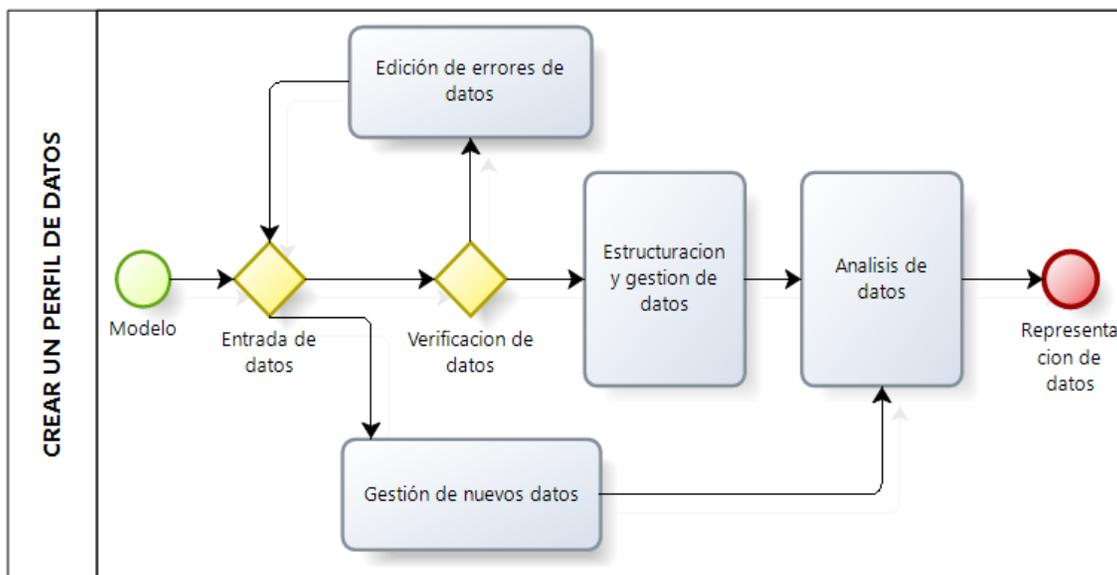
La investigación de campo nos permite ir más allá de las teorías y los números, adentrándonos en la realidad palpable y capturando la esencia de los fenómenos en su contexto natural, para obtener información cuantitativa y precisa sobre los niveles y la uniformidad de la iluminación en un área específica. Esto permite evaluar el cumplimiento de estándares, identificar áreas problemáticas y tomar decisiones informadas para mejorar la calidad y eficiencia de la iluminación en ese entorno.

Diseño de la investigación

El diseño de investigación es un mapa que nos conduce a la comprensión y el descubrimiento, siendo el fundamento para construir el conocimiento científico. El objetivo de la investigación es determinar la mejor luminaria, considerando eficiencia lumínica, temperatura de color, distribución de luz, vida útil, costos de instalación, consumo energético, mantenimiento y reemplazo.

Figura 20

Diagrama de flujos de la estructura del análisis de datos



Nota. Interpretar y optimizar el diseño con un diagrama de flujo en Bizagi Modeler.

Niveles de investigación

En el contexto del análisis de datos eléctricos, los niveles de investigación se refieren a los diferentes enfoques o alcances que se pueden utilizar para investigar y comprender los datos eléctricos. Estos niveles ayudan a definir la profundidad y la amplitud del análisis realizado.

Nivel descriptivo

En este nivel, se recopilan y describen los datos eléctricos de manera detallada. Se busca presentar una representación precisa de los fenómenos eléctricos que se están estudiando, como tensiones, corrientes, potencias, factores de potencia, entre otros. El objetivo principal es proporcionar una descripción objetiva y detallada de los datos eléctricos.

Nivel correlacional

En este nivel, se busca identificar relaciones y patrones entre las variables eléctricas. Se analizan los datos para determinar si existe alguna correlación o asociación entre diferentes variables eléctricas. En la iluminación vial, se busca analizar las conexiones estadísticas entre parámetros como la eficiencia lumínica, la distribución de la luz, el consumo de energía y la calidad de la iluminación. El objetivo es determinar correlaciones significativas sin establecer causalidad directa, comprendiendo la relación y magnitud de las asociaciones. Esto permite tomar decisiones informadas para mejorar los sistemas de iluminación vial.

Predictivo

Mediante un análisis sofisticado, los datos permiten identificar el umbral de iluminación vial y su evolución con la tecnología LED. Esto permite priorizar el reemplazo de activos del sistema considerando el ahorro energético como variable clave. La recopilación de datos precisa y análisis detallado respaldan la toma de decisiones eficientes y sostenibles en la gestión de infraestructuras viales.

Nivel explicativo

En este nivel, se busca comprender las relaciones causales entre las variables eléctricas. Se utilizan métodos más rigurosos, como modelos estadísticos o técnicas de análisis de series temporales, para determinar las relaciones de causa y efecto entre las variables eléctricas. El objetivo es explicar y comprender los factores o mecanismos que influyen en los fenómenos eléctricos observados.

Población y Muestra

Según Pérez (2005). El término población se utiliza para referirse al conjunto completo de elementos que comparten ciertas características específicas, mientras que una muestra es una selección representativa tomada de esa población.

En el caso particular del alumbrado público en el cantón Salcedo, la población sería el total de todas las luminarias ubicadas en el cantón. Por otro lado, la muestra se seleccionaría de manera que sea representativa de la población y podría consistir en una selección de calles, plazas o áreas específicas dentro del cantón.

Tabla 7

Estratificación de luminarias en Salcedo.

Población	% Personas	Cantidad de luminarias	% Luminarias	muestra
Antonio José Holguín	4,58%	475	6,39%	✘
Panzaleo	5,93%	726	9,77%	✘
Mulalillo	10,96%	560	7,53%	✘
Cusubamba	12,37%	527	7,09%	✘
Mulliquindil (Santa Ana)	12,37%	916	12,33%	✘
San Miguel	53,79%	4.228	56,89%	✔
Total, cantón:	100%	7432	100%	✘

Nota. La Tabla indica la selección de la población de la base de datos de ELEPCO S.A.

Para este trabajo en particular, la muestra de luminarias se define utilizando la fórmula para determinar el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (6)$$

Donde:

n : Tamaño de la muestra

N : Tamaño de la población =4228

Z : Nivel de confianza = 1,96 (Tabla 8)

e : Error máximo de estimación aceptado = 0,1

p : Probabilidad de que ocurra el evento estudiado = 0,5 (50% de éxito)

$q = (1 - p)$: Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado = $(1 - 0,5) = 0,5$

Tabla 8

Nivel de confianza

Nivel de confianza	99,70%	99%	96%	95%	90%	80%
Z	3	2,58	2,05	1,96	1,64	1,28

Nota. Tomado de Pérez (2005)

Para calcular el nivel de confianza, se emplea la Tabla 8, que proporciona el parámetro estadístico requerido en función del porcentaje de certeza deseado para el evento analizado. En la investigación, es común que los investigadores utilicen un nivel de confianza del 95% para garantizar resultados confiables y significativos.

Figura 21

Centro urbano San Miguel de Salcedo



Nota. En la imagen se puede observar la concentración urbana donde se toma la muestra representativa. Tomado de BING (2023)

Técnicas de Recolección de Datos

La investigación se basa en datos proporcionados por el Departamento Técnico de la Unidad de Alumbrado Público y la Dirección de Planificación de ELEPCO S.A. Se utilizan datos históricos del del Centro de Información para Estudios Técnicos (CIETEC) de ELEPCO S.A. por medio del software ArcMap versión 10.5 para obtener información de iluminación pública en la provincia de Cotopaxi del año 2023. Otras técnicas adicionales utilizadas a continuación.

La toma de fotografías cartográficas con drones del entorno de iluminación vial para documentar las condiciones existentes y analizar la distribución de la luz. Estas fotografías brindan información visual valiosa para el análisis y la evaluación de la iluminación.

Medir las variables eléctricas y fotométricas del alumbrado vial, se utilizan instrumentos de medición especializados y técnicas específicas, Los resultados obtenidos son fundamentales para tomar decisiones informadas sobre el diseño, mantenimiento y mejora de los sistemas de alumbrado vial, con el objetivo de garantizar una iluminación adecuada.

Investigación de costos en el mercado mundial. Donde se lleva a cabo una investigación exhaustiva sobre las diferentes marcas y modelos de luminarias disponibles a nivel global, con el objetivo de identificar aquellas que cumplen con las especificaciones técnicas requeridas. Esto permite contar con opciones adecuadas y comparativas para seleccionar la mejor luminaria en términos de rendimiento y cumplimiento de requisitos técnicos.

Técnicas de Análisis de Datos

En el análisis, se filtrarán y organizarán los datos de potencia, ubicación y clase de iluminación de las luminarias. Se compararán con las normas de eficiencia energética y se tomarán decisiones basadas en ello. Esto permitirá establecer un plan de mantenimiento y reemplazo de luminarias energéticamente eficientes, identificando patrones y desafíos.

Técnicas de Comprobación de Hipótesis

En la Provincia de Cotopaxi, hay actualmente más de 56 mil luminarias viales, y esta cantidad continúa incrementándose. Sin embargo, la mayoría de estas luminarias aún no han sido actualizadas a tecnología LED, a pesar de las obvias ventajas técnicas y económicas que ofrece, como una iluminación de calidad que asegure una excelente visibilidad y seguridad en las vías.

La principal razón detrás de esta demora podría ser el costo asociado a la conversión. La implementación de tecnología LED requiere una inversión inicial, que puede ser un desafío para el presupuesto del cantón. No obstante, es importante considerar que esta inversión inicial se traduce en ahorros significativos a largo plazo, ya que las luces LED son más eficientes energéticamente y tienen una vida útil más larga, lo que reduce los costos en energía y acciones de mantenimiento. La potencia de una luminaria vial está directamente relacionada con la cantidad de energía eléctrica que consume.

En el caso de las luminarias convencionales, suelen tener una potencia más alta y, por lo tanto, consumen más energía en comparación con las luminarias LED. Las luces LED son conocidas por su alta eficiencia energética, lo que significa que pueden producir una mayor cantidad de luz utilizando menos energía. Se establece de la siguiente fórmula para evaluar la potencia de la iluminación instalada en Salcedo:

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} (V_n * I_n) = \sum_{n=1}^{\infty} (P_n) = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (7)$$

Donde:

P : Potencia instalada de la luminaria, medida en (W)

V : Voltaje del sistema de distribución (V)

I : Corriente necesaria para operar la luminaria (A)

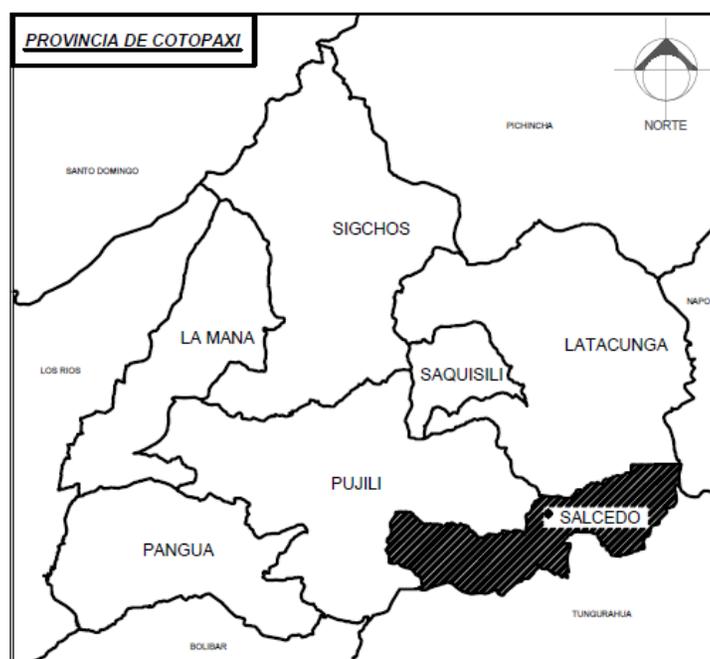
$\sum P_n$: Es la sumatoria de las contribuciones de todas las luminarias

Iluminación del Cantón Salcedo

El cantón Salcedo es uno de los 7 cantones de la provincia de Cotopaxi, se localiza en la parte suroriental de la provincia y tiene una forma similar a la de una franja. Se extiende desde la Cordillera Occidental hasta las áreas de páramo de la Cordillera Central. Su longitud abarca aproximadamente 50 km, mientras que su ancho promedio es de tan solo 10 km.

Figura 22

Cantón Salcedo en la provincia de Cotopaxi



El cantón Salcedo se encuentra estratégicamente ubicado en la provincia de Cotopaxi, en Ecuador. Limita al norte con los cantones de Pujilí y Latacunga, específicamente con la parroquia de Belisario Quevedo. Al sur, limita con los cantones de Ambato y Píllaro, los cuales pertenecen a la provincia de Tungurahua. Al este, está rodeado por la imponente Cordillera de los Andes, perteneciente a la provincia de Napo.

Por último, al oeste, colinda con el cantón Pujilí y la parroquia de Angamarca, ambos ubicados en la provincia de Cotopaxi. Esta ubicación geográfica proporciona al cantón Salcedo una conexión con diferentes regiones y permite un fácil acceso a diversas zonas del país.

Tabla 9*Iluminación de la Provincia de Cotopaxi*

Cantones de Cotopaxi	Cantidad Luminarias	%	Potencia (W)	%
LATACUNGA	29596	51,94%	4758686	54,81%
PUJILI	8619	15,13%	1192585	13,74%
SALCEDO	7432	13,04%	1109760	12,78%
LA MANA	4627	8,12%	693970	7,99%
SAQUISILI	3425	6,01%	477705	5,50%
PANGUA	1784	3,13%	247215	2,85%
SIGCHOS	1499	2,63%	201910	2,33%
Total:	56982	100%	8681831	100,00%

Nota. Estos datos proporcionan información sobre los cantones de la provincia de Cotopaxi y la cantidad de luminarias en cada uno de los cantones, junto con su potencia. Tomado de la base de datos de ELEPCO S. A. (2023)

En total, se registra un número de 56982 luminarias en los cantones mencionados, con una potencia total de 8,68 MW. Estos datos son útiles para analizar y evaluar la eficiencia energética en el ámbito de la iluminación en la provincia de Cotopaxi. Una vez que se tienen los datos recopilados, se puede proceder a organizarlos y presentarlos, se puede utilizar Excel. Otra opción es AutoCAD para agrupar las luminarias según características comunes, como la ubicación y tecnología. El objetivo es examinar la relación entre las variables, identificar patrones, tendencias o correlaciones significativas para comprobar las hipótesis planteadas

Figura 23

Iluminación del Cantón Salcedo en la provincia de Cotopaxi

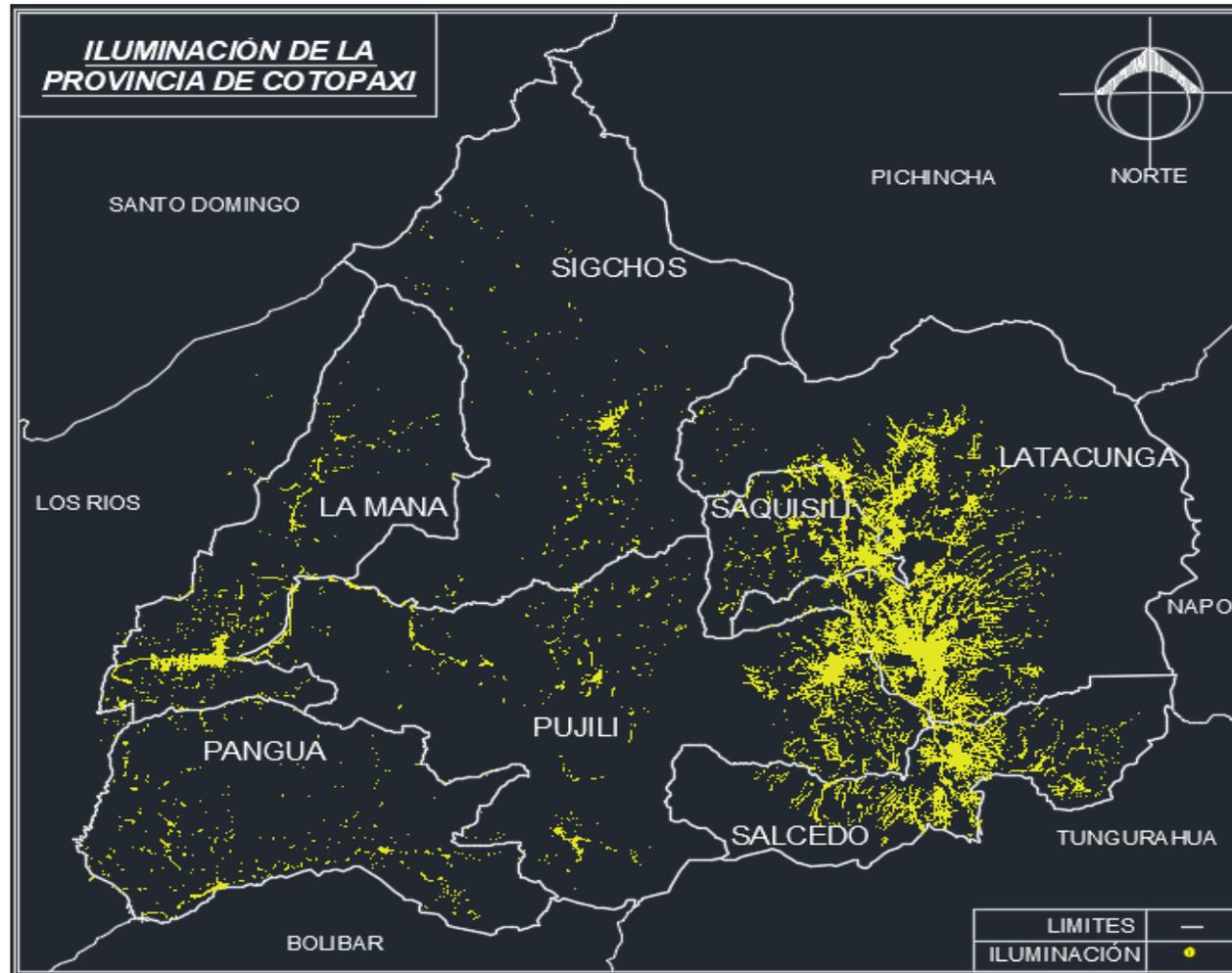
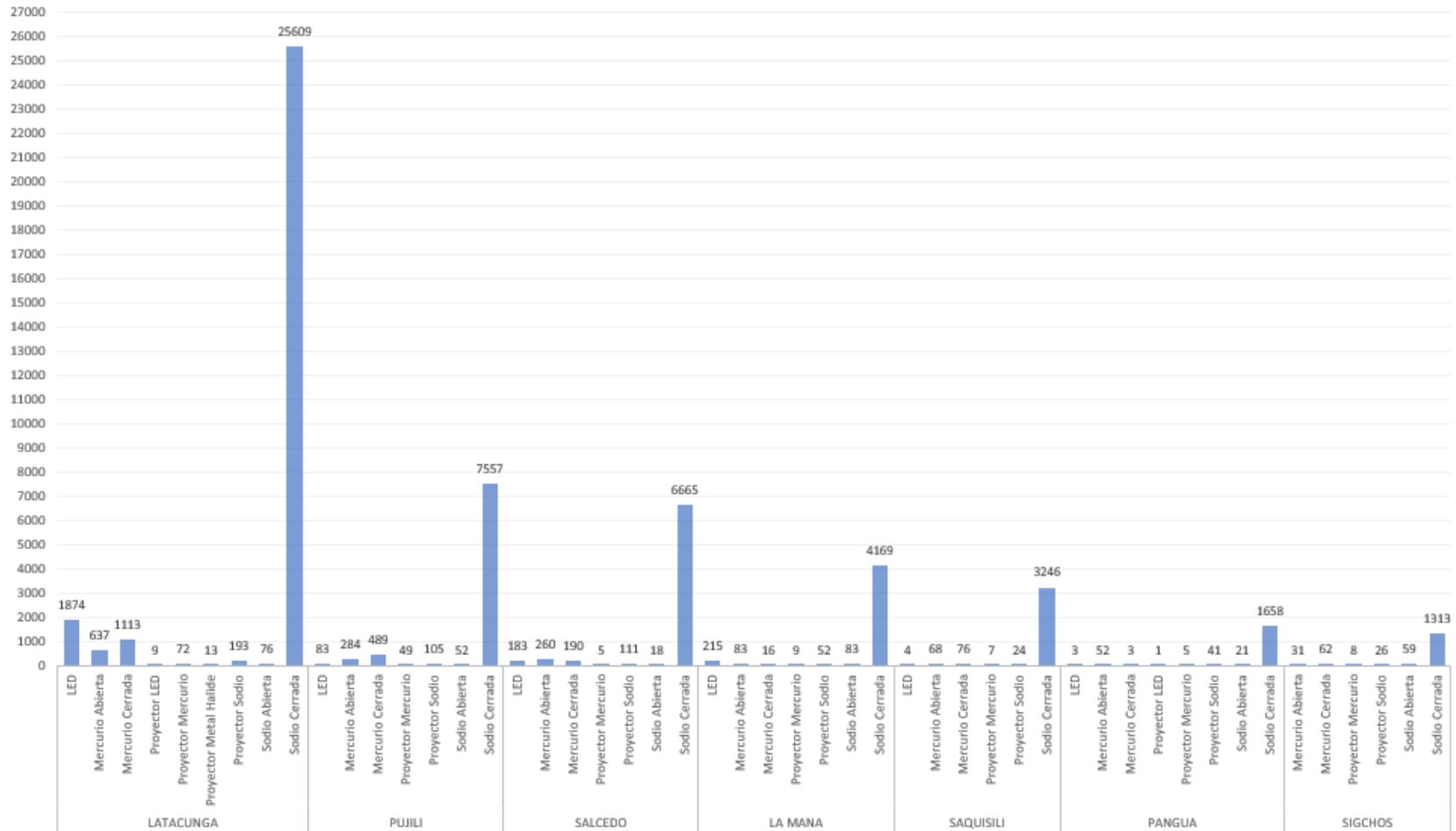


Figura 24

Tendencia tecnológica de iluminación vial en Cotopaxi



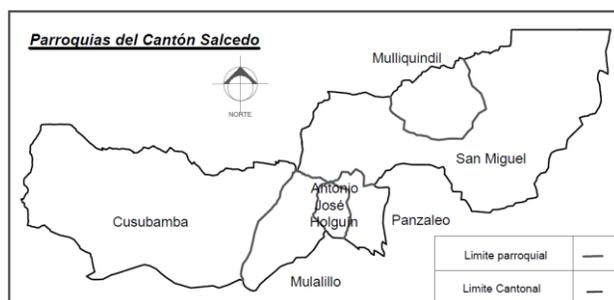
Nota. El gráfico exhibe la distribución de las tecnologías de iluminación predominantes en los siete cantones que conforman el sistema de iluminación de la provincia de Cotopaxi, basándose en los datos extraídos de la base de datos de ELEPCO S.A.

La Figura 23 y 24 muestra la distribución geográfica de las luminarias en las vías, revelando patrones específicos. Donde la iluminación se encuentra parcialmente implementada. La sección amarilla indica la cantidad de luminarias instaladas para el servicio de la seguridad vial, mientras que las áreas en negro presentan iluminación deficiente o ausente. La provincia destaca por su población indígena agrícola y producción de cultivos como maíz, cebada, papa, brócoli, trigo y flores para exportación, por lo mencionado, las áreas oscuras indican zonas verdes o naturales, indicadores relevantes para el estudio

La iluminación es el acceso a servicios básicos, como electricidad confiable y suministro de energía, es esencial para garantizar un sistema de iluminación público funcional y sostenible. Además, una planificación adecuada considera la ubicación estratégica de las luminarias, la uniformidad y estética en las diferentes parroquias del cantón.

Figura 25

Parroquias de Salcedo



La iluminación y la vialidad en la Figura 26. Muestra en un mapeo a escala real del plano topográfico existente en del Big data de la página cadmapper.com y la base de datos de ELEPCO S.A., donde nos indica que existen ríos, lagunas, vías ferias, parques, edificios y las vías o carreteras mostradas en la Figura 27. La topografía juega un papel crucial en la velocidad de la movilidad y la iluminación vial, la topografía afecta la velocidad de la movilidad y la iluminación vial de varias formas. Las pendientes y los terrenos accidentados pueden limitar la velocidad de los vehículos y plantear desafíos adicionales para los conductores.

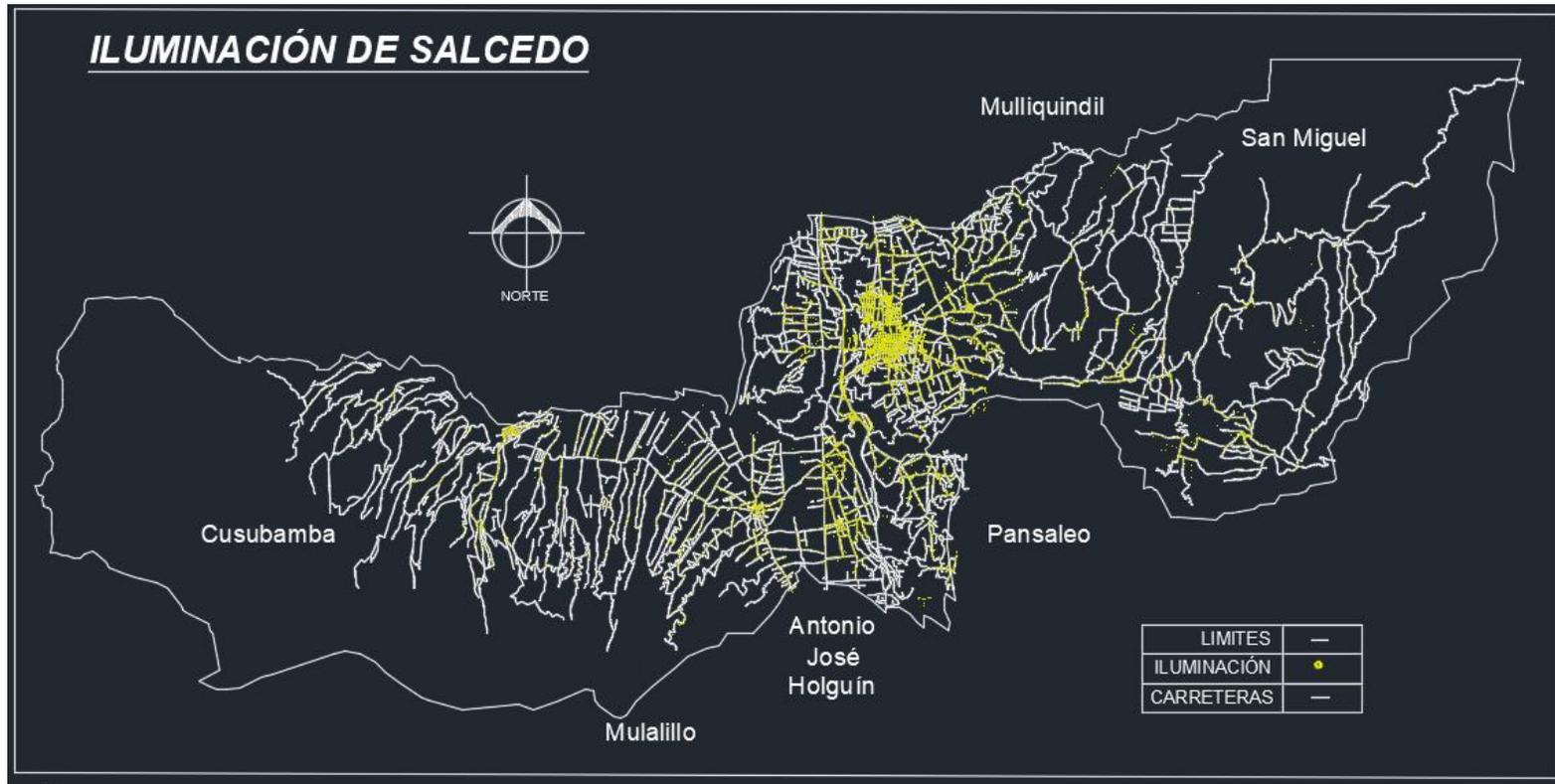
Figura 26

Iluminación del Cantones de Salcedo



Figura 27

Viabilidad vs iluminación del Cantones de Salcedo



Nota. AutoCAD 2023, nos ayuda a superponer en capas los diferentes planos topográficos a escalas reales, pero la principal herramienta para vectorizar el territorio es cadmapper.com, este sitio web proporciona una plataforma para crear y compartir mapas en 2D y 3D. Específicamente, se centra en obtener un archivo CAD instantáneos para cualquier ubicación en la tierra. Herramienta utilizada en la arquitectura y la ingeniería

Es esencial identificar las áreas que requieren iluminación para garantizar la visibilidad necesaria en el cantón. También fundamental evaluar la topografía y las características de las parroquias para estudiar la distribución de la iluminación vial. Además, los cambios bruscos de elevación pueden afectar la iluminación, generando áreas sombreadas y requiriendo una distribución estratégica de las fuentes de luz en las carreteras. Es importante tener en cuenta estos aspectos al diseñar y planificar la iluminación vial para garantizar un sistema seguro y eficiente

Los análisis de viabilidad permiten determinar la cantidad y disposición adecuada de las luminarias, evitando puntos oscuros y zonas de sombra que puedan comprometer la seguridad vial. Además, los croquis de viabilidad son herramientas esenciales en este proceso.

Tabla 10

Componentes naturales e infraestructural del cantón Salcedo

Parroquias	Componentes del cantón					
	Edificios concentrados	Vía feria	Ríos	Laguna	Parque	Puente
Antonio José Holguín	✓					
Cusubamba			✓		✓	✓
Mulalillo	✓		✓			
Mulliquindil			✓		✓	
Panzaleo		✓	✓	✓	✓	✓
San Miguel	✓	✓	✓		✓	✓

Tabla 11

Distribución de la tecnología de iluminación por parroquias

Parroquia/ Tecnología	Potencias comunes (W)											Total
	70	90	100	125	150	175	180	210	250	400	500	
Antonio José Holguín	21		219		225	6			4			475
Mercurio Abierta						6						6
Sodio Cerrada	21		219		225				4			469
Cusubamba	46		318	24	110	29						527
Mercurio Abierta				24		29						53
Sodio Cerrada	46		318		110							474
Mulalillo	125		283	11	116	16			7	1	1	560
Mercurio Abierta				11		15						26
Mercurio Cerrada						1				1		2
Proyector Sodio											1	1
Sodio Cerrada	125		283		116				7			531
Mulliquindil	58		378	8	393	23			52	4		916
Mercurio Abierta				5		22						27
Mercurio Cerrada				3		1						4
Proyector Sodio			2						2			4
Sodio Abierta			1						4	3		8
Sodio Cerrada	58		375		393				46	1		873
Panzaleo	112		223	3	303	19			37	29		726
Mercurio Abierta				3		18						21
Mercurio Cerrada						1						1
Sodio Cerrada	112		223		303				37	29		704
San miguel	372	21	977	228	1448	79	81	81	560	381		4228
LED		21					81	81				183
Mercurio Abierta				50		76			1			127
Mercurio Cerrada				178		3			2			183
Proyector Mercurio					5							5
Proyector Sodio					4				98	4		106
Sodio Abierta	2		8									10
Sodio Cerrada	370		969		1439				459	377		3614
Total, general:	734	21	2398	274	2595	172	81	81	660	415	1	7432

Nota. La tabla exhibe la distribución tecnológica de la iluminación en cada parroquia del cantón Salcedo, brindando datos sobre las potencias más comunes en los sistemas de iluminación.

Tomado de la base de datos de ELEPCO S. A.

Luminarias de alta intensidad de descarga (HID)

Las luminarias HID (High Discharge Intensity) son sistemas que utilizan lámparas de descarga eléctrica para producir luz intensa. Incluyen lámparas VMAP, VSAP y halogenuros metálicos.

Se compone de un foco que consume energía según su potencia, un balasto que regula la corriente y el voltaje, un ignitor que inicia el arco eléctrico y un fotocontrol que controla el encendido según la luz ambiente. Cada elemento consume energía, siendo el foco el que más consume, ver tabla 12.

Figura 28

Accesorios de las luminarias HID.

ALUMBRADO PÚBLICO CAMBIOS DE ACCESORIOS DURANTE LA VIDA ÚTIL CONSIDERANDO MANTENIMIENTO PREVENTIVO						
Año	BOMBILLO	IGNITOR	BALASTRO	CAPACITOR	FOTOCELULA	DNP
						RELE PROGRAMABLE
Fin del 1er año						
Fin del 2do año						
Fin del 3er año						
Fin del 4to año	✓	✓			✓	✓
Fin del 5to año						
Fin del 6to año						
Fin del 7mo año						
Fin del 8vo año	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fin del 9no año						
Fin del 10mo año						
Fin del 11vo año						
Fin del 12vo año	✓	✓			✓	✓
Fin del 13vo año						
Fin del 14vo año						
Fin del 15vo año						
Total Cambios	3	3	1	1	3	3

Nota. La imagen muestra el mantenimiento preventivo para tecnología HID, Tomado del base de datos de ELEPCO S.A.

Según la figura 28, se observa que las lámparas HID necesitarán reemplazos más frecuentes a medida que pasa el tiempo de uso. Estos reemplazos regulares pueden ocasionar costos de mantenimiento adicionales, ya sea debido a la adquisición de nuevas lámparas o a la contratación de personal para llevar a cabo los reemplazos necesarios.

En el contexto de la empresa, se cuenta con un criterio detallado para reemplazar las luminarias existentes con nuevas luminarias. Sin embargo, el desafío radica en establecer el modelo adecuado y determinar la ubicación precisa para lograr una mejora continua en el cantón Salcedo ver tabla 12.

Tabla 12

Ahorro energético para vía de Motorizados

CONSUMO							
Vía	Foco W	Balastro	Ignitor	Fotocontrol	Consumo total	Ahorro	Reemplazo máximo led
M1	400	40	4.23	1.6	445.83	40%	267
M2	250	29	1.80	1.6	282.40	40%	169
M3	150	19	0.65	1.6	171.25	40%	103
M4	100	15	0.29	1.6	116.89	40%	70
M5	70	12	0.19	1.6	83.79	40%	50

Nota. La tabla muestra el cambio eficiente para tecnología de tecnología HID por LED. Datos del Departamento Técnico de la Unidad de Alumbrado Público ELEPCO S.A.

Esto no implica que esa suficiente dicha tabla, toca considerar varios factores, como la eficiencia energética, la calidad de la iluminación, el costo, la durabilidad y las necesidades específicas de cada área. Es fundamental realizar un análisis exhaustivo y trabajar en colaboración con expertos para tomar decisiones informadas y garantizar el éxito de la implementación de las nuevas luminarias.

Cambio a luminarias con tecnología LED

El cambio de luminarias a nivel cantonal con tecnología LED puede presentar un desafío significativo, pero no es imposible de lograr. Un criterio fundamental a considerar es el principio de subsidiariedad, el cual establece que los municipios o las autoridades locales son responsables de la instalación, mantenimiento y gestión de las luminarias en sus respectivas áreas, cuando se aplique el estándar correspondiente, presentado en la Tabla 13.

Sin embargo, en algunos casos, la subsidiariedad también puede implicar la participación de niveles superiores de gobierno, como el gobierno estatal o incluso el gobierno nacional, especialmente en vías de mayor importancia o infraestructuras de transporte a gran escala. Estos niveles de gobierno pueden brindar apoyo financiero, establecer estándares y políticas generales, y coordinar esfuerzos con las autoridades locales para garantizar una iluminación vial adecuada en todo el país.

Tabla 13

Cambio de sodio a LED para vía M3

Parámetro	Norma	Sodio 150W	LED 150W	LED 120W	LED 100W
Lav (cd/m ²)	1.0	1.2	1.81	1.55	1.3
Uo	0.4	0.46	0.57	0.57	0.57
UI	0.7	0.85	0.85	0.85	0.85
Ti %	10	9.1	7.5	7.2	7.0
SR	0.5	0.8	0.9	0.9	0.9

Nota. La tabla muestra las características de cambio para carreteras con ancho de 8 metros, carriles 2, altura 10m, interdistancia 35m, acera 1m, unilateral. Datos del Departamento Técnico de la Unidad de Alumbrado Público ELEPCO S.A.

Tabla 14*Cambio de sodio a LED para vía M4*

Parámetro	Norma	Sodio 100W	LED 70W	LED 60W
Lav (cd/m ²)	0.8	0.81	0.93	0.85
Uo	0.4	0.44	0.49	0.46

Nota. La tabla muestra las características de cambio para carreteras con ancho 7 metros, carriles 2, altura 10m, interdistancia 37m, acera 1m, unilateral. Datos del Departamento Técnico de la Unidad de Alumbrado Público ELEPCO S.A.

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.) tiene la autoridad de llevar a cabo la construcción, remodelación y presentación de informes sobre el desempeño de la iluminación pública. El objetivo de este estudio es ofrecer una iniciativa que contribuya a la planificación de una transición hacia una iluminación eficiente, ayudando en la selección de luminarias que brinden mayores beneficios.

Costos

Estos reemplazos pueden ocasionar costos directos en materiales, Equipo, herramientas, Transporte y Mano de obra (Residente de obra, jefe de grupo, Liniero, Ayudante peón, Asistente técnico y Chofer). Los costos de mano de obra calificada dependen del tiempo de rendimiento para un el salario mínimo por Ley.

Figura 29*Horas hombre*

Grupo operacional	Costo Horario
Rediente de obra	4,32
Técnico de seguridad	4,3
Jefe de grupo/Maestro eléctrico	4,29
Liniero	3,87
Ayudante peón	3,83
asistente técnico	4,29
Chofer	5,62
Total:	30,52

Nota. La tabla muestra los precios unitarios por mano de obra. Tomado de Cedeño (2022).

La parte económica del material de las herramientas necesarias para la iluminación pública vial depende de varios factores. Estos factores incluyen la calidad de los equipos, la cantidad de equipos necesarios y el lugar donde se realizará la instalación.

- Los requisitos de ubicación de la instalación para garantizar el cumplimiento de las regulaciones locales relacionadas con la eficiencia energética y la seguridad, y evaluar el impacto de estos requisitos en los costos de los materiales necesarios.
- La cantidad óptima de equipos para una iluminación eficiente en un área específica, considerando tamaño, extensión, disposición vial, postes y distancia, minimizando costos y garantizando cobertura adecuada.
- Selección de equipos de iluminación pública vial de alta calidad y durabilidad, considerando la relación costo-beneficio, para asegurar una inversión eficiente a largo plazo y reducir los costos de mantenimiento y reemplazo frecuente.

Además de estos factores, otros elementos que pueden afectar los costos incluyen los precios de mercado de los proveedores, los gastos de transporte y la mano de obra necesaria para la instalación de los equipos. Se realiza un análisis detallado de los requerimientos del proyecto en la propuesta y cotizaciones a diferentes proveedores para obtener una idea precisa de los costos involucrados en la selección de los equipos para la iluminación pública vial.

Capítulo IV

Propuesta

Introducción

Esta investigación propone una tipología replicable de mantenimiento predictivo para la iluminación vial del cantón Salcedo. Las etapas incluyen la reasignación y sustitución de luminarias obsoletas, la integración de tecnología LED y la implementación de una estrategia de monitoreo basada en datos reales.

El objetivo es mejorar la eficiencia energética y garantizar una iluminación adecuada y sostenible el tiempo. Este enfoque puede ser aplicado en otras áreas para impulsar una transición hacia un sistema eléctricos en la Industria 4.0, un mantenimiento inteligente más eficiente y sostenibles.

Después de realizar un estudio exhaustivo de cómo funciona el sistema de iluminación existente, se procederá a analizar la una muestra representativa seleccionada de luminarias para su reemplazo, como base para la proyección total. Este proceso implica capturar fotografías en el terreno y realizar mediciones fotométricas de los elementos que forman parte de la red de iluminación. Utilizando esta información, se escogerán las luminarias que emplean tecnología LED debido a sus ventajas a largo plazo. Esta selección garantizará un mejor desempeño y mayor eficiencia en el sistema de iluminación.

Datos informativos

Institución:

Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.

Beneficiarios:

Tesista

Sistema de iluminación de la provincia

Cantón Salcedo

Parroquia San Miguel de Salcedo

Ubicación:

Provincia de Cotopaxi, Cantón Salcedo. Parroquia San Miguel

Objetivos**Objetivo General**

El objetivo es aprovechar las ventajas de la tecnología LED para ahorrar un 40% de energía y promover una iluminación más eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

Objetivos Específicos

- Determinar los requisitos de ubicación de la instalación para garantizar el servicio.
- Determinar la cantidad óptima de equipos para una iluminación eficiente en un área específica, considerando tamaño, extensión, disposición vial, postes y distancia
- Seleccionar equipos de iluminación pública vial de alta calidad y durabilidad.

Caso estudio: San Miguel de Salcedo

La infraestructura eléctrica se localiza en el cantón 05 Salcedo, con la subestación 03SA Salcedo, en la parroquia 50 San Miguel. El suministro se realiza a través del alimentador 03SA13B1S2 en Salcedo Centro. Que cubre la Zona Centro 01, dirigirse a la Figura 56.

Tabla 15

Potencias comunes de la parroquia San Miguel

SAN MIGUEL		
Potencias (W)	Unidades	Porcentaje
70	372	8,80%
90	21	0,50%
100	977	23,11%
125	228	5,39%
150	1448	34,25%
175	79	1,87%
180	81	1,92%
210	81	1,92%
250	560	13,25%
400	381	9,01%
Total	4228	100%

Demandas de la iluminación.

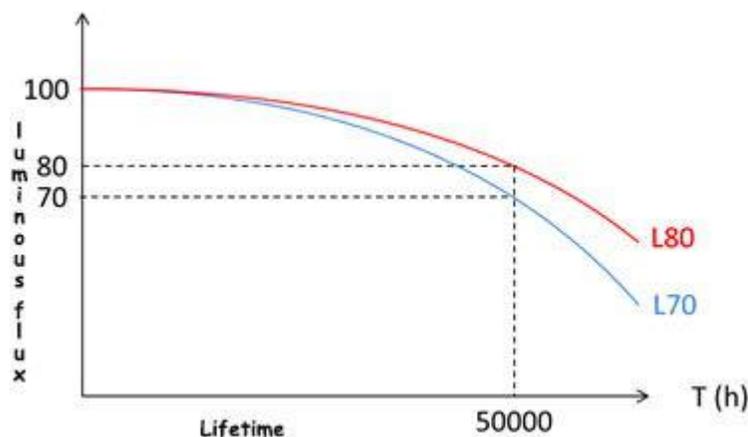
El análisis del proyecto consiste en recopilar y examinar la información necesaria para determinar las demandas visuales, confort, estéticas y de seguridad en relación con el alcance, intereses y limitaciones del proyecto. Las demandas visuales se evalúan en función de la dificultad de las tareas y las condiciones en las que se realizarán. Las demandas confort se refieren al impacto de la iluminación en el estado de ánimo y el bienestar de las personas. Las demandas estéticas se centran en la creación de una ambientación visual atractiva. Las demandas de seguridad consideran la iluminación para la circulación y las características de las fuentes de luz.

Perdidas de eficiencia en el tiempo

La industria establece que los LED dejan de ser efectivos cuando la producción de lúmenes cae al 70% (L70) de su nivel inicial. El estándar (L80) requiere que al menos el 80% del flujo luminoso se mantenga durante un período específico, considerando la temperatura ambiente máxima. Los fabricantes consideran el flujo luminoso, temperatura de color y voltaje al seleccionar LED, crucial para la vida útil de una lámpara LED ver Figura 30.

Figura 30

Tasa de falla de las luminarias.



Nota. La curva más común para tasa de mantenimiento del lumen. Tomado de Castel (2016)

Los parámetros clave del mantenimiento

La evaluación de eficiencia en el alumbrado público mediante tecnologías LED y Sodio cerrado implica analizar indicadores clave como el consumo de energía, calidad de luz, vida útil, costos de mantenimiento, reproducción de color, uniformidad de distribución de luz, impacto ambiental, control de deslumbramiento y flexibilidad de control.

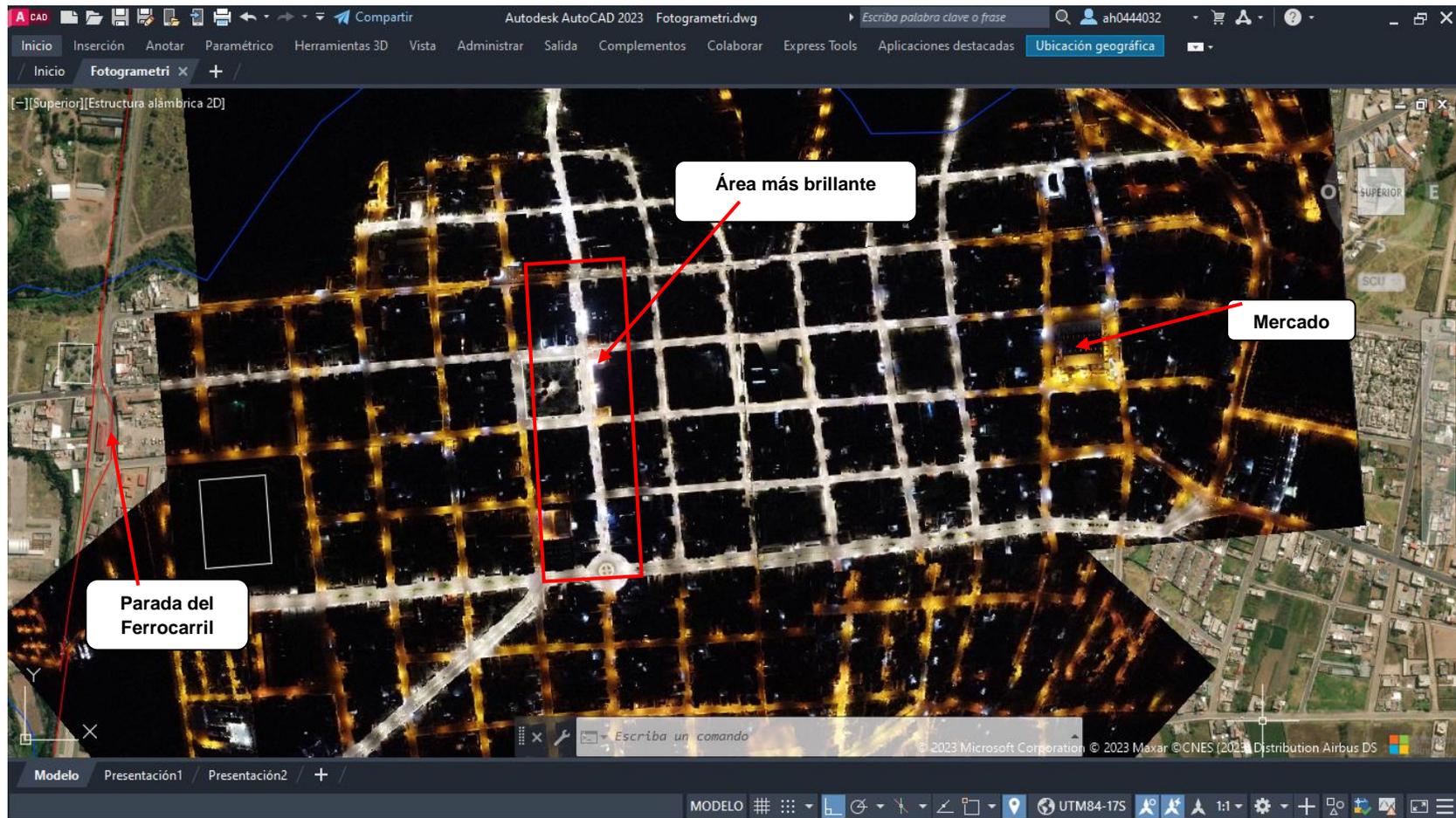
Inspección fotogramétrica

Según Angie R. & Laura P. (2019) La fotogrametría comprende una serie de metodologías utilizadas para obtener información métrica a partir de imágenes fotográficas. La fotogrametría en el mantenimiento de luminarias viales brinda ventajas significativas. Con alta precisión, captura imágenes para inspeccionar y dar seguimiento al estado y funcionamiento de las luminarias en el tiempo. Detecta fallos o daños, permitiendo una respuesta predictiva en el mantenimiento. Optimiza la planificación y el inventario de repuestos con información detallada y actualizada.

La fotometría nocturna es una técnica que utiliza mediciones precisas de la luz para evaluar la eficacia de la iluminación pública. La figura 31 muestra los hábitos nocturnos del centro urbano de San Miguel, revelando la temperatura de color (tono de luz) y la uniformidad en la distribución de la luz en la zona, lo que permite mejorar la planificación y eficiencia de la iluminación urbana.

La fotografía proporciona información sobre la iluminación de áreas urbanas, identificando las zonas con mayor intensidad iluminación, áreas de alta afluencia de personas y áreas que necesitan mejorar la iluminación.

Figura 31

Fotogrametría nocturna en el centro urbano de San Miguel

Nota. La figura muestra una fotografía de la iluminación del centro urbano de San Miguel de Salcedo en el 2023, tomado a una altura de 105 metros con el dron DJI Mini 2

Los drones ofrecen una forma eficiente, segura y económica de realizar inspecciones, monitoreo y mantenimiento en diversos sectores. Su capacidad para acceder a lugares difíciles o peligrosos, recopilar datos de alta precisión y agilizar los procesos de mantenimiento los convierte en herramientas valiosas para innovar en el mercado del mantenimiento.

Tabla 16

Las especificaciones del dron DJI Mini 2



Especificación	Valor
Peso	249 gramos
Dimensiones	Plegado: 138x81x58 mm Desplegado: 159x203x56 mm
Tiempo de vuelo	Hasta 31 minutos
Alcance máximo	10 km
Resolución de grabación de vídeo	4K/30fps
Resolución de fotografía	12 megapíxeles
Estabilización de imagen	Gimbal de 3 ejes
Velocidad máxima	16 m/s (modo S)
Sensores de detección	Hacia abajo: Sensor visual + ToF Hacia delante: Sensor visual
Modo de vuelo	GPS + GLONASS

Realiza una inspección inicial de las luminarias viales utilizando fotogrametría. Captura imágenes de alta resolución de las áreas iluminadas, tanto de cerca como a distancia, para obtener una visión detallada de las condiciones existentes.

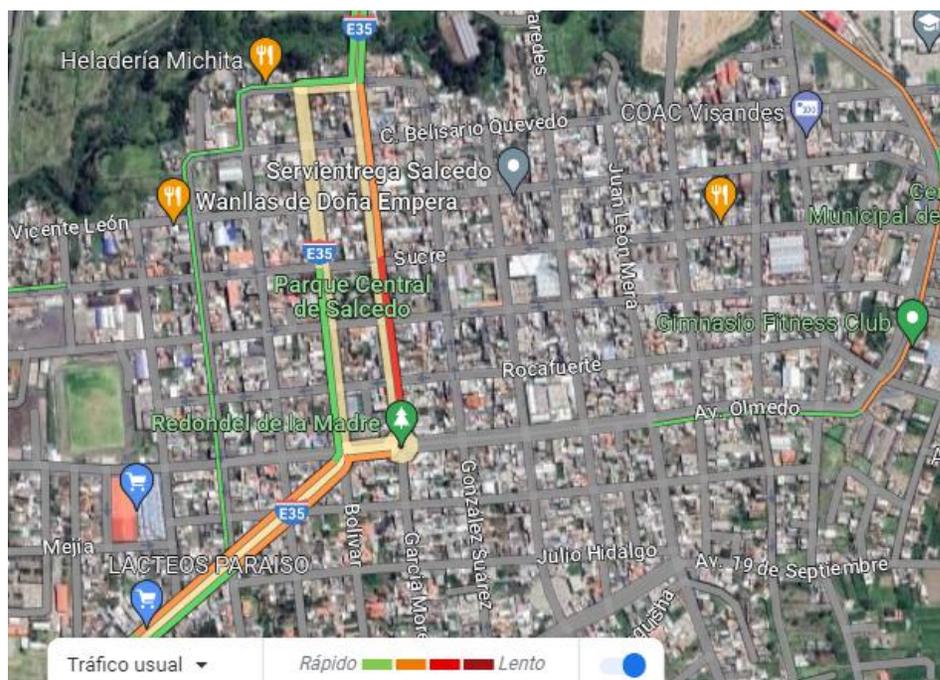
Análisis de uniformidad y Niveles de iluminación

Para la propuesta se identificó los cambios bruscos de iluminación, esto trae desventajas, como fatiga visual, deslumbramiento, disminución de la visibilidad, estrés y distracción, y dificultad para percibir la distancia y la velocidad de otros vehículos. Estos factores pueden aumentar el riesgo de accidentes y afectar la seguridad en la carretera.

Para una instalación de alumbrado público, se deben tener en cuenta tres variables: la velocidad de circulación, la frecuencia y naturaleza de los obstáculos a ver, y el tipo de usuarios de la vía. En base a estos criterios, las vías que responden de manera similar pueden agruparse y ser iluminadas de la misma manera. Esto permite establecer pautas o instructivos para la iluminación, de modo que se aborden todos los problemas relevantes desde el punto de vista lumínico.

Figura 32

Flujo vehicular de la noche en San Miguel



Nota. En la imagen se muestra índice de velocidad del tráfico vehicular en la noche. Tomado de Google mapa (2023)

En la figura 32, se destacan las vías de alta velocidad en color verde y las vías de baja velocidad en color rojo. Estos índices de velocidad pueden ser indicadores importantes al planificar un cambio eficiente en el entorno urbano.

Las vías que presentan características similares pueden agruparse y recibir una iluminación similar. Esto permite establecer pautas o instructivos para la iluminación, lo que facilita el diseño y la implementación de la instalación de alumbrado público de manera eficiente.

Análisis de uniformidad

La uniformidad luminosa se obtiene midiendo la iluminancia (Lux). La uniformidad longitudinal indica la relación entre la iluminancia mínima y máxima en una determinada área o superficie. Cuanto más cercanos estén los valores de iluminancia (Lux) mínima y máxima, mayor será la uniformidad luminosa.

El luxómetro es el instrumento que mide la iluminancia. Al usar un luxómetro, es posible evaluar y documentar la distribución de la luz en diferentes lugares y asegurarse de que se cumplan las normas de iluminación recomendadas para ciertas actividades o aplicaciones específicas.

Figura 33

Calibración del luxómetro entre las 10pm - 2am



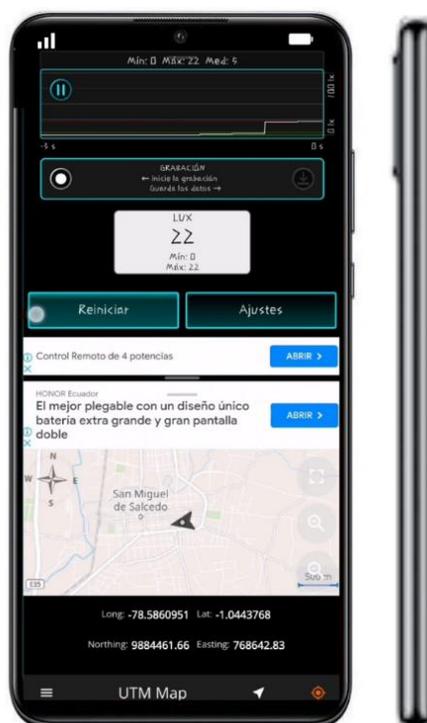
Tabla 17*Luxómetro digital - Data Logging*

Especificación	Valor
Norma	CEI 140:2000
Resolución	1Lux/0.1Fc
Rango de medición	0 a 200 000 Lux/20 000 Fc (conmutable)
Precisión	±4 % (0 a 10 000 Lux); +10% (10.000 a 200.000 lux)
Tiempo de muestreo	0,5 segundos
Temperatura de operación	:0 a 50°C (32 a 122F)
Origen de alimentación	4 pilas AA (6v)
Sensor de luz ambiental	Desmontable
Función de retención de datos	Función mín./máx./promedio
Modo de uso	Computadora requerida

El luxómetro es el instrumento que permite evaluar los niveles de iluminación y así determinar la uniformidad longitudinal de las luminarias en operación en diferentes puntos de una carretera, calle o cualquier vía de circulación, para hacer más precisa y eficiente la medición el uso de herramientas como aplicaciones celulares de luxómetros de iluminación y la aplicación de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) más la fotogrametría permite realizar un análisis preciso y cuantitativo de la iluminación vial, lo que a su vez contribuye a mejorar la seguridad y visibilidad en las vías de circulación.

Tabla 18

Dispositivo móvil Huawei P30 Lite LX3A



Especificación	Valor
Peso	159 gramos
Dimensiones	72,7 x 152,9 milímetros
Autonomía	21 horas
Procesador	64bits: HiSilicon Kirin 710
Memoria	108GB disponible
Sistema operativo	Android 10
Red móvil	2G, 3G, 4G
Conectividad	A-GPS, GeoTagging, GLONASS, BeiDou
Tiempo de muestreo	0.02 segundos
Sensores de detección	Acelerómetro
	Brújula
	Giroscopio
	Sensor de luz ambiental
	Sensor de Proximidad
Modo de uso	Antena interna no requiere computadora

Nota. En la tabla se puede observar algunas de las especificaciones más relevantes del equipo utilizado para medir la iluminación con mayor precisión, tomado de Movilcelular (2020)

Figura 35

Mediciones con el luxómetro de alta precisión en la calle 24 de mayo

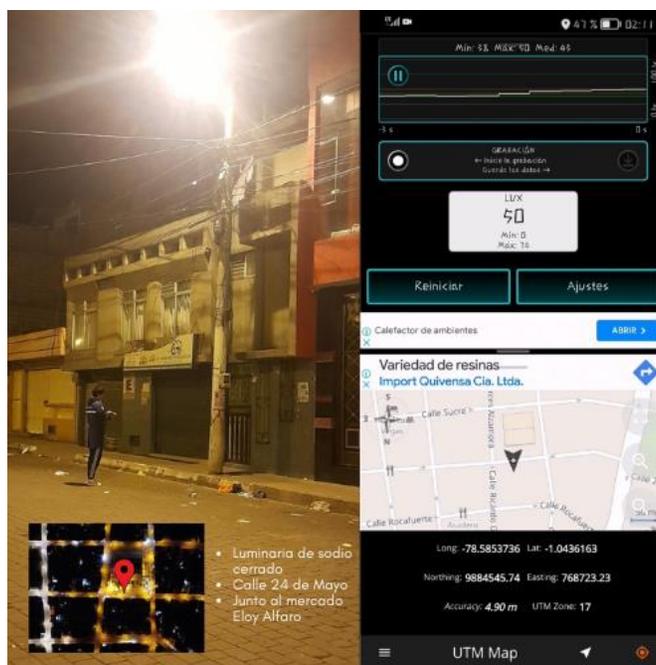


Figura 36

Mediciones con el luxómetro de alta precisión en la Avenida Olmedo

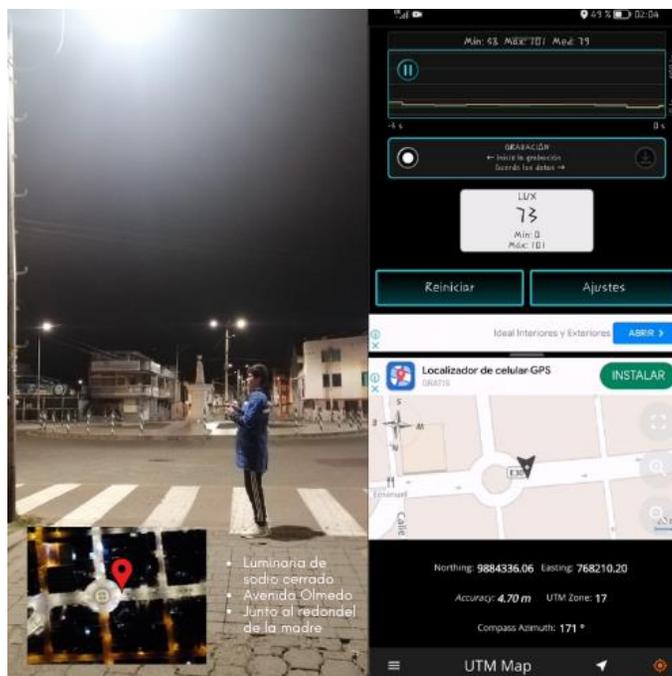
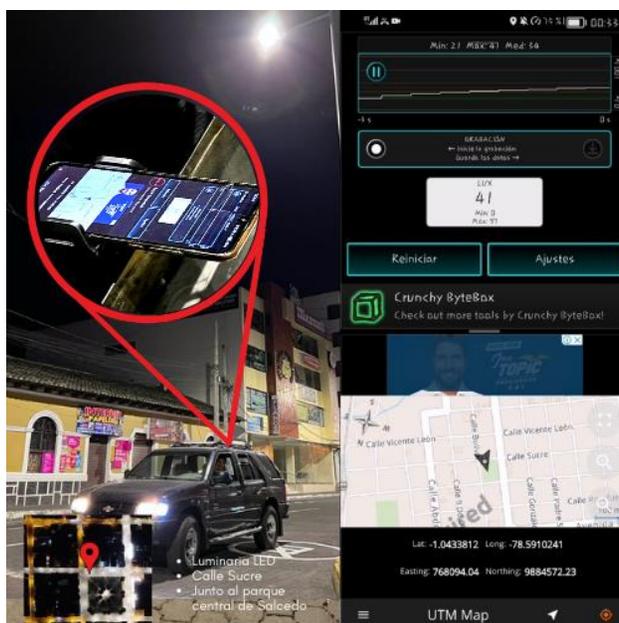


Figura 37

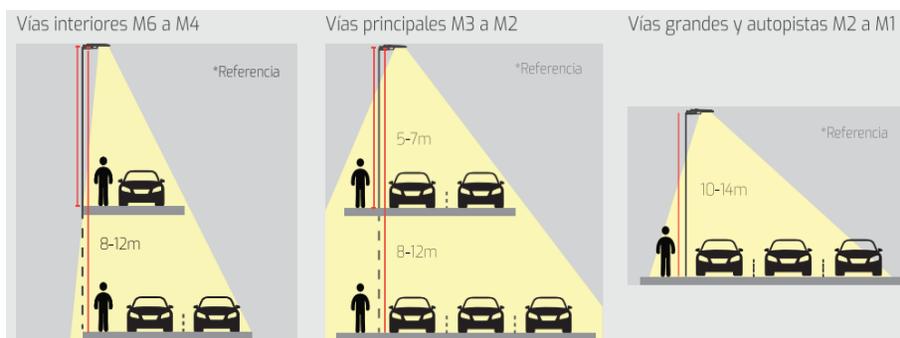
Mediciones con el luxómetro de alta precisión en la calle sucre



Para evaluar el rendimiento lumínico de luminarias viales, se combina un sensor altamente sensible con un vehículo especializado para medir niveles de iluminación. El vehículo se desplaza estratégicamente entre luminarias, asegurando una ubicación precisa. Este método optimiza la gestión de mantenimiento al recopilar datos eficientemente, facilitando un mantenimiento proactivo para mejorar la iluminación vial.

Figura 38

Clase de iluminación para vías de comunes



Nota. Se observa la clasificación lumínica según carriles. Tomado de Nova Lighting (2023).

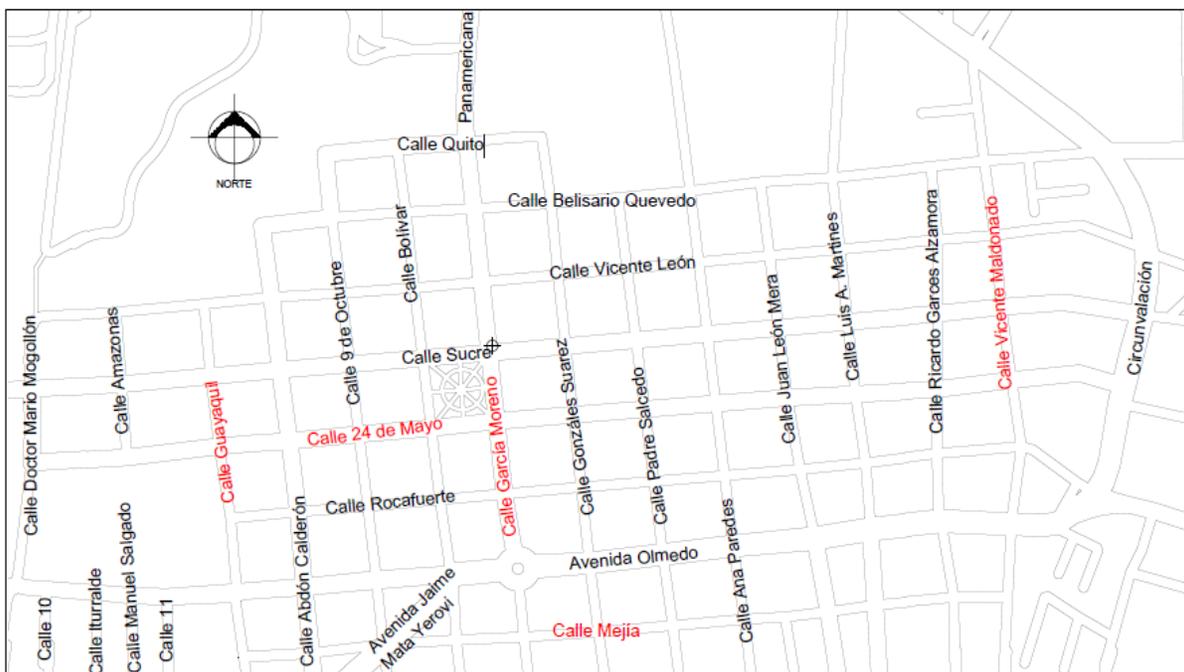
Niveles de iluminación**Tabla 19***Niveles de iluminación de la muestra*

Orientación	Vía	LED		SODIO		UI	Clase de iluminación
		Emin (lux)	Emax (lux)	Emin (lux)	Emax (lux)		
Vías de norte a sur	Circunvalación	45	63	18	29	0,62	M3
	Calle Vicente Maldonado	-	-	13	44	0,30	M3
	Calle Ricardo Garces Alzamora	-	-	12	17	0,71	M3
	Calle Luis A. Martines	22	44	14	20	0,70	M3
	Calle Juan León Mera	33	45	13	19	0,68	M3
	Calle Ana Paredes	36	55	12	18	0,67	M3
	Calle Padre Salcedo	26	39	20	30	0,67	M3
	Calle Gonzáles Suarez	37	44	19	27	0,70	M3
	Calle García Moreno	19	53	13	33	0,39	M3
	Panamericana	34	67	-	-	-	M3
	Calle Bolívar	33	35	12	18	0,67	M3
	Calle 9 de Octubre	-	-	16	37	0,43	M3
	Calle Abdón Calderón	-	-	19	45	0,42	M3
	Calle Guayaquil	-	-	8	45	0,18	M3
	Calle 11	-	-	45	53	0,85	M4
	Calle Manuel Salgado	-	-	18	22	0,82	M4
	Calle Iturralde	-	-	16	21	0,76	M4
	Calle 10	-	-	20	25	0,80	M4
	Calle Doctor Mario Mogollón	-	-	13	32	0,41	M3
	Calle Amazonas	-	-	8	9	0,89	M3
Vías de este a oeste	Calle Quito	33	37	-	-	-	M3
	Calle Belisario Quevedo	41	73	12	22	0,55	M3
	Calle Vicente León	40	44	13	22	0,59	M3
	Calle Sucre	30	61	32	33	0,97	M3
	Calle 24 de Mayo	43	82	12	74	0,16	M3
	Calle Rocafuerte	27	53	11	21	0,52	M3
	Avenida Olmedo	22	101	-	-	-	M3
	Calle Mejía	-	-	8	23	0,35	M3
	Calle Juan Hidalgo	-	-	25	38	0,66	M3
Vía de sur oeste	Avenida Jaime Mata Yerovi	49	97	-	-	-	M3

Se realizaron mediciones de iluminación en (lux) en diversas vías de San Miguel de Salcedo. Se seleccionaron 94 puntos de iluminación, evaluando solo los valores mínimos y máximos. Además, se categorizó la calidad de iluminación según el número de carriles para determinar su estado.

Figura 39

Vías con la uniformada baja de la muestra característica



Se analizan 94 datos recopilados en mediciones urbanas. Incluyen niveles de iluminación, ubicación y uniformidad longitudinal en la tabla 19, y nombres de vías en la figura 39. Se detectó falta de uniformidad en las vías marcadas con rojo, requiriendo medidas correctivas, como ajustar fuentes de luz, modificar intensidad o agregar luminarias para mejorar la distribución uniforme de luz

La luminaria VSAP cerrado se caracteriza por su amplia aplicación en la iluminación vial, brindando un nivel de uniformidad aceptable y un rendimiento lumínico eficiente. Los halogenuros metálicos también se emplean frecuentemente, ofreciendo una mayor eficacia lumínica y una mejor reproducción cromática en comparación con el sodio cerrado. Sin

embargo, los Leds representan una alternativa cada vez más popular debido a su excepcional eficiencia energética, mayor vida útil y capacidad de ajuste en la dirección y la intensidad de la luz, lo que contribuye significativamente a la uniformidad lumínica y a la reducción del consumo de energía.

Tabla 20

Ventajas y desventajas de tecnología LED vs Tecnología tradicional.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
VSAP	Son tradicionales por su eficiencia y durabilidad.	Problemas de uniformidad en la distribución de la luz.
	Disponibilidad y precio razonable.	Consumen más energía en comparación con tecnologías LED.
Lámparas de haluro metálico (MH)	Mejora la uniformidad en comparación con las VSAP.	Limitaciones en eficiencia y vida útil en comparación con tecnologías LED.
	Proporciona una luz más blanca y de alta calidad.	No son tan eficientes energéticamente como las luminarias LED.
Luminarias LED	Eficiencia energética significativamente mayor, lo que reduce el consumo de energía.	Puede tener un costo inicial más alto en comparación con otras tecnologías, aunque esto tiende a compensarse con el ahorro de energía.
	Se ahorra en mantenimiento y reduce la emisión de CO2	Vida útil teóricamente más larga en comparación con las tecnologías tradicionales.
	Proporciona una luz más uniforme y controlable.	La calidad del color de algunas luminarias LED ha mejorado con las últimas generaciones.
Sistemas de control inteligente	Permite ajustar la intensidad de la luz según las condiciones ambientales y el tráfico, optimizando el consumo de energía.	La implementación inicial puede tener un costo adicional, pero puede compensarse con el ahorro a largo plazo.
	Mejora aún más la uniformidad de la iluminación vial y la eficiencia general.	Requiere mantenimiento y monitoreo adecuados para asegurar el funcionamiento óptimo.
	Puede ser compatible con tecnologías de iluminación modernas como LED.	Las pérdidas por calor

Es importante instalar equipos que estén en línea con las políticas y requisitos de eficiencia energética, y que hayan sido homologados y aprobados por el Ministerio Rector para garantizar su adecuado funcionamiento y su contribución a un uso más responsable de la energía.

Tecnología LED Homologada

Las luminarias han sido homologadas para operar en el sistema de Distribución de Cotopaxi, ya sea utilizando tecnologías VSAP, VMAP, MH o LED. Por consiguiente, la sustitución del sistema de iluminación se realiza siguiendo los estándares y requisitos específicos para asegurar la eficiencia energética de los equipos. Aquí hay algunos ejemplos de equipos reconocidos y homologados por la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi – ELEPCO S.A.

Tabla 21

Luminarias reconocidas y homologas en el 2023 por ELEPCO S.A.

Marca	Eficacia Luminosa (lm/W)	Material	Potencia (W)	Voltaje nominal (V)	Homologado
Ledex	140	Aluminio inyectado	10 hasta 300	240 / 120	
Xiled	138	Aluminio inyectado	50 hasta 400	210 / 121 - 220 / 127	
Philips	130	Aluminio inyectado	30 hasta 400	240 / 120	
Thorn Lighting	132	Aluminio inyectado	20 hasta 400	240 / 120	
Nova Lighting	137	Aluminio inyectado	60 hasta 240	240 / 120	✓
Schröder	136	Aluminio inyectado	60 hasta 500	240 / 120	
Energie Lighting	145	Aluminio inyectado	40 hasta 500	240 / 120	
Sylvania	131	Aluminio inyectado	90 hasta 250	240 / 120	✓
Havells	139	Aluminio inyectado	50 hasta 500	210 / 121 - 220 / 127	

Sylvania luminaria vial LED SYL-STREET 150-200W

Luminaria LED de diseño moderno y robusto para iluminación vial y exterior. Cuerpo de aluminio inyectado con compartimentos independientes para óptica y electricidad. Se monta en tubo de soporte horizontal o en punta de poste. Proyecta luz uniforme, reduciendo costos de energía y mantenimiento. Eficiente y duradera.

Se emplea para iluminar vías urbanas como calles y autopistas, también para proporcionar luz general en espacios al aire libre. Además, es utilizado en la iluminación de áreas como parques, plazas y estacionamientos para mejorar la visibilidad y la seguridad en estos entornos.

Figura 40

Luminaria vial LED SYL-STREET 150-200W



Tabla 22

Ficha técnica de luminaria vial LED SYL-STREET 150-200W



Marca	SYL-STREET 150-200W (LED SYL-STREET)
Tipo	Alumbrado público
Dimensiones	Largo (660 mm), ancho (235mm), alto (101mm)
IP	66
IK	08 (Resiste impactos de 5 Julios)
Humedad ambiental	≥ 70%
Temperatura de operación	70°C a 95°C
Condiciones de instalación	A la intemperie, expuesto a lluvia, contaminación atmosférica, polvo e insectos, velocidad del viento <30Km/h
Pérdidas hemisférico superior	< 0.02%
Voltaje nominal recomendada	240 V / 110 V
Frecuencia	50/60 Hz
Potencia nominal de la luminaria	150W a 200w ±10%
Flujo útil total por luminaria (potencia nominal)	≥ 23100 lm
Eficacia luminosa	≥ 150lm / W
Factor de potencia	≥ 0.95
Clase eléctrica (IEC 60598-1 e IEC 60598-2-3)	II (doble aislamiento sin tierra)
Potencias de la misma marca en Watt	60, 80, 100, 120, 150, 180, 200

Tabla 23

Ficha técnica del chip LED de SYL-STREET 150-200W



Marca y modelo del LED	TYF 5050
Cantidad de LEDs	126
Modelo LED	5050
Índice de reproducción de color (CRI)	> 70%
Corriente de trabajo LED	≤ 150mA
Eficiencia luminosa LED	210-220 lm/W
Temperatura de color correlacionada (CCT)	4000K
Vida útil CHIP LED	> 100.000 horas
Marca de lentes	UVL (lente de luz ultravioleta)

Tabla 24

Datos característicos del Drive de la luminaria SYL-STREET



Marca Driver	Inventronics
Rango de voltaje de salida Driver	18 ~ 54 Vdc
Rango de corriente Driver	2.2 - 5.6 A
Distorsión armónica THD Driver	< 10%
Dimerización para un sistema de control de luz	Programable (1-10 v)
Compatibilidad para sistema de telegestión	Interfaz 1-10v / PWM
Consumo propio de driver	< 15W
Vida útil mínima driver LED	100.000 horas (Tc ≤70 °C)
Dispositivo de protección (SPD)	Modelo Protector contra sobretensiones impermeable QR-SPD08A-10/II - Class II

Nova lighting luminaria vial AP LED 150W

La serie de luminarias AP-LED de NOVA LIGHTING, llamada Luminaria AP-LED, presenta un diseño robusto y europeo que se integra armoniosamente en cualquier entorno. Es más ligera que las alternativas, facilitando la instalación. Sus componentes internos son de alta calidad, lo que resulta en un rendimiento óptimo que cumple con rigurosos estándares internacionales y normativas.

El soporte es versátil para montaje vertical u horizontal en brazos de 1 ½' a 2 ½'. Su chasis, construido en aluminio inyectado de alta pureza, combina robustez y durabilidad. La eficaz disipación térmica del diseño contribuye a mantener una temperatura controlada, optimizando el rendimiento y prolongando la vida útil del dispositivo.

Figura 41

Luminaria vial AP LED 150W

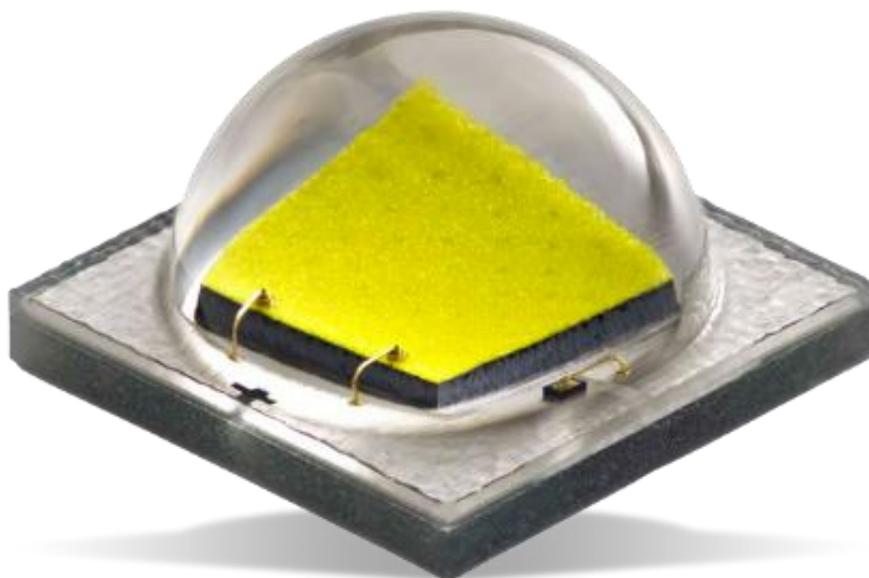


Tabla 25

Ficha técnica de luminaria vial Nova lighting AP LED 150W



Marca	Nova Lighting Luminaria Vial AP LED 150W
Tipo	Alumbrado público
Dimensiones	Largo (660 mm) ancho (235mm) alto (101mm)
Humedad ambiental	≥ 70%
IP	66
IK	08 (Resiste impactos de 5 Julios)
Temperatura de operación	-30°C a 45°C
Condiciones de instalación	A la intemperie, expuesto a lluvia, contaminación atmosférica, polvo e insectos, velocidad del viento <30Km/h
Pérdidas hemisférico superior	0%
Voltaje nominal recomendada	240 V / 120 V
Frecuencia	50/60Hz
Potencia nominal de la luminaria	150W
Flujo útil total por luminaria (potencia nominal)	18800lm
Eficacia luminosa	150lm/W
Factor de potencia	>0.95
Clase eléctrica (IEC 60598-1 e IEC 60598-2-3)	I y II (doble aislamiento con tierra)
Potencias de la misma marca en Watt	60, 90, 120, 150, 220, 240

Tabla 26*Ficha técnica del chip LED de Nova lighting AP LED 150W*

Marca y modelo del LED	CREE 3030
Cantidad de LEDs	256
Modelo LED	3030
Índice de reproducción de color (CRI)	> 70%
Corriente de trabajo LED	350 - 1500mA
Eficiencia luminosa LED	150lm/W
Temperatura de color correlacionada (CCT)	4000K / 5000K (opcional)
Vida útil CHIP LED	100.000 H
Marca de lentes	PMMA (polimerización del monómero metilmetacrilato)

Tabla 27

Datos característicos del Drive de la luminaria vial AP LED 150W



Marca Driver	MOSO XCP-150M062
Rango de voltaje de salida Driver	38 – 62 Vdc
Rango de corriente Driver	700 — 1050 mA
Distorsión armónica THD Driver	< 20%
Dimerización para un sistema de control de luz	Programable (0-10 v)
Compatibilidad para sistema de telegestión	Interfaz 0-10v / PWM
Consumo propio de driver	9.75W
Vida útil mínima driver LED	100.000 H (Tc <65 °C)
Dispositivo de protección (SPD)	Modelo Protector contra sobretensiones impermeable QR-SPD08A-10/II - Class II

Pruebas de voltaje y corriente de las luminarias

Las pruebas de corriente y voltaje en luminarias viales son una herramienta esencial para garantizar la eficiencia, seguridad y cumplimiento normativo de las instalaciones de iluminación en carreteras y vías públicas. Estas pruebas ayudan a mantener un entorno seguro para los conductores y peatones, a la vez que contribuyen a la eficiencia energética y la gestión efectiva de los recursos.

Preparación y seguridad

Asegúrate de que la luminaria esté conectado a la fuente de alimentación por lo menos una hora antes de realizar cualquier prueba. Utiliza herramientas adecuadas, como multímetros digitales, para medir voltaje y corriente.

Tabla 28

Datos técnicos del multímetro Truper MUT 202 TRU MRS



Característica	Especificación
Modelo	Truper MUT 202 TRU MRS
Funciones	Multímetro Digital
Rango de voltaje DC	0-1000V
Rango de voltaje AC	0-750V
Rango de corriente DC	0-10A
Rango de corriente AC	0-10A
Rango de resistencia	0-20MΩ
Rango de frecuencia	0-10MHz
Pantalla	LCD de 3.5 dígitos
Funciones especiales	Medición de temperatura
Precisión básica	±0.5%
Alimentación	Batería de 9V
Dimensiones	160mm x 75mm x 45mm
Accesorios incluidos	Cables de prueba, sonda de temperatura, batería

Figura 42

Mediciones de corriente a la luminaria vial LED SYL



La pinza amperimétrica del multímetro Truper MUT 202 TRU MRS es una herramienta útil para medir la corriente eléctrica en un cable específico sin necesidad de interrumpir el circuito, lo que puede ser de gran ayuda en la resolución de problemas y diagnóstico de sistemas eléctricos.

Figura 43

Mediciones de corriente a las luminarias luminaria vial AP LED



Las luminarias, en conformidad con regulaciones vigentes, operan durante 12 horas diarias, activándose al descender la intensidad lumínica natural entre 24 y 26 (lux) a las 18:30 horas, hasta las 06:30 horas del día siguiente, en todo el transcurso del año. El tiempo de encendido de estas luminarias varía en función de la marca empleada. Por ejemplo, el modelo LED-SYL presenta un retardo de 3,8 segundos en el encendido, mientras que el modelo AP-LED requiere 4,2 segundos. A continuación, se exponen los registros de corriente y potencia correspondientes.

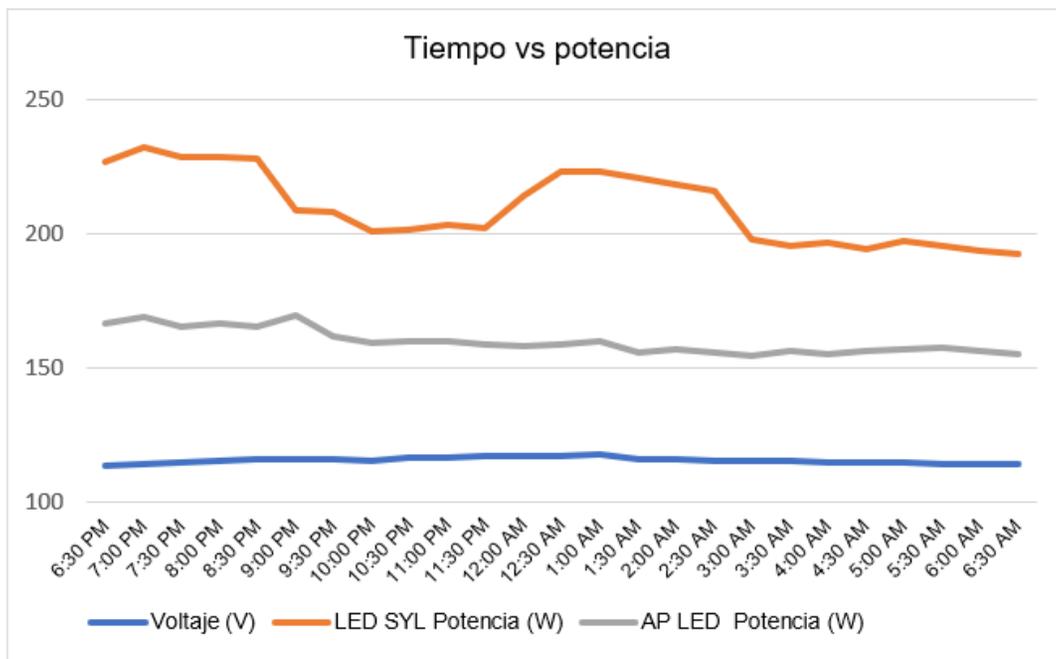
Tabla 29

Corriente y potencia de las luminarias LED.

Tiempo	Voltaje (V)	LED SYL			AP LED		
		Corriente (Amperios)	Potencia (Watt)	%	Corriente (Amperios)	Potencia (Watt)	%
6:30 PM	113,4	2	226,8	13,4%	1,47	166,7	11%
7:00 PM	114,4	2,03	232,2	16,1%	1,48	169,3	13%
7:30 PM	115	1,99	228,9	14,4%	1,44	165,6	10%
8:00 PM	115,6	1,98	228,9	14,4%	1,44	166,5	11%
8:30 PM	115,8	1,97	228,1	14,1%	1,43	165,6	10%
9:00 PM	116	1,8	208,8	4,4%	1,46	169,4	13%
9:30 PM	116,2	1,79	208,0	4,0%	1,39	161,5	8%
10:00 PM	115,4	1,74	200,8	0,4%	1,38	159,3	6%
10:30 PM	116,6	1,73	201,7	0,9%	1,37	159,7	6%
11:00 PM	116,8	1,74	203,2	1,6%	1,37	160,0	7%
11:30 PM	116,9	1,73	202,2	1,1%	1,36	159,0	6%
12:00 AM	117,2	1,83	214,5	7,2%	1,35	158,2	5%
12:30 AM	117,4	1,9	223,1	11,5%	1,35	158,5	6%
1:00 AM	117,6	1,9	223,4	11,7%	1,36	159,9	7%
1:30 AM	116,2	1,9	220,8	10,4%	1,34	155,7	4%
2:00 AM	116,2	1,88	218,5	9,2%	1,35	156,9	5%
2:30 AM	115,4	1,87	215,8	7,9%	1,35	155,8	4%
3:00 AM	115,2	1,72	198,1	-0,9%	1,34	154,4	3%
3:30 AM	115,1	1,7	195,7	-2,2%	1,36	156,5	4%
4:00 AM	115	1,71	196,7	-1,7%	1,35	155,3	3%
4:30 AM	114,9	1,69	194,2	-2,9%	1,36	156,3	4%
5:00 AM	114,6	1,72	197,1	-1,4%	1,37	157,0	5%
5:30 AM	114,3	1,71	195,5	-2,3%	1,38	157,7	5%
6:00 AM	114,1	1,7	194,0	-3,0%	1,37	156,3	4%
6:30 AM	114	1,69	192,7	-3,7%	1,36	155,0	3%

Figura 44

Comportamiento de las luminarias en función del tiempo



Inspección termográfica

Según Arana, (2022). Las luminarias no solo disipan energía lumínica, sino que también sufren pérdidas energéticas en forma de calor debido a factores de diseño y operación. Hay que considerar algunos aspectos relacionados con las pérdidas térmicas en estas luminarias. Los elementos electrónicos internos, como LEDs y drivers, generan calor durante su operación. Si la luminaria no disipa este calor eficientemente debido a un diseño inadecuado, los componentes pueden sufrir daños y afectar el rendimiento global. Los drivers, al convertir la corriente eléctrica para alimentar los LEDs, también producen calor. Los drivers más eficientes minimizan estas pérdidas térmicas.

Factores ambientales, como temperatura y circulación de aire, influyen en la disipación térmica de las luminarias. En entornos cálidos, las luminarias pueden enfrentar desafíos adicionales para mantenerse frescas y eficientes. Es esencial un mantenimiento proactivo integrando inspecciones termográficas, para evitar acumulación de calor.

Figura 45*Inspección termográfica***Tabla 30***Ficha técnica de la cámara térmica Flir Pro Duo.*

Característica	Valor
Tamaño	85 mm x 81,3 mm x 68,5 mm
Cámara térmica	Microbolómetro no refrigerado
Banda espectral	7,5–13,5 micras
Velocidad de fotogramas térmicos	30 Hz
Campo de visión de la cámara visual	56° x 45°
	Radiometría
	±5 °C o 5 % (rango -25 a +135 °C)
Precisión de la medición	±20 °C o 20 % (rango -40 a +550 °C)
Otros sensores	Acelerómetro, giroscopio, magnetómetro, barómetro
Entrada de alimentación	USB 0.3

Tabla 31*Pasos para la inspección termográfica.*

Paso	Descripción
1	Conseguir una cámara termográfica de alta calidad, modelos portátiles
2	Preparación previa al equipo que inspeccionara para entender sus condiciones normales de funcionamiento y sus posibles problemas.
3	Condiciones ambientales: Realizar las inspecciones en condiciones ambientales estables, ya que los cambios en la temperatura ambiente pueden afectar las mediciones.
4	Asegurar de que la cámara esté calibrada correctamente antes de comenzar la inspección.
5	Dirigir la cámara termográfica hacia el área de interés y captura imágenes térmicas. Mantener una distancia adecuada y un ángulo consistente para obtener resultados precisos.
6	Análisis de imágenes. Descargar las imágenes termográficas a una computadora y utiliza el software proporcionado para analizarlas. Compara las temperaturas en diferentes áreas y busca anomalías térmicas, como puntos calientes o fríos inusuales.
7	Interpretación. Comparar las imágenes térmicas con las condiciones normales de funcionamiento para identificar posibles problemas.
8	Documentación. Registrar todas las inspecciones, resultados y acciones tomadas. Esto es esencial para llevar un seguimiento y tomar decisiones informadas en el futuro.
9	Mantenimiento proactivo. Al realizar inspecciones termográficas a una muestra para controlar cualquier cambio en el tiempo y prevenir problemas potenciales dentro de la iluminación

Nota. Inspección termográfica. Tomado de INGENIUS (2020).

Es importante señalar que la interpretación adecuada de las imágenes termográficas requiere experiencia y conocimientos especializados. Los profesionales que realizan inspecciones termográficas deben estar capacitados en la técnica y en la comprensión de los patrones de temperatura que pueden indicar problemas potenciales. Por lo tanto, es recomendable contar con personal calificado y utilizar equipos de inspección termográfica adecuados para obtener resultados precisos y confiables.

Figura 46

Informe termográfico de la Luminaria vial LED SYL-STREET

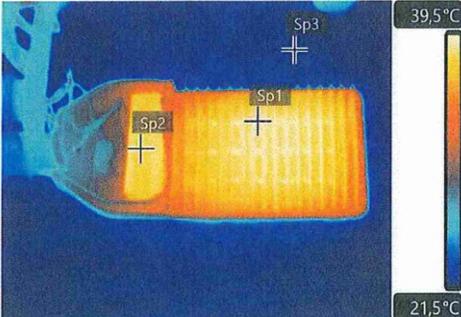
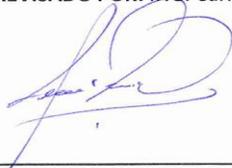
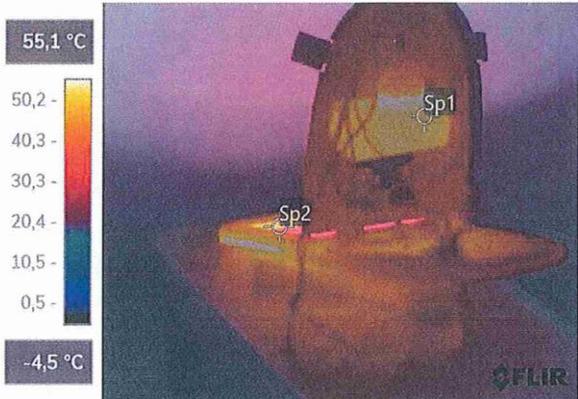
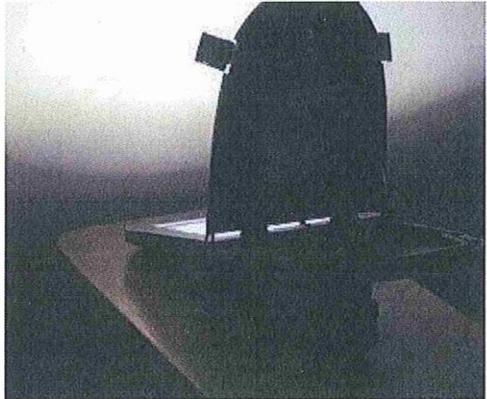
elepcosa		Servicio	
Informe termográfico – Junio del 2023- luminaria LED			
Fecha:	04/06/2023	Tipo:	Inspección
Hora:	14:00	Operador:	Alex Hernandez
Reporte N#:	1	Equipo:	Cámara Flir Duo ro
Equipo		Potencia	Anomalia
Luminaria vial LED SYL-STREET		150-200W	Perdidas por calor
			
Distancia (m):	0.95	Puntos marcados	
Temperatura ambiente (°C):	22,4 °C	Sp1	46,1 °C
Temperatura máxima (°C):	46,1 °C	Sp2	42,3 °C
Temperatura de referencia (°C):	34,1 °C	SP3	22,4 °C
Observaciones generales			
Se observa que la luminaria pierde energía por calor en el centro del disipador (Sp1), y también en el drive (Sp2), se estima que las pérdidas son por condición en los chips LED. La mayor pérdida de calor se da en el disipador con 46,1 °C			
ELABORADO POR: Alex Hernandez		REVISADO POR: ING. Carlos Cevallos	
			

Figura 47

Informe termográfico de la luminaria vial AP LED

 			
Informe termográfico - agosto del 2023- luminaria LED			
Fecha:	07/08/2023	Tipo:	Inspección
Hora:	14:00	Operador:	Alex Hernandez
Reporte N#:	2	Equipo:	Cámara Flir Duo ro
Ubicación:		Latacunga - Ecuador	
Equipo		Potencia	Anomalía
Luminaria vial AP LED		150W	Perdidas por calor
 			
Distancia (m):	0.95	Puntos marcados	
Temperatura ambiente (°C):	22°C	Sp1	53 °C
Temperatura máxima (°C):	53 °C	Sp2	52.3 °C
Temperatura de referencia (°C):	34 °C		
Observaciones generales			
<p>Se observa que la luminaria pierde energía por calor donde se aloja los chips LED (Sp2), y también en el drive (Sp1), se estima que las pérdidas son por condición en los chips LED. La temperatura es entre la placa de chips y el drive son los mismos por que no existe disipador. La mayor pérdida de calor es de 53 °C.</p>			
ELABORADO POR: Alex Hernandez		REVISADO POR: ING. Carlos Cevallos	
			

Simulaciones

Para la simulación se elige una vía de con la uniformidad baja presentadas en la figura 39. La calle seleccionada para la simulación es la calle Vicente Maldonado por la razón que presenta una baja o casi nula iluminación en todo su eje longitudinal, al rediseñarla aportamos a la vialidad, a la seguridad y al comercio ya que es una de las calles principales dentro de Salcedo porque esta junto a la Plaza Eloy Alfaro.

La luminaria seleccionada es la Luminaria vial LED SYL-STREET porque tiene una alta flexibilidad, su alto rendimiento, por su luz cálida y por presentar bajos consumos de potencia, y menores perdida de calor. El programa de diseño de iluminación será Ulysse 3 y descargamos el archivo fotométrico en formato (.IES) para la simulación.

Figura 48

Software para el diseño de iluminación Ulysse 3



Con Ulysse 3, los diseñadores pueden explorar una variedad de escenarios de iluminación mediante configuraciones de luminarias y colores de luz. Esto les permite experimentar con diferentes enfoques y encontrar soluciones óptimas que se adapten a las necesidades del proyecto. La eficiencia del software ahorra tiempo y facilita la comunicación entre miembros del equipo.

Figura 49

Selección del modelo de cálculo CIE 140

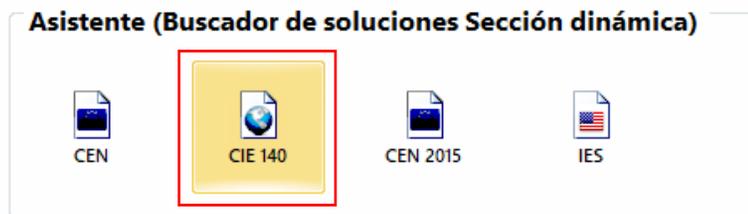


Figura 50

Parámetros de la calle Vicente Maldonado

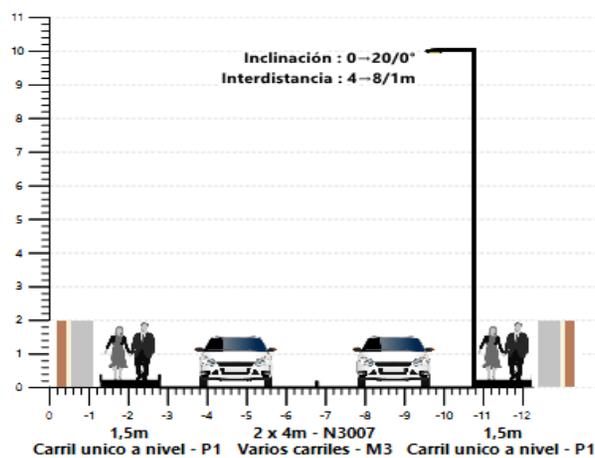


Figura 51

El diseño cumple con la normativa

	Axis		Pared izquierda				Carril unico a nivel IL : Mi...				Varios carriles LU : Ave = 1,00 cd/m ² Uo = 40 % UI = 60 % Uo...								Luminaria de la derecha							
	Co...	kW/...	S/km	EMin	EAve	EUo	EUT	EMin	EAve	EUo	EUT	LMin	LAve	Uo	Ug	Ut	UI1	UI2	TI	SR	Spac...	Fixture	Flux	MF	H	Tilt
▶	✓	4991...		230,8	248,4	93	87	269,4	284,0	95	90	15,55	25,45	61	45	45	100	100	5,2	0,7	4,00	P25905-...	31,715	1,00	10,00	0,0
	✓	3993...		184,6	198,8	93	87	215,4	227,3	95	90	12,44	20,37	61	45	45	100	100	5,4	0,7	5,00	P25905-...	31,715	1,00	10,00	0,0
	✓	3327...		153,9	165,6	93	87	179,6	189,4	95	90	10,36	16,98	61	45	46	100	100	5,7	0,7	6,00	P25905-...	31,715	1,00	10,00	0,0
	✓	2852...		132,0	142,0	93	87	153,9	162,4	95	90	8,86	14,56	61	45	45	99	100	6,0	0,7	7,00	P25905-...	31,715	1,00	10,00	0,0
	✓	2495...		115,4	124,2	93	87	134,7	142,1	95	90	7,76	12,75	61	45	46	99	100	6,1	0,7	8,00	P25905-...	31,715	1,00	10,00	0,0

La tabla muestra los parámetros que cumple para carreteras con ancho de 8 metros, carriles 2, altura 10m, Inter distancia 35m, acera 1,5m.

Capítulo V

Análisis de resultados

En este capítulo, se realizó una evaluación de la factibilidad de sustituir las luminarias de VSAP por luminarias LED a través de un enfoque técnico-económico. Se implementó un protocolo de mantenimiento basado en el ciclo de vida y patrones de reemplazo. Se adquirieron datos locales sobre los costos de las luminarias, componentes y mano de obra. Se efectuó un cálculo del gasto energético conforme a normativas.

Plan de mantenimiento

Se estableció un plan de mantenimiento considerando el tiempo de vida de las luminarias y referencias de cambio.

Plan de mantenimiento para la tecnología VSAP

Se establecieron dos categorías de mantenimiento para las luminarias de VSAP: en primer lugar, un mantenimiento parcial que se realiza cada 4 años. En este mantenimiento, se efectúa el reemplazo del bombillo, el ignitor y la fotocélula, además de llevar a cabo la limpieza del difusor, también se agrega la instalación de un relé programable para atenuar el umbral o disminuir el nivel de iluminación sin afectar a la uniformidad (dimerización) en horas de menor circulación así proyectar la energía demandada.

El segundo tipo de mantenimiento es completo y se lleva a cabo cada 8 años. En este caso, se cambian varios componentes, incluyendo el bombillo, el ignitor, el balastro, el capacitor, la fotocélula y el relé programable. Además, se realiza la limpieza del difusor. Los detalles del plan de mantenimiento preventivo para las luminarias VSAP se pueden observar en la tabla 32

Tabla 32*Cambio de elementos en las luminarias VSAP en el tiempo*

ALUMBRADO PÚBLICO CON TECNOLOGÍA VSAP						
Modificaciones de accesorios en el tiempo con mantenimiento preventivo.						
Año	BOMBILLO	INIGTOR	BALASTRO	CAPACITOR	FOTOCÉLULA	Cambio nivel de potencia (CNP)
						RELÉ PROGRAMABLE
Fin del 1er año						
Fin del 2do año						
Fin del 3er año						
Fin 4to año	✓	✓			✓	✓
Fin del 5to año						
Fin del 6to año						
Fin del 7mo año						
Fin 8vo año	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fin del 9no año						
Fin del 10mo año						
Fin del 11vo año						
Fin del 12vo año	✓	✓			✓	✓
Fin del 13vo año						
Fin del 14vo año						
Fin del 15vo año						
Total de cambios	3	3	1	1	3	3

Nota. En la tabla se observa las actividades manteniendo. Tomado de MUÑOZ (2020)

Plan de mantenimiento para la tecnología LED

Para las luminarias LED, se estableció un mantenimiento periódico de 5 años, que incluye reemplazo del driver, limpieza del difusor y, si es necesario, la adición del

relé programable para asegurar los cambios de nivel de potencia y disminuir el consumo aplicando cambios de nivel de potencia (CNP).

Tabla 33

Cambio de elementos en las luminarias LED en el tiempo

ALUMBRADO PÚBLICO CON TECNOLOGÍA LED		
Modificaciones de accesorios en el tiempo con mantenimiento preventivo.		
Año	CNP	
	DRIVE	RELÉ PROGRAMABLE
Fin del 1er año		
Fin del 2do año		
Fin del 3er año		
Fin del 4to año		
Fin del 5to año	✓	✓
Fin del 6to año		
Fin del 7mo año		
Fin del 8vo año		
Fin del 9no año		
Fin del 10mo año	✓	✓
Fin del 11mo año		
Fin del 12vo año		
Fin del 13vo año		
Fin del 14vo año		
Fin del 15vo año	✓	✓
Fin del 16vo año		
Fin del 17vo año		
Fin del 18vo año		
Fin del 19vo año		
Fin del 20vo año		
Total de cambios	3	3

Nota. En la tabla se observa las actividades manteniendo. Tomado de MUÑOZ (2020)

Costos de los equipos

La Tabla 11 presenta la distribución cuantitativa de luminarias con tecnología de VSAP según su potencia. Por ejemplo, se observan 2398 unidades de 100W y 2595 unidades de 150W. Esta información proporciona un marco de referencia para las potencias usuales en luminarias VSAP en Salcedo. En el contexto urbano, las luminarias de alta presión de sodio en la infraestructura de iluminación pública se segmentan DNP (Doble nivel de potencia) y SNP (simple nivel de potencia).

Tabla 34

Costos iniciales de las luminarias

Costos por unidad de las tecnologías en iluminación		
Tecnología	Doble nivel de potencia	Simple nivel de potencia
VSAP O SODIO CERRADO	150 W	100 W
	148,74 USD	114,04 USD
LED SYL STREET	100 W	70 W
	208 USD	110 USD

Además, se adquirieron los costos individuales para reemplazar los componentes en el proceso de mantenimiento de las luminarias, obteniendo esta información de establecimientos comerciales locales en la ciudad. La Tabla 38 exhibe los costos de los elementos para las luminarias de sodio, mientras que la Tabla 37 presenta los costos para las luminarias LED, junto con la durabilidad de dichos elementos.

Tabla 35

Costos de los accesorios de la luminaria LED

Precios de los repuestos de la luminaria LED			
Accesorios	Precio unitario (USD)		Vida útil
	70W	100W	Años
Drive Inventronics	32, 41	32, 41	5,5
Relé programable	28	28	7,5

Tabla 36*Costos de los accesorios de la luminaria VSAP*

Precios de los repuestos de la luminaria VSAP			
Accesorios	Precio unitario (USD)		Vida útil
	100 W	150 W	Años
Bombilla	10	9	4
Inigtor	6,5	6,5	4
Balasto	10	10	10
Capacitor	2,5	3,5	10
Fotocélula	7	7	5
Relé programable	28	28	7,5

Costo de horas hombre

En el estudio de Cedeño (2022) describe el cálculo del costo total por hora para el grupo operacional de ELEPCO S.A. ver Figura. 29. Este cálculo se realiza agregando los costos individuales de cada miembro del equipo. En concreto, el costo total por hora para el grupo operacional asciende a 30.52 dólares, lo que representa el gasto total por cada hora de trabajo combinado de todos los roles mencionados en el estudio.

Según Cedeño (2022), el análisis se fundamenta en la evaluación del rendimiento de los tiempos de construcción relacionados con el montaje de estructuras de soporte básicas de redes eléctricas de distribución aéreas de medio y bajo voltaje. Según esta evaluación, se determina que el tiempo promedio necesario para ensamblar una de estas estructuras es de media hora, lo que se traduce en un costo de operación de mantenimiento de 15.26 dólares por cada estructura.

Adicionalmente, contrastamos con la base de datos de ELEPCO S.A. donde se encuentran ofertas con los costos asociados al montaje y desmontaje de ofertas disponibles en un proyecto de repotenciación. Por ejemplo, el desmontaje de luminarias públicas tiene un costo de 15.25 dólares por unidad, al igual que el montaje de las mismas.

Se especifica que el proceso montaje y desmontaje de una luminaria lleva aproximadamente una hora y conlleva un costo de 30.5 dólares.

Los trabajos a cargo de ELEPCO S.A, con el fin de mejorar la eficiencia de los tiempos de operación, se plantea la posibilidad de duplicar los grupos operacionales, aunque esto implicaría un incremento en los salarios. Como alternativa, se recomienda considerar la contratación de servicios de consultoría en iluminación, como una estrategia de eficiencia.

El gasto más significativo en el mantenimiento de luminarias de tecnología VSAP asciende a 28 dólares, y este monto está asociado al reemplazo programado del relé dentro del presupuesto de mantenimiento. Por otro lado, en el mantenimiento de luminarias de tecnología LED, se identifica el costo más alto de 32.42 dólares, que corresponde al reemplazo del drive.

Se estima que este mantenimiento se realiza de manera periódica, típicamente en el cuarto al quinto año, y en el peor escenario, el costo promedio del mantenimiento se sitúa en torno a los 30,22 dólares.

Tabla 37

Costos según consultoría en iluminación (RR INGERINERI)

Costos de mantenimiento por luminaria.	
Actividades	USD
Desmontaje de luminarias	15,25
Montaje de luminarias	15,25
Mantenimiento de luminarias	30,22
	Total: 60,72

Figura 52

Actividades de manteamiento de las luminarias publicas



Proyecto de Cambio a Iluminación LED - Calculadora de Viabilidad

Tabla 38

Datos para calculadora de Viabilidad.

DATOS DE ILUMINACIÓN TRADICIONAL		
	Luminarias de VSAP de 150 W	Datos Unidades
	Cantidad total de luminarias de sodio	2595 SI
	Potencia promedio de las luminarias de sodio más el consumo de los accesorios	0,17125 kW
	Horas de operación diaria promedio	12 horas
	Costo promedio de electricidad	0,092 \$/kWh
MANTENIMIENTO	Vida útil estimada de las luminarias de sodio	10 años
	Luminarias de VSAP de 100 W	Datos Unidades
	Cantidad total de luminarias de sodio	2398 SI
	Potencia promedio de las luminarias de sodio el consumo de los accesorios	0,11689 kW
	Horas de operación diaria promedio	12 horas
	Costo promedio de electricidad	0,092 \$/kWh
	Vida útil estimada de las luminarias de sodio	10 años
DATOS DE LA ILUMINACIÓN LED		
	Luminarias de LED SYL de 100 W	Datos Unidades
	Potencia promedio de las luminarias LED equivalentes más 16%	0,116 KW
	Eficiencia lumínica de las luminarias LED (lm/W)	152 lm/W
REEMPLAZO	Costo promedio por unidad de luminaria LED	208 \$
	Luminarias de LED SYL de 70 W	Datos Unidades
	Potencia promedio de las luminarias LED equivalentes más el 16%	0,0812 W
	Eficiencia lumínica de las luminarias LED (lm/W)	152 lm/W
	Costo promedio por unidad de luminaria LED	110 \$

Cálculos

La potencia eléctrica se refiere a la tasa a la cual la energía eléctrica se consume o se suministra en watt (W). En sistemas de iluminación, la potencia eléctrica determina la cantidad de energía que se convierte en luz visible, y esta relación se rige por la eficiencia lumínica del dispositivo. Solamente en el contexto de cuerpos en movimiento (cargas), la energía puede expresarse como el producto escalar de la Potencia y el tiempo. Es importante resaltar que la derivada temporal de la energía mecánica no equivale a la total potencia mecánica. Es posible que numéricamente, la derivada temporal de la energía mecánica coincida con una de las diversas potencias consumidas. Se establece de la siguiente fórmula para evaluar la energía de la iluminación instalada en Salcedo:

$$E_{Luminarias} = P_{Luminarias} * C_{Luminarias} * T_{Luminarias} * 365 \quad (8)$$

Donde:

$E_{Luminarias}$: Energía de las luminarias, calculada en un año (kWh/año)

$P_{Luminarias}$: Potencia promedio por unidad

$C_{Luminarias}$: Cantidad de las luminarias en operación de potencia determinada

$T_{Luminarias}$: Periodo de operación de las luminarias entre 1 a 12 horas en un día. El 365 es una conversión a años.

Según ARCE (2023). La Resolución ARCERNNR-009/2022 del 14 de abril, emitida por el Directorio de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), estableció que la tarifa establecía para el suministro de electricidad se mantiene constante en 0,092 (USD/kWh). Esta decisión implica que no habrá cambios en el costo final del servicio para los consumidores. Se establece de la siguiente fórmula para evaluar el costo de la iluminación instalada en Salcedo

$$CT_{Energia_Lum} = E_{Luminarias} * CV_{Electricidad} \quad (9)$$

Donde:

$CT_{Energia_Lum}$: Costo anual de energía, calculada en (dólares o centavos)

$CV_{Electricidad}$: La electricidad en el 2023, es de 0,092 (\$/KWh)

Para calcular el ahorro en el costo de energía al cambiar de tipo de iluminación (por ejemplo, de sodio a LED). Se aplica la ecuación (8), (9) para Sodio y LED independientemente, Se establece de la siguiente fórmula para evaluar el ahorro en costo de energía:

$$Ah_{Costo_Energia_Lum} = CT_{Energia_Lum_Sodio} - CT_{Energia_Lum_LED} \quad (10)$$

Donde:

$Ah_{Costo_Energia_Lum}$: Ahorro anual en costos de energía, en (dólares o centavos)

$CT_{Energia_Lum_Sodio}$: Costos anual de energía en sodio, en (dólares o centavos)

$CT_{Energia_Lum_LED}$: Costos anual de energía en LED, en (dólares o centavos)

Se evalúa el reemplazo de componentes en luminarias públicas considerando el costo de materiales, drive o balastos como repuestos más caros, junto con el precio de trabajo de técnicos eléctricos, para calcular el costo total proyectado. Este cálculo depende del tipo de mantenimiento, y cuan calificado este la mano de obra, este cálculo es opcional:

$$Ah_{Costo_Repl_Manten} = C_{Luminarias} * (CT_{Replazo} + CT_{Manten}) \quad (11)$$

Donde:

$Ah_{Costo_Repl_Manten}$: Ahorro anual en costos de energía, en (dólares o centavos)

$CT_{Replazo} + CT_{Manten}$: es un promedio anual, ver tabla 39, en (dólares o centavos)

Se calculan los costos por unidad para el reemplazo de componentes en luminarias públicas al multiplicar la cantidad de unidades a reemplazar por el costo del tipo de luminaria seleccionada:

$$CI_{Costo_Invercion} = C_{Luminarias} * CU_{Costo_Luminaria} \quad (12)$$

Donde:

$CI_{Costo_Invercion}$: Costo total de inversión en luminarias LED, en (dólares o centavos)

$CU_{Costo_Luminaria}$: Costo por unidad de LED, ver tabla 39, en (dólares o centavos)

Se calcula el período de retorno de inversión se refiere al tiempo necesario para que los beneficios económicos generados por una inversión igualen el costo inicial de dicha inversión:

$$PI_{Retorno_Invercion} = \frac{CI_{Costo_Invercion}}{Ah_{Costo_Energia_Lum} + Ah_{Costo_Repl_Manten}} \quad (13)$$

Donde:

$PI_{Retorno_Invercion}$: Período de retorno de la inversión en luminarias LED, en (años)

Resultados

Tabla 39

Vialidad de sodio de 150W a LED de 100W.

VSAP de 150 W por LED 100W		
DATOS DE ILUMINACIÓN		
	Datos	Unidades
Consumo de energía anual actual	1.946.444,63	kWh/año
Costo anual de la energía actual	179.072,91	\$
Consumo de energía anual proyectado con LED	1.318.467,60	kWh/año
Costo anual de la energía con LED	121.299,02	\$
Ahorro anual en costo de energía	57.773,89	\$
Ahorro en costo de reemplazo y mantenimiento	156.997,50	\$
Ahorro anual total	214.771,39	\$
Vida útil total con LED	11,42	años
Costo total de inversión en luminarias LED	539.760,00	\$
Período de retorno de la inversión	2,513183945	años
Eficiencia (Energía LED/ Energía VSAP)	67,73	%

Estos cálculos son estimaciones y pueden variar según los costos reales del mercado actual y las condiciones específicas de cada proyecto. Es importante consultar con expertos y realizar un análisis detallado antes de tomar decisiones finales.

Tabla 40

Vialidad de cambio de sodio de 100W a LED de 70W.

VSAP de 100 W por LED 70W		
DATOS DE ILUMINACIÓN		
	Datos	Unidades
Consumo de energía anual actual	1.227.723,72	kWh/año
Costo anual de la energía actual	112.950,58	\$
Consumo de energía anual proyectado con LED	852.863,09	kWh/año
Costo anual de la energía con LED	78.463,40	\$
Ahorro anual en costo de energía	34.487,18	\$
Ahorro en costo de reemplazo y mantenimiento	145.079,00	\$
Ahorro anual total	179.566,18	\$
Vida útil total con LED	11,42	años
Costo total de inversión en luminarias LED	263.780,00	\$
Período de retorno de la inversión	1,468984874	años
Eficiencia (Energía LED/ Energía VSAP)	69,46	%

Contribución al medio ambiente

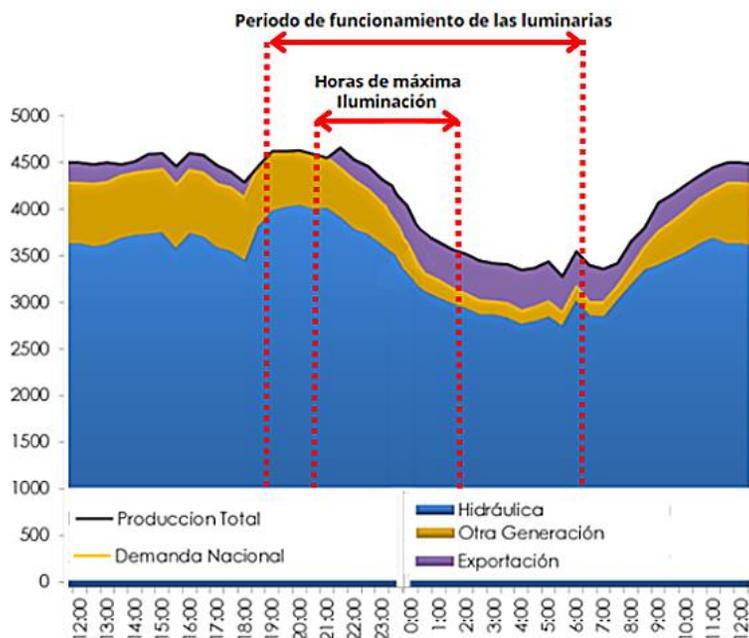
Ecuador tiene una serie de centrales hidroeléctricas que son la principal fuente de generación de electricidad. Sin embargo, en momentos de alta demanda o sequías, es posible que se utilicen generadores a combustibles fósiles para proporcionar energía adicional y estabilizar el suministro.

Las luminarias LED son conocidas por su mayor eficiencia lumínica, lo que se traduce en un menor consumo de electricidad para lograr la misma iluminación. Además, la capacidad

de ajustar los niveles de potencia permite un control preciso del consumo eléctrico en función de las necesidades, lo que maximiza el ahorro de energía. Reducir la demanda eléctrica, especialmente en momentos de máxima demanda o en el peor de los eventos, es fundamental para mitigar las emisiones de CO₂ y contribuir a la sostenibilidad ambiental en un contexto donde la generación termoeléctrica está involucrada.

Figura 53

Curva de generación (MW) de Ecuador



Nota. Demanda anual de Ecuador. Tomado de www.cenace.gob.ec (2023)

Frente a posibles amenazas en la infraestructura de captación de agua de las centrales hidroeléctricas, se contempla la provisión de electricidad para satisfacer la demanda nacional mediante las centrales termoeléctricas disponibles en el arsenal del estado, como Termo Esmeraldas, Electro guayas, Termo Manabí, Termo gas Machala y Termo Pichincha, entre otras, indicado en el informe de CELEC EP (2021).

Este estudio evidencia que, La gestión de la demanda eléctrica es clave para un suministro sostenible y la reducción de CO₂, combatiendo el cambio climático y promoviendo la ecoamigabilidad en la en el sector energético.

Es posible que numéricamente, la energía mecánica coincida con la energía interna o poder calorífico de los combustibles fósiles. Se establece de la siguiente fórmula para evaluar la energía en una hora de operación de las luminarias:

$$E_{Luminarias} = P_{Luminarias} * C_{Luminarias} * T_{Luminarias} \quad (14)$$

Donde:

$E_{Luminarias}$: Energía total de las luminarias, en (kWh)

$P_{Luminarias}$: Potencia promedio por unidad

$C_{Luminarias}$: Cantidad de las luminarias en operación de potencia determinada

$T_{Luminarias}$: Periodo de operación en una hora.

Se establece según Romero (2016) se da siguiente fórmula para evaluar la huella de carbono de la energía producida por un generador a combustión, en una hora de operación:

$$E_C = \sum_{n=1}^{\infty} E_{Luminarias_n} * FE \quad (15)$$

Donde:

E_C : Emisión del consumo, en (Kg CO₂)

$\sum_{n=1}^{\infty} E_{Luminarias_n}$: Sumatoria del consumo (KWh)

FE : Factor de emisión del combustible, en (Kg CO₂), Ver figura 54.

Figura 54

Factor de emisión de CO₂ de los combustibles del sector eléctrico en Ecuador.

Combustible	FE (kg CO ₂ /TJ)	FE (kg CO ₂ /KWh)	Poder Calorífico Neto (TJ/1000 ton)	Poder Calorífico Neto (KWh/Kg)
Fuel oil	75500	0,272	39,2	10,889
Diésel	72800	0,261	40,8	11,333
Gas Natural	54300	0,195	46,5	12,917
Nafta	69300	0,249	41,8	11,611
Residuo	73300	0,264	39	10,833
Bunker	73300	0,264	39,7	11,028

Nota. Tomada del informe (2021) de del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador

Según National Geographic (2022) , La energía obtenida al quemar combustibles fósiles se convierte en electricidad y calor en centrales de generación de energía. Cuando se queman combustibles fósiles en los generadores de motores a combustión, grandes cantidades de CO₂ son liberadas a la atmósfera. El dióxido de carbono (CO₂) es uno de los principales gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global.

Tabla 41

Luminarias de VSAP de 150W y 100W de la provincia de Cotopaxi.

CANTONES	Cantidad de luminarias de 100W	Potencia total de las luminarias de 100W en (W)	Cantidad de luminarias de 150W	Potencia total de las luminarias de 150W en (W)	% luminarias de 100 y 150 En los cantones
LATACUNGA	8061	806100	7367	1105050	40,16%
PUJILI	2834	283400	2837	425550	59,45%
SALCEDO	2387	238700	2595	389250	56,58%
LA MANA	1674	167400	1576	236400	58,19%
SAQUISILI	1216	121600	1160	174000	61,88%
PANGUA	681	68100	562	84300	61,65%
SIGCHOS	450	45000	479	71850	57,87%
Total:	17303	1730300	16576	2486400	56,54%

En la tabla 42 y 43, se presentan datos críticos para los 7 cantones de Cotopaxi en los que se realiza un cálculo exhaustivo de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por las luminarias de Vapor de Sodio de Alta Presión (VSAP) en comparación con las luminarias LED. Esta información incluye la potencia total instalada, que es la suma de las capacidades de todas las luminarias, con una consideración adicional del 16% para las pérdidas de energía, representada en kilovatios (KW). Además, se presenta la Energía total demandada por estas luminarias durante una hora, medida en kilovatios-hora (KWh).

La evaluación de las emisiones de CO₂ se lleva a cabo utilizando la ecuación 15, teniendo en cuenta diferentes fuentes de combustibles empleadas en la iluminación, como fuel oil, diésel, gas natural, nafta, residuos y bunker oil. Estos cálculos se efectúan para las luminarias de VSAP y para su remplazo las luminarias LED de 70 y 100(W), manteniendo constante la cantidad total de luminarias de 100 y 150 (W) de VSAP respectivamente, lo que resulta fundamental para la evaluación integral de la eficiencia energética y el impacto ambiental de la iluminación en cada uno de los cantones.

Este análisis técnico permite comparar de manera precisa las emisiones de CO₂ y el consumo de energía entre las tecnologías de iluminación VSAP y LED en los cantones de Cotopaxi, lo que proporciona información valiosa para tomar decisiones informadas sobre la eficiencia y la sostenibilidad de la iluminación en esta región.

Tabla 42

Huella de carbono de la energía de las luminarias de VSAP.

VSAP 100W								
Cantones de Cotopaxi	Potencia total más 16% de las pérdidas de las luminarias de 100W en (KW)	Energía total de las luminarias de 100W en (KWh)	Fuel oil (kg CO2)	Diésel (kg CO2)	Gas Natural (kg CO2)	Nafta (kg CO2)	Residuo (kg CO2)	Bunker (kg CO2)
LATACUNGA	935,076	935,076	254,2	244,4	182,8	233,3	246,7	246,7
PUJILI	328,744	328,744	89,4	85,9	64,3	82,0	86,7	86,7
SALCEDO	276,892	276,892	75,3	72,4	54,1	69,1	73,1	73,1
LA MANA	194,184	194,184	52,8	50,8	38,0	48,4	51,2	51,2
SAQUISILI	141,056	141,056	38,3	36,9	27,6	35,2	37,2	37,2
PANGUA	78,996	78,996	21,5	20,6	15,4	19,7	20,8	20,8
SIGCHOS	52,2	52,2	14,2	13,6	10,2	13,0	13,8	13,8
Total:		2007,148	545,5	524,6	392,4	500,7	529,6	529,6
VSAP 150W								
Cantones de Cotopaxi	Potencia total más 16% de las pérdidas de las luminarias de 150W en (KW)	Energía total de las luminarias de 150W en (KWh)	Fuel oil (kg CO2)	Diésel (kg CO2)	Gas Natural (kg CO2)	Nafta (kg CO2)	Residuo (kg CO2)	Bunker (kg CO2)
LATACUNGA	1281,858	1281,858	348,4	335,0	250,6	319,8	338,3	338,3
PUJILI	493,638	493,638	134,2	129,0	96,5	123,2	130,3	130,3
SALCEDO	451,53	451,53	122,7	118,0	88,3	112,6	119,1	119,1
LA MANA	274,224	274,224	74,5	71,7	53,6	68,4	72,4	72,4
SAQUISILI	201,84	201,84	54,9	52,8	39,5	50,4	53,3	53,3
PANGUA	97,788	97,788	26,6	25,6	19,1	24,4	25,8	25,8
SIGCHOS	83,346	83,346	22,7	21,8	16,3	20,8	22,0	22,0
Total:		2884,224	783,9	753,8	563,8	719,6	761,1	761,1

Tabla 43*Huella de carbono de la energía de las luminarias LED.*

LED DE 70W								
Cantones de Cotopaxi	Potencia total más 16% de las pérdidas de las luminarias LED de 70 en (KW)	Energía total de las luminarias LED de 70W en (KWh)	Fuel oíl (kg CO2)	Diésel (kg CO2)	Gas Natural (kg CO2)	Nafta (kg CO2)	Residuo (kg CO2)	Bunker (kg CO2)
LATACUNGA	654,5532	654,5532	177,9	171,1	128,0	163,3	172,7	172,7
PUJILI	230,1208	230,1208	62,5	60,1	45,0	57,4	60,7	60,7
SALCEDO	193,8244	193,8244	52,7	50,7	37,9	48,4	51,1	51,1
LA MANA	135,9288	135,9288	36,9	35,5	26,6	33,9	35,9	35,9
SAQUISILI	98,7392	98,7392	26,8	25,8	19,3	24,6	26,1	26,1
PANGUA	55,2972	55,2972	15,0	14,5	10,8	13,8	14,6	14,6
SIGCHOS	36,54	36,54	9,9	9,6	7,1	9,1	9,6	9,6
Total:		1405,0036	381,9	367,2	274,7	350,5	370,8	370,8
LED DE 100W								
Cantones de Cotopaxi	Potencia total más 16% de las pérdidas de las luminarias LED de 100 en (KW)	Energía total de las luminarias LED de 100W en (KWh)	Fuel oíl (kg CO2)	Diésel (kg CO2)	Gas Natural (kg CO2)	Nafta (kg CO2)	Residuo (kg CO2)	Bunker (kg CO2)
LATACUNGA	854,572	854,572	232,3	223,4	167,1	213,2	225,5	225,5
PUJILI	329,092	329,092	89,4	86,0	64,3	82,1	86,8	86,8
SALCEDO	301,02	301,02	81,8	78,7	58,8	75,1	79,4	79,4
LA MANA	182,816	182,816	49,7	47,8	35,7	45,6	48,2	48,2
SAQUISILI	134,56	134,56	36,6	35,2	26,3	33,6	35,5	35,5
PANGUA	65,192	65,192	17,7	17,0	12,7	16,3	17,2	17,2
SIGCHOS	55,564	55,564	15,1	14,5	10,9	13,9	14,7	14,7
Total:		1922,816	522,6	502,5	375,9	479,7	507,4	507,4

La Tabla 44 exhibe el potencial de reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) al cambiar de luminarias de Vapor de Sodio de Alta Presión (VSAP) a luminarias LED en diversos cantones de Cotopaxi, Ecuador. Este cálculo se realiza mediante la diferencia entre los datos de la Tabla 42 y la Tabla 43, considerando distintas fuentes de combustibles empleadas en la generación de energía del país.

Tabla 44

Ahorro en la huella de carbono con el cambio de las luminarias LED.

AHORRO EN EMISIÓN CO₂ DE 100W VSAP POR LED 70W						
Cantones de Cotopaxi	Fuel oíl (kg CO ₂)	Diésel (kg CO ₂)	Gas Natural (kg CO ₂)	Nafta (kg CO ₂)	Residuo (kg CO ₂)	Bunker (kg CO ₂)
LATACUNGA	76,2	73,3	54,8	70,0	74,0	74,0
PUJILI	26,8	25,8	19,3	24,6	26,0	26,0
SALCEDO	22,6	21,7	16,2	20,7	21,9	21,9
LA MANA	15,8	15,2	11,4	14,5	15,4	15,4
SAQUISILI	11,5	11,1	8,3	10,6	11,2	11,2
PANGUA	6,4	6,2	4,6	5,9	6,3	6,3
SIGCHOS	4,3	4,1	3,1	3,9	4,1	4,1
Total:	163,7	157,4	117,7	150,2	158,9	158,9
AHORRO EN EMISIÓN DE CO₂ DE 150W VSAP POR LED 100W						
Cantones de Cotopaxi	Fuel oíl (kg CO ₂)	Diésel (kg CO ₂)	Gas Natural (kg CO ₂)	Nafta (kg CO ₂)	Residuo (kg CO ₂)	Bunker (kg CO ₂)
LATACUNGA	116,1	111,7	83,5	106,6	112,8	112,8
PUJILI	44,7	43,0	32,2	41,1	43,4	43,4
SALCEDO	40,9	39,3	29,4	37,5	39,7	39,7
LA MANA	24,8	23,9	17,9	22,8	24,1	24,1
SAQUISILI	18,3	17,6	13,2	16,8	17,8	17,8
PANGUA	8,9	8,5	6,4	8,1	8,6	8,6
SIGCHOS	7,6	7,3	5,4	6,9	7,3	7,3
Total:	261,3	251,3	187,9	239,9	253,7	253,7

El cuadro analiza el impacto de la sustitución de luminarias de 150W de sodio por LED de 100W y de 105W de VSAP por LED de 70 y 100 en múltiples localidades. Se evidencia una

reducción substancial de emisiones de CO2 en variadas fuentes de combustible, resaltando la eficiencia energética como estrategia clave para mitigar la huella de carbono.

Tabla 45

Ahorro de emisión de energía de CO2 en Cotopaxi al realizar los cambios de nivel de potencia.

Combustibles	Fuel oíl (kg CO2)	Residuo (kg CO2)	Bunker (kg CO2)	Diésel (kg CO2)	Nafta (kg CO2)	Gas Natural (kg CO2)
LED 70 w	381,9	370,8	370,8	367,2	350,5	274,7
LED 100 w	522,6	507,4	507,4	502,5	479,7	375,9
70 W AL REDUCIR AL 60 % DE POTENCIA	229,1	222,5	222,5	220,3	210,3	164,8
100 W AL REDUCIR AL 60% DE POTENCIA	313,6	304,4	304,4	301,5	287,8	225,5

La tabla muestra las emisiones de CO2 en kilogramos para diferentes tipos de combustibles (Fuel oíl, Diésel, Gas Natural, Nafta, Residuo, Bunker) y diferentes luminarias LED de 70 W y 100 W, tanto a potencia completa como reducida al 60%. Los valores indican que se puede reducir más la potencia con la dimerización afecta las emisiones de CO2 en cada caso.

Tabla 46

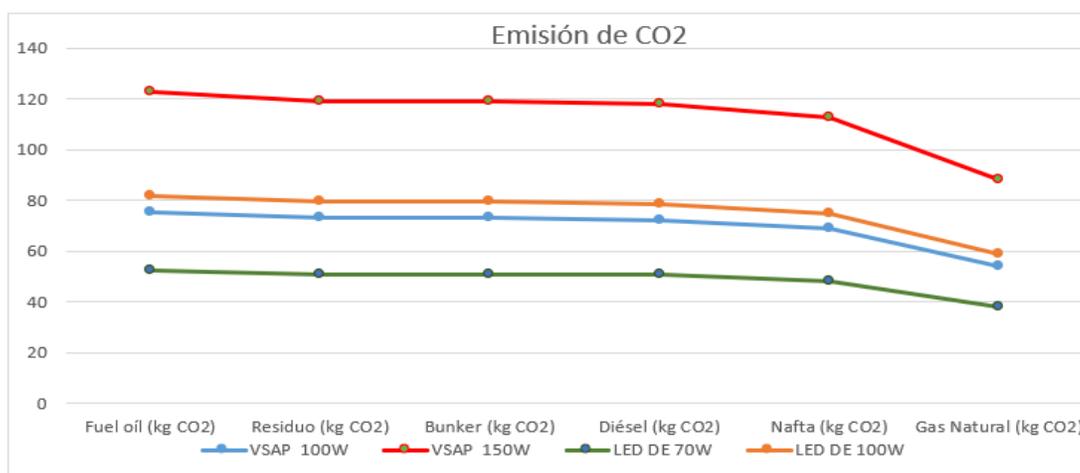
Emisión de Kg de CO2 por hora en Salcedo en el 2023

SALCEDO	Combustibles	Fuel oíl (kg CO2)	Residuo (kg CO2)	Bunker (kg CO2)	Diésel (kg CO2)	Nafta (kg CO2)	Promedio de emisión de CO2 por hora
	VSAP 100W		75,3	73,1	73,1	72,4	69,1
VSAP 150W		122,7	119,1	119,1	118	112,6	113,3
LED DE 70W		52,7	51,1	51,1	50,7	48,4	48,65
LED DE 100W		81,8	79,4	79,4	78,7	75,1	75,533

El cuadro muestra las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en kilogramos por hora para diferentes tipos de luminarias en la empresa Salcedo. Los valores varían según el tipo de combustible utilizado, con los LED de 70W y 100W siendo las opciones más eficientes en términos de emisiones de CO₂ por hora, con valores de 48.65 y 75.53 kg respectivamente, mientras que las luminarias VSAP 100W y 150W tienen emisiones más altas en el rango de 69.52 a 113.3 kg por hora.

Figura 55

Emisión de CO₂ de la tecnología VSAP vs LED.



Propuesta para el nuevo diseño

Este estudio se realiza como una etapa preliminar para desarrollar un diseño que motive a Salcedo a convertirse en una "SMAT GRIT" (Sistema Municipal de Alumbrado Técnico de Gestión Inteligente y Eficiente), cumpliendo con las regulaciones y normativas vigentes.

Para lograr esto, se divide la ciudad de Salcedo en zonas para un análisis más detallado. Esto significa que se categoriza la ciudad en áreas específicas, posiblemente según criterios como densidad poblacional, uso del suelo o necesidades de iluminación particulares, con el fin de adaptar el diseño de alumbrado público de manera óptima a cada zona.

Figura 56

Zonificación de San Miguel de Salcedo

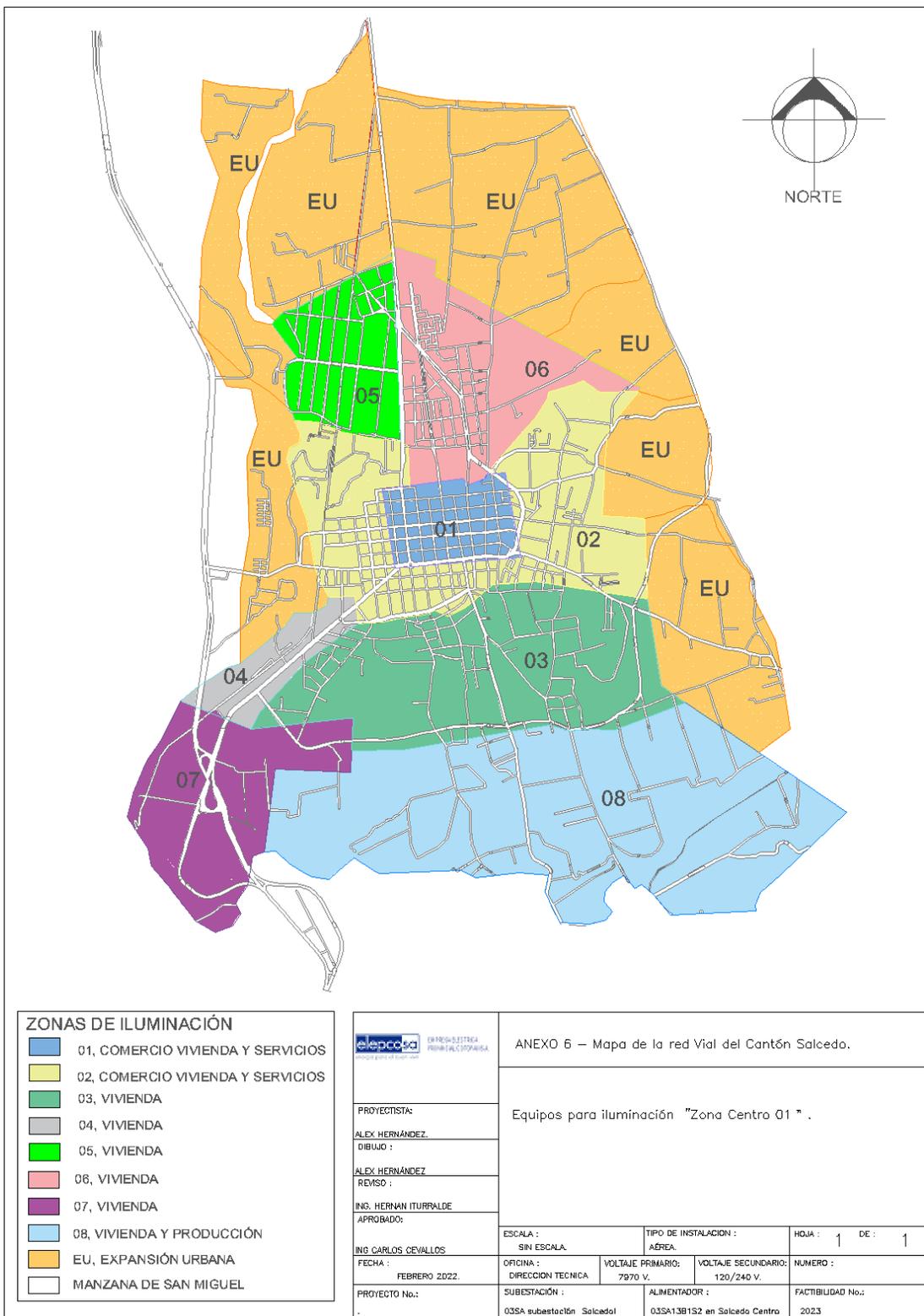


Tabla 47

Cronograma de actividades para mejorar la iluminación.

Etapa	Actividades	Observaciones
Selección de Luminarias LED	Elegir luminarias LED con niveles de potencia	Asegurar de que las lámparas LED seleccionadas cuenten con control de dimerización (atenuación de la luz)
Ubicación de las Luminarias	La zona 01 de la Figura 56 requiere una nueva iluminación.	La uniformidad de la Zona 01 es muy baja ver la Figura 31.
Montaje de Luminarias	Por eficiencia contratar constructoras eléctricas	Liberar a los grupos operativos de la empresa y responsabilizar a las constructoras de los proyectos.
Sistemas de Control de Iluminación	Un relé programable asegura la dimerización, pero una fotocélula IoT ayuda a la gestión de la energía.	El conector NEMA para la fotocélula con 7 pines es compatible para el control por telegestión.
Cableado y Conexiones	la conexión a 240 V, 220V y 210V mejoras las condiciones.	La iluminación solo es parte de la electrificación, al subir el voltaje la corriente baja por ende el calibre del conducto disminuye y mejora las condiciones técnicas.
Programación y Configuración	las luminarias deber trabajar 12 horas de 6:30 pm a 6:30am.	La dimerización debe iniciar desde su encendido para alcanzar su máximo nivel a las 9:00pm hasta las 12:am, y dimerizar hasta pagarse a las 6:30.
Pruebas y Ajustes	Las luminarias deben de contar con garantía por contrato.	Las luminarias deber funcionar bien antes del primer mantenimiento, que está entre los 4 a 5 años dependiendo de los acuerdos
Documentación	Documenta todos los aspectos del diseño y la instalación.	Incluye información sobre las lámparas LED de temperatura de color.
Capacitación	Proporcionar formación al personal y usuarios sobre el funcionamiento del sistema.	Es importante para estar apto para identificar y resolver problemas antes que se termine la vida útil de los de los equipos eléctricos.
Monitorización Continua	Implementa un sistema de monitorización de alta precisión para seguimiento del rendimiento.	Supervisa si las lámparas LED mantienen su calidad de luz al atenuarse.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- En el cantón de Salcedo, en la provincia de Cotopaxi, existen un total de 7432 luminarias instaladas, las cuales consumen una potencia eléctrica total de 1,11 MW. Esto representa el 13,04% del total de luminarias en la provincia y el 12,78% de la potencia eléctrica instalada por las luminarias en toda la provincia de Cotopaxi. Estos datos indican la importancia de Salcedo en la infraestructura de iluminación y su demanda de energía en la provincia.
- Los datos de las luminarias de 150 W de VSAP revelan un consumo de energía anual actual de 1946 MWh, lo que resulta en un costo anual de energía de 179072,9 dólares. Sin embargo, con la transición a iluminación LED, se proyecta un consumo anual de energía reducido a 1318 MWh, generando un costo anual de energía estimado en 121299 dólares. Esto se traduce en un ahorro anual de 57773,8 dólares en costos de energía.
- Además del ahorro energético, se espera un ahorro adicional de 156997,5 dólares en costos de reemplazo y mantenimiento. En conjunto, el ahorro anual total asciende a 214771,38 dólares, contribuyendo significativamente a la eficiencia financiera. La vida útil total de las luminarias LED se estima en 11.4155 años, y la inversión total en estas luminarias alcanza los 539760 dólares.
- Finalmente, el análisis de emisiones de CO₂ por hora en la demanda revela una notoria ineficiencia de las luminarias VSAP en comparación con las modernas luminarias LED. Las VSAP de 100W y 150W emiten 69,517 y 113,3 kg de CO₂ por hora, respectivamente, con un impacto ambiental considerable. En contraste, las luminarias LED de 70W y 100W emiten significativamente menos CO₂, con valores de 48,65 y 75,533 kg por hora, ver Tabla 46. Destacando la necesidad de adoptar tecnologías LED eficientes para reducir las emisiones de carbono

Recomendaciones

- Se propone la implementación de un proyecto piloto en el centro de San Miguel del cantón Salcedo sectores: Calles Mejía, Vicente Maldonado y Guayaquil, con el fin de poner a prueba y verificar los aspectos delineados en el presente estudio. Este enfoque implica pruebas de campo para reemplazar luminarias con LED según un modelo propuesto, obteniendo datos precisos sobre energía, iluminancia, degradación de flujo luminoso y fallas, además de un plan de mantenimiento.
- Se instaurará un sistema para recopilar y actualizar anualmente información sobre los costos asociados a las luminarias LED. Este banco de datos permitirá una evaluación continua de la accesibilidad económica para llevar a cabo la sustitución de luminarias obsoletas. De ejecutarse este cambio, se proyecta realizar un análisis ambiental exhaustivo para evaluar el impacto ecológico de los componentes desechables involucrados, además de un examen riguroso de la contaminación lumínica potencialmente generada por el nuevo sistema.
- Un análisis comparativo entre los arranques de luminarias LED y de VSAP se llevará a cabo para evaluar la influencia del funcionamiento de la nueva tecnología en la red eléctrica existente. Adicionalmente, se abordarán las diversas problemáticas que pueden surgir durante la implementación de un cambio total de luminarias, incluyendo aspectos como sobrecorrientes, caídas de voltaje, armónicos y sistemas de protección.
- Para garantizar la calidad de los equipos a sustituir, se efectuarán análisis en laboratorios acreditados, validando los parámetros eléctricos a través de las matrices de intensidad certificadas proporcionados por los proveedores y asegurando la acreditación de la documentación entregada. Se recomienda fomentar la colaboración con instituciones educativas para investigaciones que promuevan tecnologías de alumbrado público más avanzadas y eficientes.

Bibliografía

- (DPCO)., D. P. (14 de Diciembre de 2015). *Vía Salcedo – Tena, Tramo: Salcedo – Cumbijín Ingreso Al Parque Nacional*. Salcedo: Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTOP). Obtenido de Universidad de la República de Uruguay:
<https://www.fenf.edu.uy/wp-content/uploads/2020/12/14dediciembrede2020Etapasdelainvestigacionbibliografica-1.pdf>
- ACERNNR. (2020). *Calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*.
- ACERNNR. (30 de diciembre de 2020). *Prestación del Servicio de Alumbrado*. Obtenido de
<https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/Regulacion-006-20.pdf>
- Amazon. (marzo4 de 2016). *Metal Halide Grow luz lámparas x 10 (HID) (MH)*. Obtenido de
<https://www.amazon.es/Watt-HPI-T-halogenuros-met%C3%A1licos-electrificadas/dp/B004PGQ2QQ>
- ANSI. (2023). *Soluciones de estandarización*. Obtenido de <https://www.ansi.org/>
- Arana, C. F. (6 de julio de 2022). *Por qué realizar inspecciones termográficas periódicamente a nuestros equipos e instalaciones*. Obtenido de <https://transequipos.com/por-que-realizar-inspecciones-termograficas-periodicamente-a-nuestros-equipos-e-instalaciones/#:~:text=La%20funci%C3%B3n%20importante%20de%20las,sencillo%20hasta%20el%20m%C3%A1s%20complejo.>
- ARCERNNR-029/2020. (2020). *Servicio de Alumbrado Público General – SAPG*. Obtenido de
<https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/servicio-de-alumbrado-publico-general-sapg/>
- BING, M. (2023). *Salcedo*. Obtenido de <https://www.bing.com/maps?osid=f135b580-c095-4785-b88d-57dc9784e051&cp=-1.035626--78.593252&lvl=16.893385&style=h&pi=0&v=2&sV=2&form=S00027>

- C.A., E. E. (30 de noviembre de 2022). *Medición de los parámetros fotométricos*. Obtenido de <https://www.eea.gob.ec/media/InstuctivoAlumbrado/FormatoMedicionParametrosFotometricosAPG.pdf>
- Calle, O., & Ulloa, Á. (febrero de 2022). *Metodología para la evaluación de los niveles de iluminación pública en áreas urbanas aplicando información geográfica*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21794>
- Castela, F. (14 de junio de 2016). *Mantenimiento industrial. Curva de la bañera*. Obtenido de <https://mantenimientoindustrialweb.wordpress.com/2016/06/14/curva-de-la-banera/>
- CEDEÑO BERRONES, A. S. (Febrero de 2022). *Repositorio.espe.edu.ec*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/29324/2/ESPEL-EMI-0420-P.pdf>
- CIE. (2023). *Últimas Publicaciones*. Obtenido de <https://cie.co.at/>
- Dumalux. (2022). *Alumbrado Público LED: Todo lo que Debes Saber*. Obtenido de <https://dumalux.com/blog-alumbrado-publico-led-debes-saber>
- E., T. (26 de agosto de 2015). *¿Cómo comparar el rendimiento de las lámparas?* Obtenido de <https://www.profetolocka.com.ar/2015/08/26/como-comparar-el-rendimiento-de-las-lamparas/>
- E-ficiencia. (09 de Junio de 2022). *Termografía: qué es y para qué se usa*. Obtenido de <https://e-ficiencia.com/termografia-que-es-y-cuales-son-sus-aplicaciones/#:~:text=La%20termograf%C3%ADa%20es%20un%20procedimiento%20que%20se%20emplea%20para%20obtener,contacto%20f%C3%ADsico%20con%20el%20mismo.>
- Efimarket. (6 de marzo de 2017). *Lámpara de vapor de sodio de alta presión*. Obtenido de <https://www.efimarket.com/blog/lampara-de-vapor-de-sodio-de-alta-presion/>
- Foto Manias. (2019). *Técnicas de Investigación de Campo*. Obtenido de El espectro electromagnético de luz visible y su composición.: <https://fotomanias.com.ar/espectro-de-luz-visible/>

- Hara, M. L. (2023). *Explicación de la temperatura del color*. Obtenido de <https://www.adobe.com/es/creativecloud/video/discover/color-temperature.html#:~:text=La%20temperatura%20del%20color%20es,como%20una%20fuente%20de%20luz>.
- Haro, L. (2021). *Factor de emisión de co2* . Ecuador: CENACE.
- Hernandez, S. (2014). *Metodología de la investigación 6ta edición*. Mc Graw Hill.
- Iluminet. (17 de junio de 2012). *Luminarios para alumbrado público de vialidades con lámparas de inducción electromagnética*. Obtenido de <https://www.iluminet.com/press/luminarios-para-alumbrado-publico-de-vialidades-con-lamparas-de-induccion-electromagnetica/>
- INGENIUS. (2020). *Procedimiento de inspección por termografía en tableros eléctricos*. Obtenido de <https://ingenius.top/procedimiento-de-inspeccion-por-termografia-para-subestaciones/>
- Iturralde, J. (noviembre de 2013). *Evaluación de las fuentes de luz en iluminación pública frente al impacto en el barrio "Rumipamba de las Rosas" del cantón Salcedo en el año 2013. Diseño de un sistema alternativo*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6079>
- Javier, G. (s. f.). *Magnitudes y unidades de medida*. Obtenido de https://recursos.citcea.upc.edu/llum/fotometria/magnitud.html#Flujo_lum
- Javier, S. (5 de diciembre de 2018). *Eficiencia*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/eficiencia.html#:~:text=Hace%20referencia%20a%20la%20necesidad,nivel%20de%20bienes%20y%20servicios>.
- Likinormas. (01 de mayo de 2000). *Recomendaciones para el mantenimiento de alumbrado público*. Obtenido de Generalidades: https://likinormas.micodensa.com/Norma/alumbrado_publico/generalidades_ap/ap_recomendaciones_6_9_recomendaciones_mantenimiento_alumbrado_1411

- Linfht, M. (s. f.). *Lámparas de vapor de mercurio halogenado*. Obtenido de <https://www.masterlight.com.ec/product-page/t14>
- Lumi. (12 de junio de 2020). *Color de luz (temperatura de color)*. Obtenido de <https://www.lumichile.com/color-de-luz-temperatura-de-color/>
- M.E. Martins, H. P. (Agosto de 2008). *Conversion y almacenamiento de energia basados en hidrogeno. Estado del arte y propuesta de estrategias en el Mercosur*. Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0254-07702008000200001&script=sci_arttext
- movilcelular. (3 de Julio de 2020). *Huawei P30 Lite (LX3A)*. Obtenido de <https://www.movilcelular.es/especificaciones/huawei/p30-lite/lx3a/>
- MUÑOZ, J. P. (2020). *Nálisis técnico, económico para alumbrado*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18818/1/UPS-CT008787.pdf>
- Narváez, J. (marzo de 2020). *Análisis técnico, económico para determinar la viabilidad de remplazar todas las luminarias de sodio utilizadas en el sistema de alumbrado público general en el área urbana de la ciudad de Cuenca por luminarias de tecnología LED (Light Emitting Diode)*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18818>
- National Geographic. (21 de Marzo de 2022). *Explicación de qué son los combustibles fósiles*. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/explicacion-que-son-combustibles-fosiles#:~:text=Cuando%20los%20combustibles%20f%C3%B3siles%20se,global%20y%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico>.
- Perez, C. (2005). *Muestreo estadístico conceptos y problemas resueltos*. Madrid: Pearson.
- R., A., & P.O, L. (2019). *Control terrestre en el proceso fotogramétrico USANDO*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15113/PuertoCaroLauraNatalia2019.pdf;jsessionid=B29121979FEE74BB89CFD31DD9B60B90?sequence=2>
- Romero, R. (2016). *Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/9563060/>

- S.A., E. (2023). *Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.)*. Obtenido de <https://elepcosa.com.ec/mapa-del-sitio/>
- Tipler y Mosca. (2012). *Reflexion y Refraccion*. Obtenido de <https://docplayer.es/48571399-Tipler-mosca-31-alonso-finn-32.html>
- Unidades Propiedad. (2022). *especificaciones técnicas de materiales y equipoS DEL SISTEMA DE Alumbrado publico*. Obtenido de <https://www.unidadespropiedad.com/pdf/2d/Secc3-EspTec/Luminarias/LED/LuminariasLED5.pdf>
- Vélez. (03 de marzo de 2011). *Público*. Obtenido de <https://especiales.publico.es/hemeroteca/364205/cambiar-el-alumbrado-publico-cuesta-al-menos-450-millones>
- Wolbarsht, S. y. (1980). Radiacion no ionizantes. *Bengt Knave*, 4.

Anexos